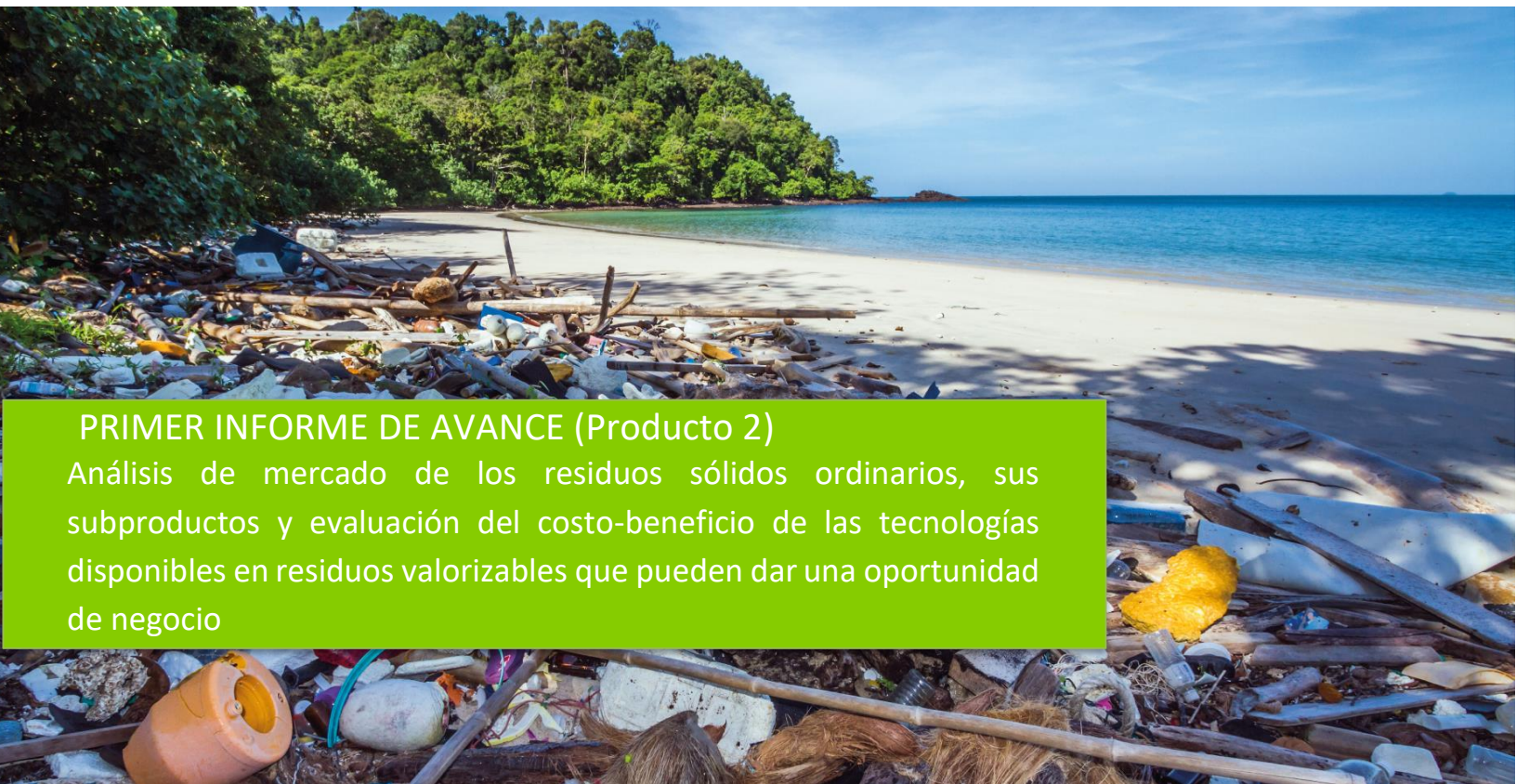




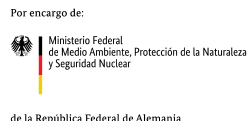
TRANSFORMA

RESIDUOS EN RECURSOS



PRIMER INFORME DE AVANCE (Producto 2)

Análisis de mercado de los residuos sólidos ordinarios, sus subproductos y evaluación del costo-beneficio de las tecnologías disponibles en residuos valorizables que pueden dar una oportunidad de negocio



En cooperación con:



Publicado por:

Deutsche Gesellschaft für
Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Oficinas registradas
Bonn y Eschborn, Alemania

Contacto:

CENTRO CAMBIO CLIMÁTICO
Boulevard Dent, Esquina Calle Ronda
San Pedro, Costa Rica
T + 506 2528-5420
E sandra.spies@giz.de
I www.giz.de



[programa.accionclima](https://www.facebook.com/programa.accionclima)

Autoras:

Lilliana Abarca Guerrero

Susy Lobo Ugalde

Colaboración:

Ericka Calderón Vargas

Rosibel Rodríguez Leandro

Laura Ureña Vargas

**Supervisado por:**

Alexia Quirós Rojas

Fotos:

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Por encargo del

Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza y Seguridad Nuclear
en el marco de su Iniciativa Internacional para la Protección del Clima (ICI)

San José, Costa Rica, 2020

Contenido

Presentación	14
1. Aspectos metodológicos	16
2. Caracterización de las empresas transformadoras en Costa Rica.....	16
2.1. Información general sobre las empresas transformadoras.....	16
2.1.1. Ubicación de las empresas transformadoras.....	16
2.1.2. Residuos valorizables que demandan las empresas transformadoras y sus años de experiencia	17
2.1.3. Productos elaborados a partir de residuos valorizables y su destino ..	19
2.2. Sobre el empleo.....	20
2.3. Sobre los costos de operación y funcionamiento para la transformación de los residuos valorizables	21
2.3.1. Costos de operación de la transformación del plástico	21
2.3.2. Costos de operación de la transformación de los metales	22
2.3.3. Costos de operación de la transformación del cartón.....	23
2.3.4. Costos de operación de la transformación del vidrio.....	24
2.3.5. Costos de operación de la transformación de los residuos orgánicos	25
2.4. Posibilidades de encadenamientos económicos o productivos	25
3. Tecnología utilizada y requerida para la transformación de los residuos valorizables en Costa Rica	26
3.1. Sobre la tecnología utilizada y requerida por las empresas transformadoras de plástico	26
3.2. Sobre la tecnología utilizada por las empresas transformadoras de papel y cartón.....	28
3.3. Sobre la tecnología utilizada por las empresas transformadoras de vidrio	28
3.4. Sobre la tecnología utilizada y requerida por las empresas transformadoras de metales	28
3.5. Sobre la tecnología utilizada y requerida por las empresas transformadoras de residuos orgánicos.....	29
3.6. Generación de empleo con nueva tecnología	29
3.7. Las emisiones de gases de efecto invernadero evitadas	30
4. Análisis de costo-beneficio por cada proceso o tecnología en el tratamiento de los residuos valorizables.....	35
4.1. Sobre la inversión para la transformación de los residuos valorizables.....	35
4.1.1. El caso del plástico	35
4.1.2. El caso de los metales.....	39

4.1.3.	El caso del cartón	44
4.1.4.	El caso del vidrio	44
4.1.5.	El caso de los residuos orgánicos	45
4.2.	El impacto en la adquisición de una peletizadora de plástico: un ejercicio hipotético	50
4.3.	Sobre el análisis costo beneficio	52
4.3.1.	El caso del vidrio	53
4.3.2.	El caso del cartón	54
4.3.3.	El caso del plástico	55
4.3.4.	El caso de Nueva Zelanda	55
5.	Consideraciones técnicas	57
5.1.	Sobre la información general de las empresas	57
5.2.	Sobre las emisiones de gases de efecto invernadero.....	58
5.3.	Sobre la tecnología.....	59
5.4.	Sobre el ACB	59
6.	Fuentes bibliográficas.....	60
7.	Anexos	63
	Anexo 1. Estado de ejecución del plan de trabajo	63
	Anexo 2. Justificación teórica del uso de los modelos para la estimación del cálculo de las emisiones evitadas.....	65
	Anexo 3. Emisiones de GEI evitadas por el reciclaje de diferentes residuos valorizables	74

Índice de figuras

Figura 1. Ubicación de las empresas transformadoras entrevistadas por provincia (en porcentaje)	17
Figura 2. Ámbito de años de experiencias de las empresas transformadoras entrevistadas (en porcentaje).....	18
Figura 3. Total de emisiones evitadas para cada uno de los escenarios.....	34
Figura 4. Extrusora de plástico	36
Figura 5. Máquina para imprimir	36
Figura 6. Peletizadora de plástico	37
Figura 7. Línea de lavado	37
Figura 8. Máquina automática de moldeo para inyección de plástico horizontal	38
Figura 9. Extrusora de plástico.....	38
Figura 10. Horno para metales	39

Figura 11. Horno eléctrico para fundir aluminio.....	40
Figura 12. Moldes para fundir metales.....	40
Figura 13. Impresora 3D	41
Figura 14. Extracción y ventilación de planta de producción	41
Figura 15. Mezcladora de arena verde para el proceso de moldeo en fundición de metales.....	42
Figura 16. Laboratorio calidad para arena verde para el proceso de moldeo en fundición de metales.....	42
Figura 17. Software de servicio y tecnología de comunicación e información para la renovación digital para mejorar la gestión operativa de la empresa	43
Figura 18. Maquinaria para fabricación de cartón.....	44
Figura 19. Trituradora de vidrio	45
Figura 20. Máquina para el lavado de vidrio.....	45
Figura 21. Modelo de distribución de un patio de compostaje	46
Figura 22. Máquina empacadora de bolsas silo	46
Figura 23. Sistema de aire inducido en lomillos de compost.....	46
Figura 24. Proceso de producción de una planta de biometanización	47
Figura 25. Tambor rotatorio de la empresa 360 soluciones verdes	49
Figura 26. Tambor rotatorio de la empresa Biofutura.....	49
Figura 27. Composteras huertas de la empresa Milenio Tres	49
Figura 28. Tambor rotatorio modelo comercial	49
Figura 29. Lombricario	49
Figura 30. Compostera en cajón de madera	49
Figura 31. Método takakura.....	50
Figura 32. Foodcycler. Modelo FC-30.....	50
Figura 33. Emisiones de GEI evitadas por residuos sólidos que terminan en un relleno sanitario por provincia y por tipo de material a partir de dos factores de emisión diferentes a) Turner et al. (2015) y b) WARM 15.....	70
Figura 34. Emisiones de GEI evitadas por residuos sólidos que no son recolectados por provincia y por tipo de material a partir de dos factores de emisión diferentes a) Turner et al. (2015) y b) WARM 15.....	72

Índice de cuadros

Cuadro 1. Información de los residuos valorizables que demandan las empresas transformadoras entrevistadas y años de operación	17
Cuadro 2. Información de productos elaborados y su destino.....	19
Cuadro 3. Cantidad de personas colaboradas según empresa transformadora.....	21
Cuadro 4. Costos de operación y mantenimiento para la transformación del plástico (en US\$)	22
Cuadro 5. Costos de operación y mantenimiento para la transformación de los metales (en US\$)	22
Cuadro 6. Costos de operación y mantenimiento para la transformación del cartón (en %).	23

Cuadro 7. Resumen de los costos de operación y mantenimiento de las tecnologías de tratamiento centralizado de residuos orgánicos (en dólares)	25
Cuadro 8. Lista de tecnología utilizada y requerida en los procesos de transformación del plástico	26
Cuadro 9. Lista de tecnología utilizada en los procesos de transformación del metal	28
Cuadro 10. Cantidad de personas colaboradas y empleo potencial según empresa transformadora.....	29
Cuadro 11. Factores de emisión de GEI empleados por tipo de estudio para el cálculo de las emisiones de GEI evitadas	30
Cuadro 12. Emisiones de GEI evitadas por el reciclaje de residuos por empresas gestoras o transformadoras de residuos en Costa Rica	31
Cuadro 13. Comparación de las emisiones de GEI generadas por los residuos orgánicos si son dispuestos en un relleno sanitario versus las emisiones de GEI generadas si se compostean	32
Cuadro 14. Municipidades identificadas con acciones para el tratamiento de residuos orgánicos y método aplicado	33
Cuadro 15. Comparación de la cantidad de emisiones de GEI generadas según el tipo de tratamiento.....	34
Cuadro 16. Resumen de las emisiones de GEI evitadas totales de los diferentes escenarios desarrollados	35
Cuadro 17. Resumen de la tecnología requerida para la transformación del plástico	36
Cuadro 18. Resumen de la tecnología requerida para la transformación de metales	39
Cuadro 19. Resumen de la tecnología requerida para la transformación de vidrio ..	45
Cuadro 20. Resumen de la inversión de las tecnologías de tratamiento centralizado de residuos orgánicos (en dólares).....	46
Cuadro 21. Inversión de tecnologías para las viviendas y comercios (en dólares) ..	47
Cuadro 22. Supuestos generales para la elaboración del ejercicio hipotético	50
Cuadro 23. Costos totales de transformación de los residuos orgánicos (en dólares)	56
Cuadro 24. Estado de ejecución del plan de trabajo	63
Cuadro 25. Emisiones evitadas de residuos que terminan en un relleno sanitario por provincia y por tipo de material a partir de los dos estudios propuestos.....	71
Cuadro 26. Emisiones evitadas por residuos que no son recolectados por provincia y por tipo de material a partir de los dos estudios propuestos.....	73
Cuadro 27. Emisiones de GEI evitadas por el reciclaje de diferentes residuos en las empresas encuestadas como gestoras o transformadoras de residuos en Costa Rica	74

Siglas

ACB	Análisis Costo Beneficio
ABS	Acrilonitrilo Butadieno Estireno (por sus siglas en inglés).
ACEPESA	Asociación Centroamericana para la Economía, la Salud y el Ambiente.
BMU	Ministerio de Ambiente (por sus siglas en alemán).
CH ₄	Metano.
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio Climático,
CO ₂	Dióxido de Carbono.
CO _{2e}	Dióxido de Carbono Equivalente.
CRUSA	Fundación de Costa Rica Estados Unidos para la Cooperación.
CYMA	Programa Competitividad y Medio Ambiente en Costa Rica.
DCC	Dirección de Cambio Climático.
EPA	Environmental Protection Agency (por sus siglas en inglés).
FE	Factor de Emisión.
GEI	Gases de Efecto Invernadero.
GIRS	Gestión Integral de Residuos Sólidos.
GIZ	Cooperación Internacional Alemana.
HDPE	Polietileno de Alta Densidad (por sus siglas en inglés).
HFC	Hidrofluorocarbonos.
ICE	Instituto Costarricense de Electricidad.
ICODER	Instituto Costarricense del Deporte y la Recreación.
IFAM	Instituto de Fomento y Asesoría Municipal.
IKI	Iniciativa Internacional de Cambio Climático (por sus siglas en alemán).
IMN	Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica.
IPCC	Panel Intergubernamental de Cambio Climático (por sus siglas en inglés).
kgCO _{2e} / Ton	Kilogramos de Dióxido de Carbono equivalente entre tonelada.
LDPE	Polietileno de Baja Densidad (por sus siglas en inglés).
ILCD	Sistema Internacional de Referencia de Datos del Ciclo de Vida (por sus siglas en inglés).
MINAE	Ministerio de Ambiente y Energía.
MTCO _{2E} /Short Ton	Tonelada métrica de CO _{2e} / Tonelada corta de material recuperado (residuos que no han sido procesados o reciclados).

NAMA	Acciones de Mitigación Nacionalmente Apropriadas (por sus siglas en inglés).
NDC	Contribución Nacionalmente Determinada (por sus siglas en ingles).
N ₂ O	Óxido nitroso.
PET	Polietileno Tereftalato (por sus siglas en inglés).
PFC	Perfluorocarbonos.
PP	Polipropileno (por sus siglas en inglés).
PS	Poliestireno (por sus siglas en inglés).
PVC	Cloruro de Polivinilo (por sus siglas en inglés).
UNGL	Unión Nacional de Gobiernos Locales.
WARM	Waste Reduction Model (por sus siglas en inglés).

Conceptos

Los siguientes conceptos se tomaron de diferentes documentos elaborados por el Programa CyMA –GIZ, de la Guía de implementación del PPCN 2.0 categoría cantonal y a la legislación vigente en el país.

Análisis costo beneficio: Es una metodología de análisis que permite medir, adicionar y comparar todos los beneficios y todos los costos de un proyecto o programa particular.

Biomasa: Masa total de organismos vivos en una zona o volumen determinado; a menudo se incluyen los restos de plantas que han muerto recientemente. Por ejemplo, la lecha, los restos o los residuos de poda.

Centro de recuperación de materiales: Es un sitio permanente de recepción y almacenamiento temporal de residuos para su valorización, donde los materiales recuperables pueden ser pesados, clasificados y separados de acuerdo a su naturaleza (p.ej. plástico, cartón, papel, vidrio y metales) para su posterior comercialización.

Compost: Mejorador del suelo que se obtiene luego de un proceso de descomposición de la materia orgánica en condiciones húmedo aeróbicas o con presencia de oxígeno.

Compostaje: Técnica que permite la descomposición aeróbica de la materia orgánica biodegradable en forma controlada para lograr un producto utilizable como mejorador de suelo.

Clúster: Concentraciones de empresas con actividades similares o complementarias, con proveedores especializados e instituciones de apoyo en una determinada zona geográfica, esta cercanía permite que se mejoren los costos e ingresos al contar con elementos comunes para aprovechar economías de escala o aglomeración.

Dióxido de carbono: Gas que se produce de forma natural, pero también como resultado de la quema de combustibles fósiles, de los cambios en el uso de las tierras y de la quema de biomasa y de otros procesos industriales. Es el principal gas de efecto invernadero antropogénico que afecta el equilibrio de radiación del planeta, por lo que es la referencia para medir otros gases de efecto invernadero. Tiene un potencial de calentamiento mundial de 1.

Dióxido de carbono equivalente: Concentración de dióxido de carbono que podría causar el mismo grado de forzamiento radiactivo que una mezcla determinada de dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero.

Disposición final: Última actividad operacional del manejo de residuos sólidos, mediante la cual los residuos son descargados en forma definitiva, en un lugar debidamente acondicionado para tal fin.

Emisión: Liberación a la atmósfera de gases de efecto invernadero.

Emisiones de origen biogénico: Emisiones que resultan de la combustión de materiales de biomasa, incluyendo los materiales utilizados para hacer biocombustibles; por ejemplo, cultivos o aceites vegetales o leña.

Encadenamiento productivo horizontal: Alianza entre grupos de empresas que ofrecen el mismo producto o servicio, las cuales cooperan entre sí en algunas actividades, pero sin dejar de competir entre ellas mismas por un mismo mercado.¹

Encadenamiento productivo vertical: Cooperación existente entre empresas que están en posiciones distintas dentro de la cadena productiva y se asocian para alcanzar ventajas competitivas, determinando los puntos críticos de la cadena de valor para dar respuesta a las necesidades de la demanda, además trabajan juntos para identificar los objetivos estratégicos que les permitirán surgir.²

Factor(es) de emisión: Un factor que convierte los datos de cada actividad en datos de emisiones de gases de efecto invernadero (por ejemplo, en kg de CO₂e emitido por litro de combustible consumido, en kg de CO₂e emitido por kilómetro recorrido, etc.).

Gases de efecto invernadero (GEI): Son gases que se encuentran presentes en la atmósfera terrestre y que dan lugar al fenómeno denominado efecto invernadero. En la presente guía, los gases de efecto invernadero tomados en cuenta son los siete gases contemplados por el Protocolo de Kyoto: dióxido de carbono (CO₂); metano (CH₄); óxido nitroso (N₂O); hidrofluorocarbonos (HFC); perfluorocarbonos (PFC); hexafluoruro de azufre (SF₆); y trifluoruro de nitrógeno (NF₃).

Generación: Se origina cuando una persona física o jurídica, pública o privada, produce residuos al desarrollar procesos productivos, agropecuarios, de servicios, de comercialización o de consumo.

Gestión integral de residuos: Conjunto articulado e interrelacionado de acciones regulatorias, operativas, financieras, administrativas, educativas, de planificación, monitoreo y evaluación para el manejo de los residuos, desde su generación hasta la disposición final.

Gestor: Persona física o jurídica, pública o privada, encargada de la gestión total o parcial de los residuos, y autorizada conforme a lo establecido en la Ley 8839 o sus reglamentos.

Hidrocarburo: Cada uno de los compuestos químicos resultantes de la combinación del carbono con el hidrógeno: se encuentran hidrocarburos en el petróleo, en el gas, etc.³

Hidrofluorocarbonos: Uno de los seis gases de efecto invernadero que se intenta eliminar en el marco del Protocolo de Kyoto. Se producen de manera comercial como sustituto de los clorofluorocarbonos. Los HFC se utilizan sobre todo en refrigeración y fabricación de semiconductores. Su potencial de calentamiento mundial se encuentra en la gama de 1 300°C a 11 700°C.

Hidroclorofluorocarbonos: Son compuestos formados por átomos de cloro, flúor, hidrógeno y carbono, usados como refrigerantes, aerosoles y barnices.

¹ Acevedo Camacho, M. L., & Buitrago Rodríguez, M. V. (2009). Asociatividad empresarial, crecimiento productivo e innovación. El caso de las pymes del sector textiles y confecciones de Bogotá. Recuperado de <https://ciencia.lasalle.edu.co/economia/145>

² Ídem.

³ Diccionario. <https://www.wordreference.com/definicion/HIDROCARBURO>

Hexafluoruro de azufre: Es un gas inerte, más pesado que el aire, no es tóxico ni inflamable, pero es asfixiante y posee un color y un olor característicos. Se produce por reacción directa a unos 300°C de azufre fundido y el flúor gaseoso. Es estable en condiciones normales, y al exponerlo a elevadas temperaturas, se descompone, dando lugar a productos tóxicos, los cuales pueden ser corrosivos en presencia de humedad. Una de las principales propiedades es su elevada constante dieléctrica, por lo que es muy empleado como gas aislante en equipos para distribución de energía eléctrica.

Manejo integral: Medidas técnicas dirigidas a darle a los residuos el destino más adecuado de acuerdo a sus características, con la finalidad de prevenir daños o riesgos a la salud humana o al ambiente. Incluye el almacenamiento, limpieza de vías y áreas públicas, recolección, transferencia, transporte, tratamiento, disposición final. Así como la valorización de los residuos valorizables.

Mercado: Lugar teórico donde se encuentra la oferta y la demanda de productos y servicios y se determinan los precios.

Metano: Es un hidrocarburo, gas de efecto invernadero, producido por la descomposición anaerobia (sin oxígeno) de residuos en vertederos; por la digestión animal; la descomposición de residuos animales; la producción y distribución de gas natural y petróleo; la producción de carbón y la combustión incompleta de combustibles fósiles. El metano es uno de los seis gases de efecto invernadero que se intenta reducir en el marco del Protocolo de Kyoto.

Óxido nítrico: Potente gas de efecto invernadero emitido por los usos de cultivos en tierras, especialmente por el uso de fertilizadores comercial y orgánico, la combustión de combustibles fósiles, la producción de ácido nítrico y la combustión de biomasa. Uno de los seis gases de efecto invernadero que se intenta reducir con el Protocolo de Kyoto.

Peletización: Método utilizado para el procesamiento de un material (materia orgánica, plásticos, metales) para convertirlo en pellets o gránulos. Es el primer paso para la transformación, se utilizan máquinas y equipo.

Perfluorocarbonos: Se encuentra entre los seis gases de efecto invernadero que se intenta reducir en el marco del Protocolo de Kyoto. Son subproductos de la fundición del aluminio y del enriquecimiento del uranio. También sustituyen a los clorofluorocarbonos en la fabricación de semiconductores. El potencial de calentamiento mundial de los PFC es 6 500 – 9 200 veces superior al del dióxido de carbono.

Potencial de calentamiento global: Factor que describe el impacto de la fuerza de radiación de una unidad con base en la masa de un GEI determinado, con relación a la unidad equivalente de dióxido de carbono en un periodo determinado.

Producción per cápita (PPC): Generación unitaria de residuos sólidos. Generalmente se refiere a la generación de residuos sólidos por persona y por día, aunque también este concepto se puede aplicar a residuos no domiciliarios (por ejemplo, kilogramos de residuo sólidos por restaurante y por día).

Protocolo de Kyoto: El protocolo de Kioto es un convenio de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio Climático (CMNUCC) y un tratado internacional cuyo objetivo principal es lograr la disminución en la emanación de seis gases de efecto invernadero, que originan el calentamiento global: dióxido de carbono (CO₂), óxido nitroso (N₂O) y gas metano (CH₄); además de otros tres gases industriales fluorados como lo son: perfluorocarbonos (PFC), hidrofluorocarbonos (HFC), y hexafluoruro de azufre, en al menos un 5%.⁴

Reciclaje: Transformación de los residuos por medio de distintos procesos de valorización que permiten restituir su valor económico y energético, evitando así su disposición final, siempre y cuando esta restitución implique un ahorro de energía y materias primas sin perjuicio para la salud y el ambiente.

Recolección: Acción de recolectar los residuos sólidos de competencia municipal en las fuentes de generación o recipientes, que serán trasladados a las estaciones de transferencia, instalaciones de tratamiento, o disposición final.

Recolección selectiva: Servicio de recolección separada de residuos sólidos previamente separados en la fuente que permite que ciertos residuos sólidos puedan ser valorizados.

Redes o cadenas productivas: Espacio económico de competencias e intercambio de bienes y servicios que incluyen una (o varias) empresa-núcleo, sus proveedores y clientes. No importa el tamaño ni el sector, se constituyen con el tiempo y se utilizan contratos formales o informales.

Relleno Sanitario: Método de ingeniería para la disposición final de los residuos sólidos que se generan en el cantón de acuerdo con el Reglamento de Rellenos Sanitarios.

Residuo: Material sólido, semisólido, líquido o gas, cuyo generador o poseedor debe o requiere deshacerse de él, y que puede o debe ser valorizado o tratado responsablemente o, en su defecto, ser manejado por sistemas de disposición final adecuados.

Residuos ordinarios: Residuos de carácter doméstico generados en viviendas y en cualquier otra fuente, que presentan composiciones similares a los de las viviendas. Se excluyen los residuos de manejo especial o peligroso, regulados en la Ley 8839 y en su Reglamento.

Residuo sólido valorizable: Residuo que tiene valor de reuso o tiene potencial de ser valorizado a través de procesos de reciclaje o compostaje.

Residuo sólido no valorizable: Residuo que no tiene valor de uso o recuperación y que debe ser adecuadamente dispuesto en un relleno sanitario.

Separación: Procedimiento mediante el cual se evita desde la fuente generadora que se mezclen los residuos, para facilitar el aprovechamiento de materiales valorizables y se evite su disposición final.

Transformación: Véase tratamiento.

⁴ <https://conceptodefinicion.de/protocolo-de-kioto/>

Tratamiento: Proceso de transformación físico, químico o biológico de los residuos sólidos que procura obtener beneficios sanitarios o económicos, reduciendo o eliminando los efectos nocivos para la salud y el ambiente.

Trifluoruro de hidrógeno: Es un gas incoloro, tóxico, inflamable e inodoro. Se usa, cada vez con mayor frecuencia, como un grabador en la microelectrónica; además de ser utilizado (a menudo como reemplazo de los perfluorocarbonos) en la fabricación de pantallas planas de cristal líquido.

Valorización: Conjunto de acciones asociadas cuyo objetivo es recuperar el valor de los residuos para los procesos productivos, la protección de la salud y el ambiente.

Vertedero: Sitio o paraje, sin preparación previa, donde se depositan los residuos sólidos, sin técnica o mediante técnicas muy rudimentarias y en el que no se ejerce un control adecuado.

Presentación

El modelo de economía mundial se basa en un sistema lineal que extrae recursos naturales, consume energía, materiales y bienes, en donde el estilo de vida y la constante expansión del mercado requieren dar salida a una producción creciente que necesita fabricar objetos de baja duración, difíciles de reparar y de reciclar, dando como resultado la generación de residuos sólidos.

En el nuevo modelo de Economía Circular, se plantea la necesidad de realizar acciones que maximice el aprovechamiento de los recursos donde prima la reducción de los elementos que entran dentro de un sistema de producción más eficiente su uso, donde se consideren los residuos como recursos, mediante la reutilización y el reciclaje y así garantizar la minimización de los impactos negativos al ambiente e incrementen el bienestar social, económico y cultural de la población. Bajo este modelo se espera un cambio mundial en el sistema de extracción de recursos naturales, diseño y producción de bienes, así como en la gestión de los residuos para garantizar la sobrevivencia en el planeta.

Esta situación da como resultado que el proyecto Acción Clima II5 por encargo del Ministerio de Ambiente (BMU) y su Iniciativa Internacional de Cambio Climático (IKI por sus siglas en alemán) acompaña a Costa Rica y en particular al Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE) y a la Dirección de Cambio Climático (DCC) en la implementación de su contribución nacionalmente determinada (NDC por sus siglas en inglés) y mediante el proyecto de Cooperación Técnica-Financiera con la Fundación de Costa Rica Estados Unidos para la Cooperación (CRUSA), para mejorar las capacidades de las municipalidades en dinamizar la gestión integral de residuos sólidos (GIRS) incluyendo los sistemas de recolección selectiva, el tratamiento y la recuperación de residuos valorizables.

El presente segundo de informe de avance responde a la consultoría **análisis de mercado de los residuos sólidos ordinarios, sus subproductos y evaluación del costo-beneficio de las tecnologías disponibles en residuos valorizables que pueden dar una oportunidad de negocio, concurso 106-2019** y es ejecutada por la Asociación Centroamericana para la Economía, la Salud y el Ambiente (ACEPESA) y corresponde al producto 3: *determinar el impacto y costo-beneficio por proceso/tecnología en la logística, valorización y/o tratamiento de los residuos sólidos ordinarios.*

⁵ Tiene como objetivo apoyar al gobierno de Costa Rica en el desarrollo de capacidades y herramientas necesarias para lograr sus objetivos climáticos nacionales e internacionales y, en el largo plazo, un desarrollo bajo en emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Entre otros, el proyecto apoyará en mejorar la gobernanza climática a nivel nacional y local, así como la creación de foros climáticos y el intercambio de experiencias.

Esta esta investigación tiene como objetivo general **“analizar el mercado de los residuos sólidos ordinarios, sus subproductos y evaluar sus opciones tecnológicas que puedan servir como oportunidad de negocio a nivel nacional”**.

Los objetivos específicos planeados son:

1. Determinar potenciales subproductos y/o usos de los residuos sólidos ordinarios actualmente en el sector residuos y en el mercado nacional.
2. Determinar el impacto y costo-beneficio de tecnologías existentes en la logística, valorización y/o tratamiento de los residuos sólidos ordinarios.
3. Desarrollar casos de estudio tipo Harvard para subproductos como oportunidad de negocios escalables a nivel nacional.
4. Valorar técnica y financieramente el uso de tecnologías de tratamiento para residuos orgánicos.
5. Acompañar y asesorar en talleres de intercambio de experiencias con municipalidades y actores del sector privado (industria, exportadores, importadores, procesadores, recicladores) según los resultados obtenidos en la consultoría.

A continuación, se presenta la información en cinco secciones. En la primera se detallan los aspectos metodológicos; en la segunda se caracteriza a las empresas transformadoras de las cuales se obtuvo información; en la tercera se muestra la tecnología utilizada por las empresas, así como las necesidades de adquisición de nueva tecnología para mejorar los procesos productivos; en la cuarta se muestra los datos de estudios de análisis costo beneficio sobre el reciclaje, dadas las limitaciones que se tuvo para acceder a información fundamental, para poder realizar el análisis con datos de la realidad nacional y en la quinta se detalla las consideraciones técnicas finales.

1. Aspectos metodológicos

Para la realización del segundo informe de avance se aplicaron encuestas y entrevistas a empresas transformadoras, tal y como se informó en el documento respectivo. Con base en los datos recolectados es que se procede a desarrollar el presente informe.

Además, se realizó una revisión documental para la elaboración del apartado sobre las emisiones de los gases de efecto invernadero (GEI) evitadas.

Se aclara que se les indicó a las empresas que la información brindada es de carácter confidencial, por lo que se solicita el manejo de la información con discreción.

Además, sobre la logística del transporte, se destaca que la mayoría (95%) de las empresas transformadoras compran o reciben el material en las empresas. El transporte lo realiza el eslabón anterior en la cadena de reciclaje (centros de recuperación), por tal razón, no se incluye dicho aspecto en el presente documento.

En el **Anexo 1** se presenta el estado de avance según el plan de trabajo establecido.

2. Caracterización de las empresas transformadoras en Costa Rica

2.1. Información general sobre las empresas transformadoras

2.1.1. Ubicación de las empresas transformadoras

En la **Figura 1** se muestra que de las **21 empresas transformadoras** que se tiene información, el **43%** (9) se ubica en la provincia de San José (en los cantones de Goicoechea, Tibás y Santa Ana), el **29%** (6) se encuentra en la provincia de Heredia (cantones de Heredia y Belén), un **14%** (3) en la provincia de Alajuela (cantón de Alajuela y Naranjo) y el otro **14%** (3) en la provincia de Cartago (cantón de Cartago).

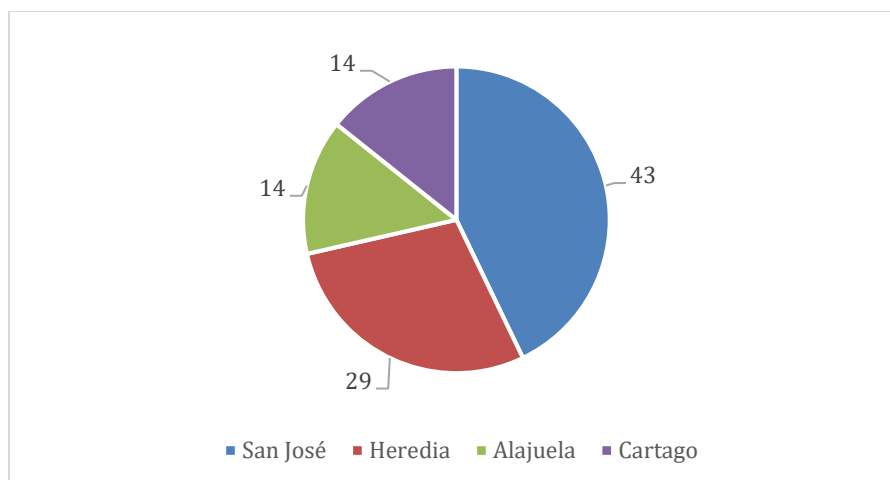


Figura 1. Ubicación de las empresas transformadoras entrevistadas por provincia (en porcentaje)

Fuente: elaboración propia

En el informe anterior se mencionó que la concentración de estas empresas transformadoras en cuatro provincias limita la recuperación de los residuos valorizables en otros cantones del país, debido a que el transporte encarece los costos, y corresponden a la estructura de costos de los centros de recuperación ya sean privados o municipales.

2.1.2. Residuos valorizables que demandan las empresas transformadoras y sus años de experiencia

En el **Cuadro 1** se presenta la información de los materiales demandados por las empresas transformadoras entrevistadas. Se destaca que **12 (57%)** trabajan con plásticos, **3 (14%)** con metales, **2 (10%)** con materia orgánica, **2 (10%)** están transformando los materiales en biocombustibles, **1 (5%)** con cartón y papel y **1 (5%)** con vidrio.

Cuadro 1. Información de los residuos valorizables que demandan las empresas transformadoras entrevistadas y años de operación

N°	Materiales con los que trabajan	Años de operación
1	5 (PP) y 6 (PS)	Micro emprendimiento que está iniciándose
2	1 (PET), 2 (HDPE), 3 (PVC), 4 (LDPE), 5 (PP), 6 (PS)	4 años formalmente y 7 años informal
3	2 (HDPE), 4 (LDPE), 5 (PP), 6 (PS) y 7 (ABS de AyA)	18 años
4	Todos los plásticos	Con el tema de ecoblocks están en un plan piloto
5	2 (HDPE), 4 (LDPE), 5 (PP) y 7 Otros (algunos polilaminados)	12 años
6	Aluminio y bronce (Sn y Cu)	20 años
7	Todos los metales, excepto hierro	12 años

N°	Materiales con los que trabajan	Años de operación
8	Envases de vidrio	40 años
9	Cartón	32 años
10	Plástico 2 HDPE, Plásticos (LDPE, LLDPE, HDPE, PP, PS, PVC,) Scrp: Inyección, soplado, molde. Bolsas, Botella Fleje, Cubetas, Manguera, Sacos, Mecate, PP Galones, Tarimas	15 años
11	2 (HDPE), 4 (LDPE) y 5 (PP)	ND
12	Bolsas de basura	Más de 25 años
13	Papel y cartón, todo lo que sea coprocesable	ND
14	Plástico 2 HDPE, LDPE, HDPE, PP	35 años, pero inscritos en 2019.
15	(2) Polietileno de alta densidad (HDPE), (5) Prolipropileno (PP)	ND
16	Hierro gris, hierro	ND
17	(4) Polietileno de baja densidad (LDPE)	ND
18	2 (HDPE), film recibe y sus bolsas son 100% de material reciclado	7 años
19	1 (PET), 2 (HDPE), Todos los plásticos, el material puede estar sucio	3 años
20	Residuos orgánicos de empresas grandes, residuos de jardinería	7 años
21	Principalmente residuos agrícolas, también pueden tratar municipales	20 años

Fuente: elaboración propia

Respecto a los años de experiencia en la **Figura 2** se muestra que el **29% (6)** de las empresas están en un ámbito de 1 a 10 años, un **24% (5)** entre 11 y 20 años, no se obtuvo información de otro **24% (5)**, **14% (3)** tiene más de 32 años, aspecto importante (una de plástico, otra de vidrio y otra de cartón) un **5% (1)** tiene entre 21 y 30 años (plástico) y el otro **5% (1)** menos de un año.

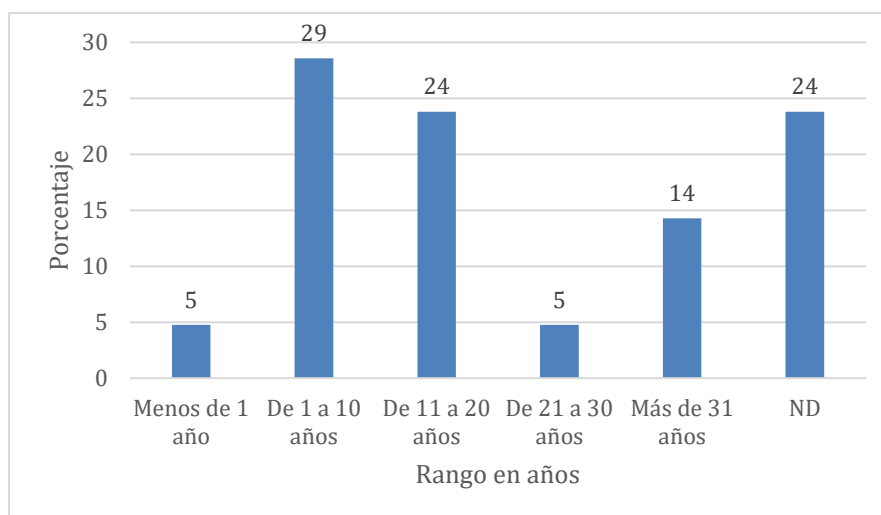


Figura 2. Ámbito de años de experiencias de las empresas transformadoras entrevistadas (en porcentaje)

Fuente: elaboración propia

2.1.3. Productos elaborados a partir de residuos valorizables y su destino

En el **Cuadro 2** se detalla los productos elaborados a partir de los residuos valorizables, así como el destino de dichos productos.

Respecto a los **plásticos** se menciona con mayor frecuencia la producción de bolsas plásticas, madera plástica, materia prima, combustibles alternos, resinas, seguido de bobinas y teja plástica. Los residuos de **metales** se transforman en piezas para la construcción y barras de bronce.

Se produce con el **cartón y papel**, cajas de cartón y esquineros para productos agrícolas. En el caso del **vidrio** se utiliza para producir envases plásticos y finalmente con la **materia orgánica** un mejorador de suelo (abono orgánico).

Se determinó que 6 de las empresas solo se comercializan los productos en el mercado nacional, 3 empresas solo venden sus productos en el mercado internacional, en cinco empresas se vende tanto a escala nacional como internacional y en 6 de los casos no se brindó información, porque la persona entrevistada consideró que eran datos sensibles.

La información suministrada permite identificar al mercado nacional ya sea el sector privado o el público como los consumidores de los productos elaborados por dichas empresas, lo cual es muy positivo, porque estimula la producción nacional mediante los encadenamientos productivos que se estimulan o promueven.

Cuadro 2. Información de productos elaborados y su destino

N°	Productos	Destino de los productos
1	Ninguno todavía	Mercado nacional y latinoamericano
2	Resinas, Bobinas para termoformado Investigación de reciclaje de residuos	Agroindustria nacional Mercado internacional: China, India, algunos países de Europa y Estados Unidos
3	Materia prima, madera plástica: Mesas, basureros, playgrounds, bancas y sillas, maceteros, decks, cercas, barandas, cerramientos, muelles, puentes y senderos, rótulos, materiales varios para industria del agro y comercio.	Mercado internacional: Panamá y Nicaragua
4	Eco arena, Eco bocel, Eco bordillo, Eco loseta, Eco muroblock, Zacateblok, Eco adoquín	Mercado nacional
5	Resinas y producto terminado el plástico negro de cobertura de 2 metro doble y de 1.5 m.	Mercado nacional: industria de producción de productos plásticos y para el sector público (plástico negro). Mercado internacional: Centro América excepto a Honduras
6	Piezas para la construcción: Coladeras para piso, Coladeras para azotea, Tapas de registro, Trampas para grasa, Rodillo para soporte de tuberías	Mercado internacional: Nicaragua, aunque ahora debido a la situación está cerrada la opción, Honduras y Panamá (en pequeña escala)
7	Barras de bronce (se necesitan de muchos metales para llegar a la aleación)	Mercado nacional.

N°	Productos	Destino de los productos
		Mercado internacional: algunas ocasiones a México, Honduras, Guatemala y El Salvador.
8	Envases de vidrio	Mercado nacional. Mercado internacional: Centroamérica, República Dominicana, Haití, Guyana, México, Canadá y Estados Unidos
9	Producción de papel a partir de fibra (cartón post-consumo), Papel para cajas de cartón, Esquineros de cartón para productos agrícolas	Mercado internacional: Centro América
10	Bolsas plásticas y plástico de inyección HDPE.	Mercado nacional (bolsas plásticas) e internacional (plástico de inyección triturado)
11	Madera plástica	ND
12	Teja plástica	ND
13	Combustibles alternativos	Mercado nacional
14	Plástico derretido (materia prima)	ND
15	Madera plástica	ND
16	ND	ND
17	Bolsas plásticas	Mercado nacional: Instituto Costarricense de Electricidad (ICE)
18	Bolsas plásticas (transparentes, verde, roja y una línea de bolsas oxobiodegradables)	Mercado nacional.
19	Producen combustibles a partir de los todos los plásticos excepto PVC, por ahora	ND
20	Mejorador de suelos	Mercado nacional: Instituto Costarricense del Deporte y la Recreación (ICODER), viveros, al detalle.
21	Abono orgánico (mejorador de suelos)	Mercado nacional: municipalidad de Cartago, al detalle.

Fuente: elaboración propia

2.2. Sobre el empleo

El **100%** de las personas entrevistadas brindaron información sobre la cantidad de personas que laboran en su empresa, como se muestra en el **Cuadro 3**. Se reporta que el total empleado asciende a 1 024 personas.

Si se agrupan por número de personas colaboradoras, el **52%** (11 empresas) contrata de 1 a 10 personas, el **29%** (6) de 11 a 20, un **10%** (2) de 21 a 50 personas y el otro **10%** (2) tienen entre 370 y 450. Lo que demuestra variabilidad en el tamaño de las empresas, no obstante, no se realiza en el presente estudio una clasificación más exhaustiva, debido a que no se tiene mayor información (ingresos por ventas o montos de los activos).

Cuadro 3. Cantidad de personas colaboradas según empresa transformadora

N°	Cantidad de personas colaboradoras
1	2
2	3
3	9
4	4
5	18
6	13
7	13
8	370
9	450
10	33
11	9
12	2
13	20
14	7
15	2
16	12
17	25
18	6
19	18 (12 de planta y 6 socios que son los emprendedores)
20	3
21	12
Total	1 024

Fuente: elaboración propia

2.3. Sobre los costos de operación y funcionamiento para la transformación de los residuos valorizables

2.3.1. Costos de operación de la transformación del plástico

La estructura de costos de operación y funcionamiento (anuales) brindada por dos empresas, se observa en el **Cuadro 4**. En el caso de la empresa 1, el monto asciende a US \$ **1.075.837**. El **43%** del costo corresponde al pago de electricidad (que es el mayor rubro), el **24%** al pago de salarios del personal y el **11%** al pago de las prestaciones, cargas sociales y otros pagos fijos, esto corresponde con una de las principales barreras mencionadas por las personas como barreras o limitaciones para el desarrollo del sector.

Respecto a la empresa 2, el monto es de **US \$ 437 289**, la diferencia se debe principalmente, al tamaño de la empresa. El comportamiento de los rubros también varía, por ejemplo, el **36%** corresponde al pago de salarios (son mayores que los que paga la otra empresa), el **17%** se destina al pago de alquiler de equipos, combustible, un **16%** representa el alquiler del terreno y edificio, también muy superior al de la empresa 1 y

otro 16% es al pago de prestaciones y garantías sociales y el pago de electricidad es el 8%.

Cuadro 4. Costos de operación y mantenimiento para la transformación del plástico (en US\$)

Detalle del costo	Empresa 1 Monto anual (en US\$)	Empresa 2 Monto anual (en US\$)
Alquiler del terreno y edificio	36 000	68 400
Pago de salarios al personal	260 000 ^{1/}	159 292 ^{3/}
Pago de prestaciones y cargas sociales de todo el personal	120 786 ^{2/}	72 000
Pago de electricidad	467 257	34 000
Pago de agua	1 487	2 125
Pago teléfono, internet.	1 062	ND
Alquiler de equipo como automóviles, montacargas u otros, pago de combustible, lubricantes, repuestos y depreciación de los vehículos	78 000	75 982
Pago por la disposición final de los residuos que no son utilizados por la condición en que llegan.	2 400	ND
Mantenimiento de la maquinaria, equipos y vehículos, edificios, equipamiento, mobiliario, de edificios e infraestructura, de equipamiento y accesorios.	97 345	6 370
Pago de molienda		12 750
Otros gastos administrativos (materiales y suministros de oficina, viáticos y capacitaciones, entre otros).	11 500	6 370
Total	1 075 837	437 289

^{1/} Estimado para 28 personas colaboradoras de diferente puesto y habilidades (el salario oscila entre US\$ 620 y US \$ 885 por mes).

^{2/} Estimado de un 47%, considerando las cargas y prestaciones sociales en un 45.2% y el resto para el pago de seguro de riesgos del trabajo, seguros, pólizas, patentes, entre otros.

^{3/} Estimado para 10 personas colaboradoras de diferente puesto y habilidades (el salario oscila entre US\$ 1 100 y US \$ 2 200 por mes).

Fuente: elaboración propia con base en las entrevistas realizadas

2.3.2. Costos de operación de la transformación de los metales

Se obtuvo información de una empresa transformadora de metales, su estructura de costos de operación y funcionamiento (anuales) se muestra en el **Cuadro 5**. El monto asciende a US \$ **307 277**. El **45%** del costo corresponde a salarios, el **25%** a cargas y prestaciones sociales y el **18%** a gastos administrativos.

Cuadro 5. Costos de operación y mantenimiento para la transformación de los metales (en US\$)

Detalle del costo	Monto anual (en US\$)
Alquiler del terreno y edificio	0
Pago de salarios al personal	138 101
Pago de prestaciones y cargas sociales de todo el personal	78 248
Pago de electricidad	6 210
Pago de agua	933

Detalle del costo	Monto anual (en US\$)
Pago teléfono, internet.	1 108
Alquiler de equipo como automóviles, montacargas u otros, pago de combustible, lubricantes, repuestos y depreciación de los vehículos	12 672
Pago por la disposición final de los residuos que no son utilizados por la condición en que llegan.	0
Mantenimiento de la maquinaria, equipos y vehículos, edificios, equipamiento, mobiliario, de edificios e infraestructura, de equipamiento y accesorios.	14 020
Otros gastos administrativos (materiales y suministros de oficina, viáticos y capacitaciones, entre otros).	55 984
Total	307 277

Fuente: elaboración propia con base en las entrevistas realizadas

2.3.3. Costos de operación de la transformación del cartón

No fue posible obtener información de los costos de operación y funcionamiento de la única empresa que recicla cartón en el país (por considerarla sensible, según el gerente general entrevistado), por lo tanto, se tiene algunos datos de la industria papelera europea, como se muestra a continuación.

Según información de la Comisión Europea (2015) sobre la pulpa, papel y cartón, esta industria se caracteriza por ser intensiva en energía. En promedio el 21% de los costos de producción son del consumo de combustible y electricidad. Esta industria también es intensiva en capital, por lo que los planes de inversión son a largo plazo.

Los principales productores de pulpa son: Estados Unidos, Canadá, Suecia, Japón y Finlandia, así como Brasil y Chile.

Según la fuente citada, de 1991 a 2008, la producción de pulpa aumentó de 34.0 a 41.9 millones de toneladas, mientras que al mismo tiempo el número de plantas de pulpa disminuyó de 295 a 193.

La competitividad de la industria papelera europea, se ha visto afectado por los incrementos en los costos de producción y materias primas, así como la existencia de empresas similares en algunos lugares de Asia y América Latina.

Se tienen datos de la estructura de costos de fabricación para la industria europea de pulpa y papel para el año 2009, como se observa en el **Cuadro 6**. No incluye costos de capital (inversión) ni costos de transporte.

Cuadro 6. Costos de operación y mantenimiento para la transformación del cartón (en %)

Rubros	Porcentaje
Madera	17
Mantenimiento	8
Mano de obra	12

Rubros	Porcentaje
Electricidad	10
Combustibles	11
Productos químicos	17
Pulpa	19
Papel recuperado	6
Total	100

Fuente: Adaptado de Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Production of Pulp, Paper and Board. (2015). Industrial Emissions Directive 2010/75/EU

2.3.4. Costos de operación de la transformación del vidrio

En el país existe solo una empresa recicladora de vidrio, la información que brindaron fue que el costo de procesar el vidrio es de US \$ **80,22 por tonelada**, no se pudo obtener más datos, debido a que la persona entrevistada considera que es información sensible.

No obstante, en general se tiene información de que los costos de producción para la fabricación de envases de vidrio son:

- Materias primas: representan aproximadamente el 30%, varía según la materia prima versus el material reciclado.
- Mano de obra: aproximadamente el 20%
- Gastos generales: aproximadamente el 50%, de los cuales el 40% son costos de energía, varían según la materia prima

Se destaca que el vidrio proveniente de los residuos sólidos puede reemplazar hasta el 95% de las materias primas necesarias para la producción, proporcionando un efecto estabilizador sobre el costo de las materias primas. Mezclar grandes porciones de residuos de vidrio requiere una temperatura más baja para la fabricación que una mezcla con mayores porciones de materia prima, lo que reduce los costos de energía (Agencia de Protección Ambiental de Ohio, 2015)⁶.

El documento mencionado, afirma que la variación entre la compra de residuos de vidrio en lugar de materias primas, es de \$ 85 a \$ 145 por tonelada (datos del 2015).

Finalmente, indica que, en el 2017, la tasa de reciclaje del vidrio en Estados Unidos fue de un 33%, si se incrementa dicha tasa a un 70%, se reducirían los costos de energía aproximadamente un 15%, y se reduciría los costos de agua y materia prima.

⁶ Newlove. T (2017). Keeping Glass Recycling Financially Sustainable: A Cost - Benefit Analysis. Traducción libre.

2.3.5. Costos de operación de la transformación de los residuos orgánicos

Una de las empresas entrevistadas que transforma residuos orgánicos, mencionó que sus costos anuales ascienden aproximadamente a US \$ 54 000. Esta empresa utiliza el compostaje en patio, alquila un terreno de 7 000 m².

Se realizaron estimaciones para determinar el costo de operación y mantenimiento para otras formas de tratamiento centralizado (para más detalle ver el informe del producto 4 de la presente consultoría): compostaje en patio, en bolsas de silo, en hileras con aire inducido y digestión anaerobia (**Cuadro 7**).

Cuadro 7. Resumen de los costos de operación y mantenimiento de las tecnologías de tratamiento centralizado de residuos orgánicos (en dólares)

Tecnología	Costos de operación y mantenimiento anuales (en US \$)
Compostaje en patio ^{1/}	110 220
Compostaje en bolsas de silo ^{1/}	119 069
Compostaje en hileras con aire inducido ^{2/}	9 826
Digestión anaerobia ^{3/}	69 000

^{1/} Para un terreno de 10 000 m² y 9 personas

^{2/} Es más tecnificado por lo que solo requiere 1 persona

^{3/} Es el más tecnificado y requiere 10 personas (en los costos estimado se considera el salario y sus respectivas para prestaciones sociales para un directivo, ya que el dato se obtuvo del proyecto a desarrollar por la UNGL en la provincia de Cartago).

Fuente: Elaboración propia

2.4. Posibilidades de encadenamientos económicos o productivos

El encadenamiento productivo tiene como objetivo que varias empresas trabajen en conjunto, para lograr la sostenibilidad en todos sus ámbitos (económico, social, ambiental), esto ligado por supuesto a la nueva tendencia de economía circular. Se destaca que en el país existen encadenamiento de varias empresas que envían sus residuos post industriales para que sean valorizados por otras empresas. No obstante, el interés de la presente investigación es conocer la situación con los residuos valorizables post consumo.

Fue posible identificar con la investigación el encadenamiento que realizan dos empresas, el caso de Biofutura que entrega las bolsas con residuos de materia orgánica (debe recordarse que dicha empresa trata los residuos orgánicos), a la empresa Polyfuel de Costa Rica, la cual está elaborando combustibles. Esta información fue validada, no obstante, por limitaciones de tiempo no se pudo visitar ninguna de las dos empresas para ampliar la información.

En términos generales existe una cadena de producción de los centros de recuperación de residuos valorizables, ya sean privados o municipales, hacia las empresas

transformadoras, siendo este un tipo de encadenamiento productivo. Además, se dan encadenamiento entre la empresa que transforma con otras que les brindan servicios o productos, tales como microorganismos eficientes, transporte, en la producción del compost. Estos encadenamientos fueron difíciles de obtener en la presente investigación, debido a la poca apertura que se tuvo de las personas entrevistadas en suministrarla.

No fue posible determinar redes o cadenas de producción⁷ ni tampoco cluster⁸.

Como reflexión final es fundamental considerar que el sector de empresas transformadoras se enfrenta a diversos desafíos los cuales incluyen el precio de la materia prima, los costos asociados a la mano de obra y el transporte, entre otros. Muchas de las empresas, principalmente la del plástico, tienen una presión por parte de la sociedad, en términos de protección ambiental.

3. Tecnología utilizada y requerida para la transformación de los residuos valorizables en Costa Rica

3.1. Sobre la tecnología utilizada y requerida por las empresas transformadoras de plástico

El detalle sobre la tecnología utilizada por las empresas transformadoras de plástico se muestra en el **Cuadro 8** (solo una empresa entrevistada no suministró la información). La tecnología que se utiliza que se mencionó con mayor frecuencia es molinos, extrusoras y equipo de presión. Respecto a la tecnología necesaria, que pueda hacer más eficiente y eficaz el proceso productivo de la transformación del plástico, las 11 indicaron sus necesidades, algunas de forma muy amplia y completa, algunas solo un equipo o maquinaria.

Cuadro 8. Lista de tecnología utilizada y requerida en los procesos de transformación del plástico

Nº	Tecnología utilizada	Tecnología necesaria
1	Equipo pequeño de presión.	Equipo de presión.
2	Molinos, extrusoras de pellet, extrusoras de bobinas, secadores.	Máquina dosificadora, máquina separadora por densidad, programación para máquinas, 8 tipos de molinos diferentes, siendo uno de ellos para material como SHDPE para materiales entregados por AyA, autotransformadores para voltajes altos,

⁷ Las redes funcionan como un conjunto de empresas que a partir de un producto básico desarrollan con proveedores o con quienes le siguen en las fases productivas una cooperación para el logro de objetivos comunes. No es necesario que compartan un espacio físico cercano, ni siquiera localizado, como el caso del clúster. Siendo las relaciones a largo plazo, un aspecto relevante.

⁸ Concentraciones de empresas con actividades similares o complementarias, con proveedores especializados e instituciones de apoyo en una determinada zona geográfica, esta cercanía permite que se mejoren los costos e ingresos al contar con elementos comunes para aprovechar economías de escala o aglomeración.

N°	Tecnología utilizada	Tecnología necesaria
		extrusoras para aumentar capacidad de reciclaje, moldes de termoformado para variedad de productos, varios camiones para recolección, sistemas de selección adecuados y a escala macro, bandas transportadoras, llenadoras de sacas, romanas para 2000 kg, montacargas para agilizar los procesos, sistemas de extracción y tratamiento de gases para materiales con residuos de agroquímicos y venenos, sistemas de cómputo adaptados a los procesos, desarrollo de aplicaciones estadísticas para reciclaje, desarrollo de maquinaria de laboratorio para selección de plástico, laboratorio para pruebas de resistencia y emisión de fichas técnicas, equipo para fabricación de resinas orgánicas.
3	Molino, extrusora y prensas.	Máquinas que se manejen solas, que laven, muelan, que realicen la extrusión, inyecten, etc., la madera de esta empresa es de más alta calidad que la traída de China, USA, Canadá. La estética de la madera importada es distinta (mejor). Los productos de Producol son de alta durabilidad.
4	Pequeña para piloto.	Máquina millonaria en dólares
5	ND	Máquinas que permitan que el material producido sea aprobado por el FDA, lo que hacen es por el calentamiento sacar olores, o contaminantes, son accesorios. Valoraría la posibilidad de comprar máquinas para producir más productos terminados y máquinas para materiales post-consumo y lavarlos y producir productos.
6	Compactadora, montacargas, aglomerador, molino, extrusoras, convertidoras.	Paneles solares y camiones eléctricos. Aparte una máquina lavadora de botellas y botellas. Lavadora de bolsas contaminadas de la industria del AGRO. Una máquina para hacer madera Plástica, Una máquina para convertir las tarimas y leñas en materia prima.
7	Extrusadora hechiza (elaborada por el dueño de la empresa)	Paneles solares y camiones eléctricos. Aparte una máquina lavadora de botellas. Lavadora de bolsas contaminadas de la industria del AGRO. Una máquina para hacer madera Plástica, Una máquina para convertir las tarimas y leñas en materia prima.
8	Lavado previo del material, maquinaria para calentamiento y el prensado	Moldes, mejorar las máquinas que tienen, que, aunque son hechizas trabajan muy bien.
9	Peletizadora.	Una máquina para inyección.
10	Trituradoras.	Extrusora en línea y peletizadora.
11	Pelitizadoras, estrusoras, máquinas de cortar.	Impresora de bolsas y otra peletizadora.
12	4 extrusoras y 3 cortadoras, molino	Para corte requiere sustituir dos cortadoras. Está negociando una.

Fuente: elaboración propia

3.2. Sobre la tecnología utilizada por las empresas transformadoras de papel y cartón

La persona entrevistada de la empresa recicladora de cartón mencionó que tiene un molino para la transformación del papel, es el molino más grande que existe en Centroamérica, y consideran que tienen la tecnología que necesitan.

3.3. Sobre la tecnología utilizada por las empresas transformadoras de vidrio

Al igual que el caso del papel y del cartón, la única empresa transformadora de vidrio, posee de tecnología que necesita para su operación (limpiadora de vidrio, trituradora, hornos), consideran que tienen lo que necesitan.

3.4. Sobre la tecnología utilizada y requerida por las empresas transformadoras de metales

Dos empresas entrevistadas brindaron la información sobre la tecnología utilizada, la cual se muestra en el **Cuadro 9**. Se tiene hornos de fundición y enderezado (moldeo). Respecto a la tecnología necesaria, solo una empresa mencionó sus requerimientos, una considera que tiene la tecnología necesaria y la otra empresa no brindó información.

Cuadro 9. Lista de tecnología utilizada en los procesos de transformación del metal

Nº	Tecnología utilizada	Tecnología requerida
1	Hornos de fundición de combustible con soplador (turbina de aire), bombeo eléctrico del combustible, sistemas de aire comprimido para la operación de equipo neumático, máquinas de moldeo semiautomáticas, tornos para acabados.	Maquinaria y equipo para la preparación de arenas y moldeo automático. Equipo para laboratorio de arenas. Impresoras 3D de aluminio. Si el costo de la electricidad fuera bajo, hornos eléctricos los cuales no generan ruido y disminuyen significativamente la emisión de humo. Software para producción, para el sistema de gestión de calidad, para la parte financiera contable y para la relación con el cliente.
2	Hornos de fundición y enderezado.	Tienen la requerida
3	ND	ND

Fuente: elaboración propia

3.5. Sobre la tecnología utilizada y requerida por las empresas transformadoras de residuos orgánicos

Las empresas de transformación de los residuos orgánicos, así como las cinco municipalidades que tienen plantas de compostaje, utilizan la tecnología de compostaje en patio (para mayor detalle ver el producto 5 de la presente consultoría).

El procedimiento es sencillo una vez que ingresan los residuos orgánicos, estos se colocan en lomillos que se voltean frecuentemente, se realiza con tractores, pero también puede realizarse de forma manual, en función de la cantidad tratada de residuos orgánicos. Cuando el compost está maduro se procede a cribarlo o zarandearlo para su empaque y comercialización respectiva (en el caso de que se realice). Se tiene información de la empresa Biofutura que requiere un monto de US \$ 12 000 para instalar una tubería con aire inducido en su patio, con el objetivo de acelerar el proceso de tratamiento y de no necesitar el alquiler del tractor para el volteo, con tanta frecuencia. Además, la municipalidad de Pérez Zeledón, también está ejecutando un proyecto para realizar la tecnología de hileras con aire inducido.

3.6. Generación de empleo con nueva tecnología

Respecto al incremento del empleo con la mejora de tecnología, en total la cantidad a emplear se incrementaría a **1 434** personas, el **48% (10)** no respondió, un **24%** (5) afirmaron que si se necesitaría más personal, en el **14%** (3) de las empresas se mantiene la cantidad de personal, en el **14%** (3) mencionaron que no necesitarían más personal, sino más bien habría despidos al adquirir tecnología (**Cuadro 10**).

Llama la atención que las 2 grandes empresas no estarían contratando personal, debido a que no requieren nueva tecnología. Al no tener información de 10 empresas con respecto al empleo potencial con la nueva tecnología no se puede concluir sobre el comportamiento del crecimiento o decrecimiento de esta variable.

Cuadro 10. Cantidad de personas colaboradas y empleo potencial según empresa transformadora

N°	Empleo potencial con nueva tecnología
1	30
2	500
3	20
4	10
5	24
6	NA
7	13
8	370
9	450
10	15
11	ND
12	ND

N°	Empleo potencial con nueva tecnología
13	ND
14	ND
15	ND
16	ND
17	ND
18	2
19	ND
20	ND
21	ND
Total	1 434

Fuente: elaboración propia

3.7. Las emisiones de gases de efecto invernadero evitadas

En el **Anexo 2** se detalla la justificación teórica del uso de los modelos para la estimación de las emisiones evitadas, así como algunos datos relacionados con las emisiones de GEI evitadas si se estuvieran recuperando más residuos valorizables en vez de enterrarlos.

En el **Cuadro 11** se presentan los factores de emisión de GEI utilizados para cada de los residuos analizados y de acuerdo con los estudios empleados.

Cuadro 11. Factores de emisión de GEI empleados por tipo de estudio para el cálculo de las emisiones de GEI evitadas

Tipo de residuo	Factor de emisión (kg CO _{2e} /ton residuo)		
	Turner et al. (2015) ¹	WARM 15 ²	Rango de literatura ¹
Papel y cartón mezclados	-120	-3914 ³	-888 a -280
Botellas plásticas mezcladas	-1024	-1158 ⁴	-2324 a 1470
Vidrio mezclado	-314	-309 ⁵	-762 a -201
Chatarra	-3577	-4840 ⁶	-4828 a -2573

¹Adaptado del estudio de Turner et al. (2015).

²Adaptado de Documentation for Greenhouse Gas Emission and Energy Factors Used in the Waste Reduction Model (WARM) (EPA, 2019). ³Factor de emisión disponible para papel mezclado.

⁴Factor de emisión disponible para plástico mezclado.

⁵Factor de emisión para vidrio.

⁶Factor de emisión para metales mezclados.

Fuente: elaboración propia

Es importante destacar que como parte de los supuestos de cálculo que se han asumido se considera que todos los materiales reciclables que llegan a los rellenos sanitarios o que son depositados en otros sitios no controlados, entrarían al sistema de reciclaje nacional, ya que las dos alternativas de factores de emisión empleados no contemplan la exportación de los residuos debido a la complejidad que implica hacer el análisis de ciclo de vida de todo el proceso en otros países.

Además, se deben tomar los resultados obtenidos como referencias muy generales, ya que cada factor de emisión utilizado depende de las realidades del sistema de reciclaje donde fueron calculados, en este caso para Reino Unido y los Estados Unidos de Norte América.

Por otra parte, aunque sería interesante valorar cuáles son las emisiones de GEI generadas a partir de los procesos de transformación que se dan en el país de los residuos valorizables, dadas las limitaciones de este estudio no es posible.

Las empresas transformadoras entrevistadas no brindan detalle de sus procesos, por lo tanto, con lo único con que se cuenta son con cifras aproximadas de las cantidades de material que transforman anualmente.

De esta forma se resume en el **Cuadro 12** los resultados para las empresas transformadoras de plásticos, vidrio, metales, papel y cartón. De esas 17 empresas, 12 corresponden a empresas transformadoras de plástico. Sin embargo, no se pudo obtener información de 6 con respecto a las cantidades de materiales que transforman; 3 son empresas transformadoras de metales, 1 es una empresa transformadora de vidrio, 1 se dedica a la transformación de cartón⁹. El detalle de la información se presenta en el **Anexo 3**.

Cuadro 12. Emisiones de GEI evitadas por el reciclaje de residuos por empresas gestoras o transformadoras de residuos en Costa Rica

Tipo de material	Cantidad de empresas		Cantidad aproximada de material consumido (Ton/año)	Cantidad de emisiones evitadas (kgCO _{2e} /año)	
	Identificadas	Que brindaron información de transformación		Turner et al.	WARM 15
Papel Cartón	1	1	96 000	-11 520 000	-375 744 212
Plásticos	12	6	6 378	-6 531 072	-7 383 572
Vidrio	1	1	86 400	-27 129 600	-26 672 547
Metal	3	3	501	-1 792 077	-2 424 906
TOTAL	17	12	189 279	-46 972 749	-412 225 237

Fuente: elaboración propia.

Los totales en cada uno de los estudios muestran una gran diferencia y esto es provocado por las emisiones evitadas por el cartón; ya que este factor de emisión si es sumamente diferente entre un estudio y otro.

Se aclara que la empresa Polyfuel en la actualidad no está transformando residuos plásticos post consumo, sino que tiene una alianza (encadenamiento) con la empresa

⁹ Además, trata residuos post-industriales y la cantidad mencionada, no se está segregada en lo que corresponde a papel y cartón y cuánto de los materiales que coprocesan, es por eso que se excluye de los cálculos.

Biofutura, por lo que se en los siguientes apartados. La persona entrevistada mostró mucho interés de poder trabajar con residuos plásticos post consumo en el futuro.

En el caso de los residuos sólidos orgánicos en el **Cuadro 13** se muestran los resultados obtenidos para las empresas identificadas que aportaron información de la cantidad de materia orgánica que procesan y para las municipalidades que tienen una planta de compostaje.

Cuadro 13. Comparación de las emisiones de GEI generadas por los residuos orgánicos si son dispuestos en un relleno sanitario versus las emisiones de GEI generadas si se compostean

Nombre empresa / municipalidad	Materiales que demandan	Cantidad aproximada de material consumido (Ton/año)	Cantidad de emisiones (kgCO ₂ e/año)		Emisiones reducidas con el compostaje
			Relleno Sanitario	Compostaje	Total
Biofutura	Residuos orgánicos de empresas grandes, residuos de jardinería	840	1 024 884	851 760	173 124
Abonos Vivos	Principalmente residuos agrícolas, también pueden tratar municipales	ND	ND	ND	ND
Municipalidad de Tilarán	Residuos orgánicos municipales	9	10 981	9 126	1 855
Municipalidad de Pérez Zeledón	Residuos orgánicos municipales	3 285	4 008 029	3 330 990	677 039
Municipalidad de Alvarado	Residuos orgánicos municipales	600	732 060	608 400	123 660
Municipalidad de Jiménez	Residuos orgánicos municipales	561	684 476	568 854	115 622
Municipalidad de San Rafael	Residuos orgánicos municipales	36	43 924	36 504	7 420
Total		5 331	6 504 353	5 405 634	1 098 719

Fuente: elaboración propia

Como se mencionó anteriormente, para el cálculo de los residuos orgánicos se emplearon los factores de emisión de GEI del IMN (2019) para comparar las emisiones generadas por la disposición en relleno sanitario y compostaje.

En este caso se consideran únicamente las emisiones producidas al gestionar el residuo y no de todo el proceso requerido como la recolección, transporte, entre otros, lo anterior debido a que no se tienen los datos necesarios para efectuar más cálculos.

Al igual que para los otros tipos de residuos que son reciclables lo ideal para cada uno de las empresas y Municipalidades que gestionan residuos orgánicos sería analizar el ciclo de vida de estos residuos de acuerdo con cada situación en particular y la realidad nacional, y hacer estimaciones que incluyan todo el proceso que requiere el compostaje y así incluir emisiones de transporte, recolección, disposición final, entre otros.

Se identificaron 18 Municipalidades y 2 Concejos de Distrito con acciones descentralizadas para el tratamiento de los residuos orgánicos, por medio de dos técnicas (tambor rotatorio y takakura), la información detallada se muestra en el **Cuadro 14**.

Dichos gobiernos locales han entregado el tambor rotatorio o las cajas para la elaboración de compost mediante el método takakura a hogares, y escuelas, previo una charla y acompañamiento en la mayoría de los casos.

Se destaca que al momento no ha sido posible completar el dato de las cantidades de cajas de takakura entregadas por los gobiernos locales.

Cuadro 14. Municipalidades identificadas con acciones para el tratamiento de residuos orgánicos y método aplicado

N°	Municipalidad	Técnica de compostaje / Cantidad de Familias
1	San Rafael	Tambor rotatorio / 150 hogares
2	Heredia	Tambor rotatorio / más de 550 hogares
3	San Pablo	Tambor rotatorio / 75 por iniciar en hogares
4	Curridabat	Tambor rotatorio / más de 500 hogares
5	Montes de Oca	Tambor rotatorio / 100 hogares
6	Desamparados	Tambor rotatorio y Takaura / 420 hogares
7	Alajuela	Tambor rotatorio / 1700 hogares
8	La Unión	Tambor rotatorio / 88 hogares
9	Corredores	Takakura. Lombricompost con las sodas del mercado
10	Mora	Takakura / 90 en escuelas
11	Consejo de Distrito de Paquera	Takakura / 40 hogares
12	Palmares	Takakura
13	Golfito	
14	Santo Domingo	
15	Montes de Oca	
16	Escazú	
17	San José	
18	Oreamuno	
19	Grecia	
20	San Isidro de Heredia	
21	La Unión	
22	Consejo de Distrito de Monteverde	

Fuente: elaboración propia

En el caso de la municipalidad de Desamparados se tiene el dato de que, al año, que producto de la aplicación del compostaje en hogares, se evitan que 246 toneladas de residuos orgánicos lleguen al relleno sanitario, lo cual significa una reducción de 51 Ton CO_{2e} ellos utilizan tanto el método Takakura como los tambores rotatorios.

Para el caso de Paquera y Mora, los únicos datos que se lograron obtener es que cuentan con 40 y 90 composteras Takakura de Ecolur respectivamente. Estas composteras son capaces de procesar 1,5 kilogramos de residuos orgánicos al día. Se desconoce la cantidad de residuos sólidos orgánicos que son procesados por día en cada familia y escuela, por

lo que se asumió que diariamente colocan 1 kilogramo de residuos sólidos orgánicos y con ese valor se calcularon las emisiones de GEI que esa cantidad de residuos tendrían al enviarse a un relleno sanitario versus las emisiones al compostear, como se muestra en el **Cuadro 15**.

Cuadro 15. Comparación de la cantidad de emisiones de GEI generadas según el tipo de tratamiento

Municipalidad	Cantidad aproximada de material consumido (Ton/año)	Cantidad de emisiones (Ton CO ₂ e/año)		Emisiones reducidas con el compostaje (Ton CO ₂ e/año)
		Relleno Sanitario	Compostaje	Total
Desamparados	246	300	249	51
Consejo de Distrito de Paquera	15	18	15	3
Mora	33	40	33	7

Fuente: elaboración propia

En la **Figura 3** se hace un resumen con el total de emisiones evitadas por tipo de material para los escenarios que se plantearon anteriormente. Como se observa el material que evitaría la mayor cantidad de emisiones es el plástico, sin embargo, es necesario hacer un estudio más específico para determinar exactamente cuál tipo de plástico, ya que para estos cálculos se utilizó el factor de emisión de plásticos mezclados.



Figura 3. Total de emisiones evitadas para cada uno de los escenarios

Fuente: elaboración propia

En el **Cuadro 16** se detalla la totalidad de emisiones evitadas de acuerdo con los diferentes escenarios planteados y con las variables de los factores de emisión utilizados.

Cuadro 16. Resumen de las emisiones de GEI evitadas totales de los diferentes escenarios desarrollados

Escenarios	Total de emisiones evitadas (kgCO _{2e} /año)	
	Turner et al.	WARM 15
Residuos valorizables dispuestos en los rellenos sanitarios	-203 964 194	-754 237 006
Residuos valorizables que no se recolectan	-69 366 060	-255 403 418
Residuos orgánicos compostados	-1 149 925	
TOTAL	-272 180 329	-1 008 490 499

Fuente: elaboración propia

4. Análisis de costo-beneficio por cada proceso o tecnología en el tratamiento de los residuos valorizables.

En el presente apartado se realiza un resumen de la tecnología requerida por algunas empresas para la transformación de los residuos valorizables, con dicha tecnología las empresas podrían mejorar la eficiencia y eficacia en el proceso productivo. Inclusive producir nuevos subproductos con los residuos valorizables.

Se aclara que la búsqueda se realizó por internet, solo se menciona el monto de la inversión, no así otros costos asociados con el flete, trámites de importación, entre otros. Además, se encuentra disponible una oferta de este equipo, por lo que se muestran ejemplos, no se está recomendando ninguna tecnología en participar.



Para la elaboración de todos los cálculos de las emisiones evitadas se utilizaron los factores de Turner et al y WARM 15 explicados en el **Anexo 2**, además para cada tecnología es importante considerar que, si un proceso combina las diferentes alternativas, la cantidad de emisiones de GEI evitadas se limita con la capacidad de material que procesa el sistema en su totalidad.



4.1. Sobre la inversión para la transformación de los residuos valorizables



4.1.1. El caso del plástico

La incorporación de tecnología moderna en las empresas transformadoras de plástico permitiría procesar una mayor cantidad de residuos. El **Cuadro 17** muestra la información de los principales equipos mencionados (**Figuras** de la **4** a la **9**) para el mejoramiento de procesos y de calidad del producto, se considera el monto de la inversión (US \$), algunas características, especialmente su capacidad, para realizar el cálculo de GEI evitadas.

Cuadro 17. Resumen de la tecnología requerida para la transformación del plástico

Tecnología	Inversión (US \$)	Características	Emisiones de GEI evitadas (kgCO _{2e} / Ton residuo*día)	
			Turner et al	WARM 15
 <p><i>Figura 4. Extrusora de plástico</i> Fuente: http://www.litaimachine.com/products/tjs-750-two-layer-ppps-sheet-extruder.html</p>	120 000 en adelante	Es una máquina que se maneja sola, lava, muele, y realiza la extrusión e inyecta. Transforma de 30 kg/h a 300 kg/h dependiendo del tamaño.	De -31 a -347	De -35 a -347
 <p><i>Figura 5. Máquina para imprimir</i> Fuente: https://www.google.com/search?q=printing+plastic+Machine&rlz=1C10KWM_esCR823CR823&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=2ahUKEwiamZ3e4brnAhXlx1kKHY3bBiMQ_AUoAXoECAwQAw&biw=1280&bih=578#imgrc=ontG0V1Wg407cM</p>	20 000 en adelante dependiendo del tamaño y funciones	ND	-	-

Tecnología	Inversión (US \$)	Características	Emisiones de GEI evitadas (kgCO _{2e} / Ton residuo*día)	
			Turner et al	WARM 15
 <p><i>Figura 6. Peletizadora de plástico</i> Fuente: https://www.google.com/search?q=pelletizer+plastic+Recycling+machine&rlz=1C1OKWM_esCR823CR823&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=2ahUKEwjmprTY5LrnAhUsuVkkHclYBfMQ_AUoAXoECBIQAw&biw=1280&bih=578&dpr=1.5#imgrc=-MwMnuG0WldOsM</p>	<p>Dependiendo del tamaño los costos pueden variar Costos encontrados fluctúan desde 50 000 ^{1/}</p>	<p>Transforma 1000 kg/h</p>	-1 024	-1 158
 <p><i>Figura 7. Línea de lavado</i> Fuente: http://www.gpetech.com/sale-10662594-waste-pp-pe-film-screw-press-dryer-plastic-recycle-washing-line.html</p>	<p>300 000</p>	<p>Se puede utilizar para tratar residuos plásticos como película de PE PP, bolsas de compras, bolsas tejidas de PP, bolsas de embalaje. Lava 1000 kg/h</p>	-1 024	-1 158

Tecnología	Inversión (US \$)	Características	Emisiones de GEI evitadas (kgCO _{2e} / Ton residuo*día)	
			Turner et al	WARM 15
 <p><i>Figura 8. Máquina automática de moldeo para inyección de plástico horizontal</i> Fuente: https://www.indiamart.com/proddetail/automatic-horizontal-plastic-injection-molding-machine-9083595191.html</p>	250 000 ^{2/}	ND	-	-
 <p><i>Figura 9. Extrusora de plástico</i> Fuente: https://www.indiamart.com/proddetail/automatic-horizontal-plastic-injection-molding-machine-9083595191.html</p>	Varían de precio dependiendo de las características y cantidades a tratar. Desde 140 000 en adelante	Existen las que procesan desde 1 000 a 5 000 kg/día ^{3/} .	De -128 a -640	De -145 a -724

^{1/} Una empresa entrevistada cuenta con una maquinaria valorada en US\$ 1.3 millones, pero se necesitan accesorios para cumplir con especificaciones de calidad, que les permitan el acceso a otros mercados.

^{2/} El costo varía de acuerdo al tamaño.


^{3/} Considerando una jornada de 8 horas



Fuente: elaboración propia



4.1.2. El caso de los metales

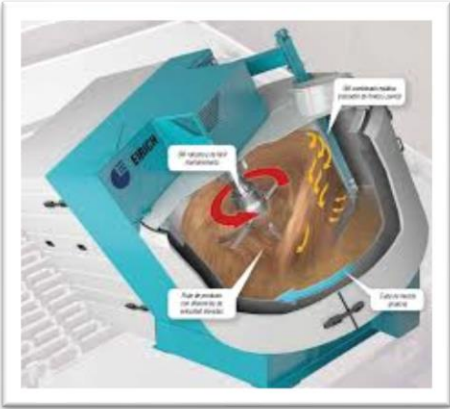

La incorporación de tecnología moderna en las empresas transformadoras permitiría procesar una mayor cantidad de residuos. El **Cuadro 18** se muestra la información de los principales equipos mencionados (**Figuras** de la **10** a la **13**) para el mejoramiento de procesos y de calidad del producto, así como las emisiones evitadas, para el caso de los metales. En el caso de las **Figuras 14** a la **17**, una de las empresas las requiere para mejorar la calidad de los productos elaborados.


Cuadro 18. Resumen de la tecnología requerida para la transformación de metales

Tecnología	Inversión (US \$)	Características	Emisiones de GEI evitadas (kgCO _{2e} / Ton residuo*día)	
			Turner et al	WARM 15
 <p><i>Figura 10. Horno para metales</i> Fuente: https://www.google.com/search?q=metal+furnace+recycling+equipment+india&tbm=isch&hl=en&chips=q:metal+furnace+recycling+equipment+india,online_chips:melting+furnace&rlz=1C10KWM_esCR823CR823&hl=en&ved=2ahUKEwj4pNih9brnAhWTkVkhRmbDEkQ4IYoAnoECAEQFw&biw=1263&bih=578</p>	120 000 en adelante	Este tipo de horno se utiliza para la fusión de chatarra y aleaciones. Se utilizan quemadores completos. El combustible del horno es de alrededor de 1 000kWh/t cuando la temperatura es de 7 200°C. La pérdida de metales de aproximadamente el 4%. Los hornos tienen varios tamaños.	-	-

Tecnología	Inversión (US \$)	Características	Emisiones de GEI evitadas (kgCO _{2e} / Ton residuo*día)	
			Turner et al	WARM 15
 <p><i>Figura 11. Horno eléctrico para fundir aluminio</i> Fuente: https://www.indiamart.com/proddetail/electrical-aluminium-melting-furnace-8253930488.html</p>	<p>26 000 en adelante dependiendo del tamaño y funciones. La cantidad que transforma no fue enviada a tiempo del informe.</p>	<p>Calentamiento uniforme con elementos calefactores eléctricos. En caso de rotura del crisol, solo se deben reemplazar los elementos de calentamiento.</p>	-	-
 <p><i>Figura 12. Moldes para fundir metales</i> Fuente: http://www.aluminumingotmold.com/sale-11743418-v-method-ingot-mould-casting-steel-skin-pan-aluminum-zinc-lead-production.html</p>	<p>100 en adelante dependiendo de tamaños, materiales</p>	<p>Procesa 600 Ton/año</p>	-188 400	- 185 226

Tecnología	Inversión (US \$)	Características	Emisiones de GEI evitadas (kgCO _{2e} / Ton residuo*día)	
			Turner et al	WARM 15
 <p><i>Figura 13. Impresora 3D</i> Fuente: https://www.3dprintingmedia.network/cetim-installs-second-digital-metal-3d-printer/</p>	Precio no determinado, pero algunos reportes de equipo producido en la India indican precios desde 20 000	Dependen del tipo de metal y tamaño, las cantidades que pueden procesar	-	-
 <p><i>Figura 14. Extracción y ventilación de planta de producción</i></p>	15 000	ND	-	-

Tecnología	Inversión (US \$)	Características	Emisiones de GEI evitadas (kgCO _{2e} / Ton residuo*día)	
			Turner et al	WARM 15
 <p><i>Figura 15. Mezcladora de arena verde para el proceso de moldeo en fundición de metales</i> Fuente: http://www.hossil.com/es/fundicion-hierro/preparacion-arena/arena-verde-mezcladora-convencional.html</p>	25 000	ND	-	-
 <p><i>Figura 16. Laboratorio calidad para arena verde para el proceso de moldeo en fundición de metales</i> Fuente: https://www.google.com/search?q=Laboratorio+calidad+arenas&tbm=isch&ved=2ahUKEwjD2q_b8r3ncCegQIABAA&oeq=Laboratorio+calidad+arenas&gs_l=img.3...28349.29812...30167...0.0..0.127.826.0j7.....0....1..gws-wiz-img.....35i39j0i30j0i8i30.73ag5SvOjvc&ei=mog8XsOIMI-gzwK43KeADQ&bih=578&biw=1280&rlz=1C1OKWM_esCR823CR823#imgrc=EVvCrzWvOQzeVM&imgdii=uKRVBI_r7W9ejM</p>	55 000	ND	-	-

Tecnología	Inversión (US \$)	Características	Emisiones de GEI evitadas (kgCO _{2e} / Ton residuo*día)	
			Turner et al	WARM 15
 <p>Qué es el Software libre y dónde puedes encontrarlo</p> <p><i>Figura 17. Software de servicio y tecnología de comunicación e información para la renovación digital para mejorar la gestión operativa de la empresa</i> Fuente: https://www.google.com/search?q=software&rlz=1C1OKWM_esCR823CR823&sxsrf=ACYBGNQShAvo_ps_vhr68erYz60MDTE9YHw:1581025693817&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=2ahUKEwj3_DW873nAhUHh-AKHQTKBzkQ_AUoAXoECBUQAw&biw=1280&bih=578&dpr=1.5#imgrc=S1dRLhOQ7_nFM</p>	55 000	ND	-	-

Fuente: elaboración propia

4.1.3. El caso del cartón

A pesar de que la empresa de transformación de cartón mencionó que no requiere nueva tecnología, en la **Figura 18**, se muestra una máquina que tiene un precio de US \$ 2 800 000. No fue posible obtener la información sobre la capacidad de dicha tecnología, por lo que no se estima las emisiones evitadas de GEI por esa tecnología.

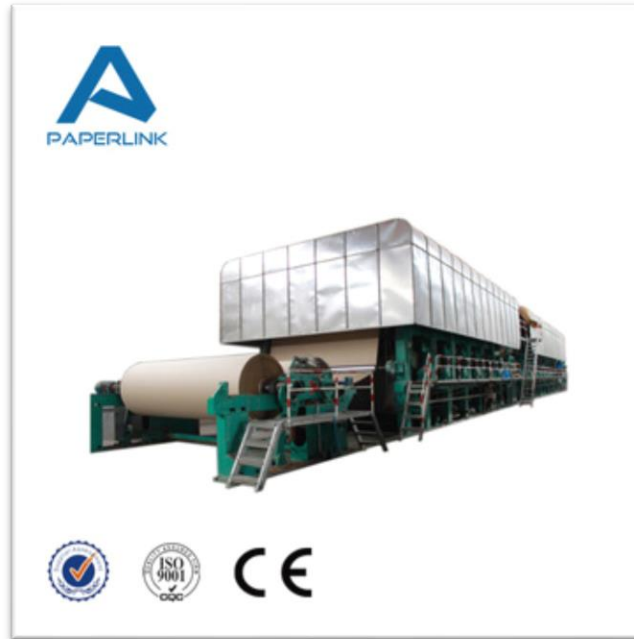




Figura 18. Maquinaria para fabricación de cartón

Fuente: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/recycle-old-carton-to-make-corrugated-carton-cardboard-paper-making-machine-in-hot-selling-62285018457.html?spm=a2700.8699010.normalList.31.509675fcXD7TgW>

4.1.4. El caso del vidrio

Como se comentó, la empresa recicladora de vidrio tampoco requiere realizar inversiones en tecnología, no obstante, como ejemplos, en el **Cuadro 19** se presentan alguna tecnología necesaria para la transformación de vidrio (**Figuras 19 y 20**). Tampoco fue posible encontrar las capacidades de producción, por lo tanto, la estimación de emisiones de GEI evitadas.

Cuadro 19. Resumen de la tecnología requerida para la transformación de vidrio

Tecnología	Inversión (US \$)	Características
 <p data-bbox="423 806 748 835"><i>Figura 19. Trituradora de vidrio</i></p> <p data-bbox="256 835 919 871">Fuente: https://spanish.alibaba.com/product-detail/pp-series-glass-crusher-machine-60135627669.html?spm=a2700.galleryofferlist.0.0.544d6f01HajtKy</p>	50 000 a 900 000.	ND
 <p data-bbox="367 1285 805 1314"><i>Figura 20. Máquina para el lavado de vidrio</i></p> <p data-bbox="269 1314 902 1375">Fuente: https://spanish.alibaba.com/product-detail/recycled-glass-bottle-crushing-washing-machine-with-label-removal-62158860045.html?spm=a2700.galleryofferlist.0.0.79986f01tz6iQk</p>	20 000 a 200 000	ND

4.1.5. El caso de los residuos orgánicos

Solo se obtuvo información de una de las dos empresas que transforman los residuos orgánicos, la tecnología corresponde a la elaboración de lomillos (compostaje en patio), para ello utiliza un tractor para los volteos y aplica microorganismos eficientes. La inversión que realizó la empresa en el 2012 fue de US \$ 40 000 (**Figuras** de la **21** a la **24**).

El empresario considera que una mejora en la tecnología sería la instalación de un sistema de hileras con aire inducido. Para mayores detalles ver el producto 4 de la presente consultoría.

En el producto 4 se realizó una estimación de la inversión requerida para las **tecnologías centralizadas** de tratamiento de los residuos orgánicos. De las cuales solo el compostaje en patio es la utilizada en el país, para este tipo de residuos (**Cuadro 20**).

Cuadro 20. Resumen de la inversión de las tecnologías de tratamiento centralizado de residuos orgánicos (en dólares)

Tecnología	Inversión (infraestructura y equipo) (en US \$)	Características	Emisiones de GEI evitadas (kgCO _{2e} /mes)
 <p><i>Figura 21. Modelo de distribución de un patio de compostaje</i> Fuente: http://www.recytrans.com/blog/reciclaje-de-residuos-organicos/</p>	4 406 611 ^{1/}	Un terreno inicial: 10 000 m ² . Área de construcción: 9 650 m ² . Capacidad de producción: 500 ton/mes.	-103 050
 <p><i>Figura 22. Máquina empaadora de bolsas silo</i> Fuente: www.ideagro.com</p>	2 330 522 ^{1/}	Un terreno inicial: 10 000 m ² . Área de construcción: 9 650 m ² . Capacidad de producción: 500 ton/mes.	-103 050
 <p><i>Figura 23. Sistema de aire inducido en lomillos de compost</i> Fuente: www.sistemas-y-tecnicas-para-el-compostaje, Junta de Andalucía, España.</p>	202 124	Capacidad de producción: 500 ton/mes	-103 050


Tecnología	Inversión (infraestructura y equipo) (en US \$)	Características	Emisiones de GEI evitadas (kgCO _{2e} /mes)
 <p>Proceso de Producción</p> <p>1. Recolección de residuos orgánicos y traslado a planta de biometanización que realiza el tratamiento de residuos.</p> <p>2. Digestión anaeróbica de los residuos orgánicos en presencia de bacterias anaeróbicas que convierten el agua y la materia orgánica en gas metano y residuos de digestión para su uso como fertilizante. Estos residuos pueden ser utilizados como abono para plantas.</p> <p>3. El metano se puede utilizar para generar electricidad en una planta de generación de energía o bien se puede utilizar para generar biogás.</p> <p>Se genera energía eléctrica en forma de pellets que se pueden utilizar en estufas.</p> <p>Se genera energía eléctrica en forma de pellets que se pueden utilizar en estufas.</p> <p>Se genera energía eléctrica en forma de pellets que se pueden utilizar en estufas.</p> <p>ACZIA BioGas</p>	13 897 240	Capacidad de producción: 5 200 ton/mes	-1 071 720

Figura 24. Proceso de producción de una planta de biometanización
Fuente: <http://www.aczia-biogas.es/>

Fuente: Elaboración propia

Además, de las tecnologías centralizadas para la transformación de los residuos orgánicos, se tiene tecnología en sitio, especialmente para viviendas o comercios, como se muestra en el **Cuadro 21**.

Se muestran también las tecnologías disponibles en el país (**Figuras de la 25 a la 32**).

Cuadro 21. Inversión de tecnologías para las viviendas y comercios (en dólares)

Tecnología	Inversión (en US \$)	Características	Emisiones de GEI evitadas (kgCO _{2e} /día)
Con tambor rotatorio de plástico reciclado ^{1/}	142 -230	Requiere la compra de “pellets” de aserrín con un costo aproximado de US \$ 14 y que puede tardar 3 meses. Ideal para uso de 2 a 5 personas, procesa máximo 9 kg por semana	-0,264
Con tambor rotatorio metálico ^{1/}	425- 1 327	Requiere la compra de “pellets” de aserrín con un costo aproximado de US \$ 14 y que puede tardar 3 meses. Ideal para uso de 4 a 6 personas, procesa máximo 12 kg por semana	-0,353
Con tambor rotatorio de plástico reciclado ^{2/}	180	Para familias de 2 a 4 personas, asumiendo que cada persona genera 0,5 kg día. Se tiene una capacidad máxima de 2 kg/día	-0,412
Productos Huerta ^{3/}	319 -372	Van desde 300 litros a 980 litros. La de 300 litros tiene la capacidad de procesar 10 kg de residuos al día (el cálculo se hace para esta)	-2,061
Con tambor rotatorio (Terrakura):			

Tecnología	Inversión (en US \$)	Características	Emisiones de GEI evitadas (kgCO _{2e} /día)
Con capacidad de 8 kg/día ^{4/}	80	Para familias de 2 a 4 personas.	-1,6488
Con capacidad de 16 kg/día ^{4/}	133	Para familias de 2 a 4 personas.	-3,2976
Con capacidad de 20 a 30 kg/día	212 - 310	Para más de 4 personas	-4,122
Con tambor rotatorio construido de forma artesanal ^{5/}	62	Requiere la compra de borucha u el uso de otro material secante, como hojas secas.	-
En cajón de madera construida de forma artesanal ^{5/}	62	La capacidad va a depender de las dimensiones de la caja.	-
Lombricompostaje horizontal	71	Partiendo del supuesto de que diariamente se le depositen un máximo de 1,5 kg de residuos al día.	-0,309
Lombricompostaje vertical	142		
Compostera eléctrica	442	-	-
Caja takakura familiar ^{4/}	74	Requiere el uso de sustrato que tiene un costo de US \$ 5 el kilogramo. Tiene capacidad de procesar 10,5 kg de residuos al día	-2,16405
Caja takakura familiar ^{5/}	80	Tienen capacidad para procesar 1,5 kg de residuos al día. Y requiere el uso de sustrato para iniciar el proceso.	-0,309

^{1/} Información brindada por la empresa 360 soluciones verdes.

^{2/} Información brindada por la empresa Biofutura

^{3/} Información brindada por la empresa Milenio Tres

^{4/} información brindada por la empresa Orgánicos Gaia.

^{5/} Información brindada por la empresa Ecolur.

Fuente: elaboración propia



Figura 25. Tambor rotatorio de la empresa 360 soluciones verdes
 Fuente: www.360solucionesverdes.com



Figura 26. Tambor rotatorio de la empresa Biofutura
 Fuente: www.biofuturacr.com/compostera.html



Figura 27. Composteras huertas de la empresa Milenio Tres
 Fuente: <http://mileniotres.cr/composteras/>

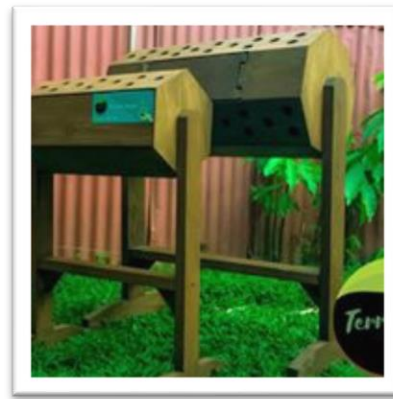


Figura 28. Tambor rotatorio modelo comercial
 Fuente: Terrakura, Miguel Moya Mena



Figura 29. Lombricario
 Fuente: <https://www.lahuertinadetoni.es/guia-completa-de-como-hacer-humus-de-lombriz/>



Figura 30. Compostera en cajón de madera
 Fuente: ACEPESA



Figura 31. Método takakura
Fuente: Orgánicos Gaia, Karina Brenes



Figura 32. Foodcycler. Modelo FC-30
Fuente: Empresa A.B.M. CR, Costa Rica

4.2. El impacto en la adquisición de una peletizadora de plástico: un ejercicio hipotético

A continuación, se realiza un ejercicio hipotético del impacto que puede tener la compra de una peletizadora de plástico, para las municipalidades. El impacto estimado será en el aspecto ambiental (emisiones evitadas) y económico (ahorro en el pago de la disposición final al no enterrar el plástico y en los ingresos adicionales por la venta de un subproducto: plástico peletizado).

Se toma como ejemplo dos municipalidades, los principales supuestos se muestran en el Cuadro 22.

Cuadro 22. Supuestos generales para la elaboración del ejercicio hipotético

Municipalidad	Generación (t/d)	% de cobertura de recolección	Disposición final (t/d)	Plástico recolectado (t/d) ^{1/}	Capacidad de transformación de la peletizadora (t/d) ^{2/}
Municipalidad 1	161	100	161	20	8
Municipalidad 2	77	96	74	9	8

1/ Partiendo de información de la NAMA Residuos (2018) que el porcentaje de plástico se estimó en un 12.3% según los estudios de composición y generación

2/ La capacidad se estima en 1 ton/hora, es decir, 8 ton/día

Fuente: elaboración propia con información del informe 2 de la presente consultoría

Es decir, que la peletizadora en el caso de la Municipalidad 1, necesita dos días para realizar la transformación en pellets y la Municipalidad 1, lo realizaría en un día de trabajo.

Por otra parte, se retoma la información de la peletizadora (Figura 6, Cuadro 17). Esta tecnología, tiene un costo de US \$ 50.000, no incluye otros costos asociados con su importación.

Los supuestos para el cálculo de los ingresos generados con su compra son:

- El costo de disposición final en un relleno sanitario cercano a las municipalidades es US \$ 20 ton.
- El precio de venta del plástico en promedio de un centro de recuperación a una empresa transformadora de plástico es aproximadamente US \$ 180 ton (información de la consultoría sobre el mapeo de actores, en ejecución).
- Se realizan dos escenarios para la comercialización: en el primero se estima un incremento de un 1% en el precio de venta (US \$ 182 ton), y un segundo escenario considerando un incremento del 5% (189 Ton), debido al valor agregado de peletizar el plástico, en ambos casos.

La **municipalidad 1** tiene un ahorro de US \$ 12 000 al mes, solo por no disponer 600 ton de residuos plásticos en un relleno sanitario, además si logra transformar y vender en un mes las 600 ton, entonces sus ingresos en el escenario 1 son de US \$ 109 200 y US \$ 113 400 en el escenario 2.

La **Municipalidad 2** tiene un ahorro de US 5 400 por mes, solo por no disponer 270 ton de residuos plásticos en un relleno sanitario, los ingresos que tendría en el escenario 1 son de US \$ 49 140 en el escenario 1 y US \$ 51 030.

Tomando como base los datos de la empresa 2 (US \$ 36 000 al mes) del Cuadro 4 que transforma plásticos y suponiendo que las municipalidades pueden tener un 25% de los **costos** de las empresas, entonces el monto por mes asciende a US \$ 9 000 (costos de operación y mantenimiento). Por lo tanto, para las dos municipalidades del ejercicio sería muy atractivo, la adquisición de una peletizadora de plástico.

Respecto a las emisiones evitadas al adquirir la peletizadora de plástico, se tiene que para la Municipalidad 1 según el Cuadro 17, se tendría -245 760 ton CO_{2e} evitadas al mes según Turner, et al y según WARM 15 el dato sería -277 920 ton CO_{2e} evitadas al mes.

Es importante, que se debe analizar muy bien los resultados de este ejercicio, ya que existen otros rubros que no se están considerando principalmente:

- El costo de recolección selectiva, ya que actualmente existen pocas municipalidades que realizan esta labor.
- La inversión en la infraestructura para ubicar la peletizadora.
- El personal calificado para la operación de la maquinaria.
- El cambio de hábitos y costumbres en la población para la separación en la fuente.
- La inversión en educación para que se puedan realizar esos cambios.

- La inversión en equipo de transporte para llevar a cabo la recolección selectiva.

Otro elemento que es fundamental considerar es la afectación de podría tener para la industria transformadora de plástico y en los centros de recuperación de residuos valorizables, si se desarrolla un programa de pelletización del plástico en las municipalidades, por lo que se recomienda, más bien que se fortalezcan y se establezcan alianzas, donde no existan.

4.3. Sobre el análisis costo beneficio

El Análisis Costo Beneficio (ACB) consiste en establecer el flujo de costos y beneficios monetarios que un proyecto proporciona durante su vida útil. Se realiza mediante cuatro pasos básicos:

1. Realizar el análisis de cada proceso o tecnología en el tratamiento de los residuos valorizables;
2. Descripción cuantitativa las entradas y las salidas de dicho procesos o tecnología en el tratamiento de los residuos valorizables.
3. Cálculo de los costos y beneficios sociales de estas entradas y salidas.
4. Comparar esos beneficios y costos.

Del primer punto se tienen datos generales de la tecnología utilizada y requerida en los procesos de transformación de los residuos de plástico, metales y materia orgánica.

Para poder completar los pasos del cálculo del ACB de la presente investigación se han presentado limitaciones:

1. Información incompleta: la información relevante como los costos de operación y funcionamiento de todo el proceso de transformación de los residuos valorizaciones. La información sobre los precios de venta de los productos para establecer los ingresos tampoco fue suministrada. Dichos datos de entradas y salidas son fundamentales para el cálculo del ACB.
2. Se percibió desconfianza de parte de las personas entrevistadas para brindar la información sobre todo en las que se realizaron mediante llamadas telefónicas. Aunque algunas personas auto llenaron la encuesta obviaron las preguntas de este tema y a las empresas visitadas (que se esperaba que disminuyera la desconfianza) tampoco fue posible, tanto en las pequeñas como en las grandes empresas. Además, en algunos casos la persona entrevistada del área técnica mencionó que desconocía la información, los datos financieros los lleva otra persona de la empresa.
3. El tiempo limitado de la investigación no permitió volver a visitar a las empresas para contactar a las personas que tenían la información financiera, o para disminuir la desconfianza.

Por lo tanto, para subsanar este vacío se procedió a identificar estudios realizados en otros países, para complementar la información.

4.3.1. El caso del vidrio

En el estudio para el mercado rumano “*Application of Cost-Benefit Analysis for an Eco-Product Manufactured from Production Waste*” (Comăniță. E, et al. 2017), las autoras afirman que el “consumo de cartón aumentó un 250% en los últimos 50 años y, por supuesto, esto ha llevado a la explotación intensiva de los bosques, en muchos países, el fenómeno de la deforestación que aparece en grandes regiones del mundo.” Razón por lo cual, se considera conveniente un eco producto (consiste principalmente en la reutilización de los residuos de producción generados durante la fabricación de placas de cartón y cajas de cartón corrugado para embalaje).

Para el análisis se incluyeron los siguientes costos: **costos directos** (costo del proyecto, costo del terreno, costo de construcción, costo de tecnología, costos de operación, entre otros.) y **costos indirectos**, para externalidades.

Los beneficios que identificaron fueron:

- **“Económicos:** 5% de los costos totales.
- **Sociales:** Creación de empleos y otros beneficios materiales; incremento en el valor de la propiedad y en la salud humana.
- **Ambientales:** reducción en el volumen de residuos y emisiones; conservación de la energía y reducción del consumo de recursos no renovables”.

El resultado obtenido es que el proyecto genera beneficios significativos como: reducción del consumo de energía, requiere un bajo consumo de materias primas, productos químicos, gas natural, reducir el volumen de residuos y emisiones liberados al ambiente. El **beneficio neto** se estima en un 2,7% de la producción anual total del fabricante. Para el 2025, habrá una reducción significativa en el costo de fabricación de Eco-Producto. Por lo tanto, la industria de fabricación de cartón aporta una contribución positiva a la economía al implementar el nuevo producto.

Otros beneficios mencionados en el estudio son:

- Reducción de costos al reemplazar las materias primas por los residuos de la producción y energía.
- Ahorro de espacio en los vertederos,
- Reducción del consumo de recursos no renovables,
- Mejora de la imagen de la empresa
- Reducción de varios problemas ambientales.

4.3.2. El caso del cartón

Por otra parte, el reporte *“Paper and cardboard — recovery or disposal? Review of life cycle assessment and cost-benefit analysis on the recovery and disposal of paper and cardboard”*, de la Agencia Europea del Ambiente elaborado en el 2006, recopila la información de nueve estudios y 41 escenarios ambientales y económicos con alternativas de recuperación de residuos de papel y cartón o eliminación según el análisis ciclo de vida y análisis costo beneficio. Sobre el ACB a continuación se presentan los principales resultados:

- Se tienen más conclusiones que estudios, debido a que algunos estudios analizan varias fracciones de papel usado, fuentes de recopilación, o aplican más métodos de valoración para la estimación del costo externo.
- Algunos estudios prefieren el reciclaje a cualquier otra alternativa (incineración y el relleno sanitario).
- Los parámetros esenciales identificados son: costo de tiempo; precio del papel usado, delimitación del sistema y los costos externos totales.

En el **costo del tiempo**, se incluyó el tiempo que en los hogares dedican a la clasificación y transporte de residuos a centros de reciclaje, si se elimina esta variable, los resultados pueden variar, por lo que se considera que el tiempo tiene una gran influencia en el costo (variando entre US \$ 137 a US \$ 846 por tonelada), es decir, que, si se excluye el tiempo, entonces es mejor el reciclaje ante cualquier otra alternativa.

El **precio del papel usado**, depende de cuatro variables: el precio, la inversión, costo externo y el precio del carbón. Un estudio concluye que, si el papel usado el precio cae un 34%, el reciclaje no sería la mejor alternativa.

Sobre la delimitación del sistema, pocos estudios han incluido los criterios considerados clave en los ACB, aunque en función de la fuente de energía marginal seleccionado, puede ser un criterio clave para las conclusiones.

Los **costos externos totales** tienen una gran influencia en las conclusiones en algunos de los estudios debido a su orden de magnitud en comparación con otros costos. No obstante, consideran los autores que la evaluación ambiental está mal descrita en la mayoría de los estudios.

El reporte concluye que los enfoques utilizados en los estudios de CBA son a menudo políticos, y que los métodos de investigación generalmente no son claros o fidedignos, por lo que existe una falta en la delimitación consistente del sistema, falta de transparencia y falta de coherencia en las metodologías utilizadas para derivar precios.

4.3.3. El caso del plástico

Se revisó otro documento de la Comisión Europea del 2003: *Evaluation of costs and benefits for the achievement of reuse and recycling targets for the different packaging materials in the frame of the packaging and packaging waste directive 94/62/EC*.

En el caso del análisis se prestó especial atención a los impactos ambientales se tradujeron en valores monetarios, especialmente los relacionados con la recolección, la clasificación, el transporte, el relleno sanitario y la incineración (con una tasa promedio de recuperación de energía) y el reciclaje. De esta forma se pueden comparar con los costos internos (financieros) y externos (ambientales y sociales) de las diversas opciones consideradas.

No obstante, se aclara que traducir los impactos a valores monetarios según diversas técnicas de valoración, se presenta incertidumbre, principalmente porque algunas veces es difícil establecer valores exactos para los diferentes impactos y aunque los valores monetarios atribuidos a los impactos ambientales seguirán siendo inciertos, brindan la mejor información disponible a los tomadores de decisión.

En el caso del reciclaje de botellas de PET en áreas de alta densidad población, presentó los costos totales más bajos, por lo tanto, se recomienda el reciclaje a otras alternativas (incineración y relleno sanitaria), aún y considerando que nunca se tendrá una participación del 100% de la población.

4.3.4. El caso de Nueva Zelanda

En 2007 la empresa Covec realizó para el Ministerio de Ambiente de Nueva Zelanda el documento "*Recycling: Cost Benefit Analysis*", en donde se analizó el papel, el plástico, el vidrio, los residuos orgánicos, los residuos de construcción y demolición, las llantas y el aceite usado. Los beneficios del reciclaje se estimaron a partir del:

- Ahorro en los costos de los vertederos (costos y las externalidades -costos ambientales).
- Los costes de recolección ahorrados en la eliminación.
- Otros beneficios, incluidos los "beneficios directos para el consumidor", los cuales se expresan como la diferencia entre la disposición de las personas a pagar para reciclar y el costo real.

Los costos de reciclaje se estiman a partir de los costos de recolección y de clasificación, menos el valor del material en los mercados.

Además, se menciona que las limitaciones que se presentaron, fue la disposición de datos, el tiempo no permitió la recopilación de muchos datos primarios, por lo que se tuvo que recurrir a informes publicados, se aplicó una encuesta sobre la disposición a pagar del consumidor para identificar los beneficios directos para reciclar y se obtuvo información

adicional sobre los costos e ingresos de los materiales recolectados en reuniones y entrevistas telefónicas a industrias clave.

Se estimó con base en datos del 2003 que la disposición final de residuos sólidos en rellenos sanitarios para el 2006 fue de 3 246 831 toneladas, dato que no se aproxima a los datos de Costa Rica, tampoco la composición de dichos residuos: papel (14.9%), plásticos (9.1%), orgánicos (23.3%), metales ferrosos (5.1%) y vidrio (0.9%), solo para mencionar algunos.

La cantidad de residuos reciclados provienen tanto de los hogares como de los comercios y se considera que el 60% corresponde a papel, el 9% a plástico, el 3.7% a metales ferrosos, el 1% a metales no ferrosos y el 26.2% a vidrio.

El precio promedio de los materiales para el 2007 fueron: plástico US \$ 300 a US \$ 700 ton, papel US \$ 90 ton, vidrio US \$ 75 ton, aluminio US \$ 1 700 ton y acero US \$ 120 ton (estos últimos según información de London Metal Exchange).

Sobre los costos de recolección (camiones, recipientes y bolsas, salarios y gasolina) se estimaron en US \$ 125 tonelada. El costo de clasificación se estimó en: US \$ 400 Ton para el plástico, US \$ 12.5 Ton para el vidrio, US \$ 80 Ton para el papel, US \$ 20 Ton para el acero y US \$ 25 Ton para el aluminio.

En el caso de los residuos orgánicos, para la recolección los costos se ubicaron entre los US \$ 80 y US 120 Ton. La inversión para tratar 50 000 Ton, es de aproximadamente entre US \$ 15 000 000 y US \$ 20 000 000, con una vida útil de 20 años.

El costo de operación en promedio se estimó en US \$ 120 Ton. Siendo el costo del transporte entre US \$ 10 y US \$ 15 Ton. La distancia para la comercialización de la planta de compostaje al usuario final debe estar entre 100 y 150 km. El detalle de los costos totales se muestra en el **Cuadro 23**.

Cuadro 23. Costos totales de transformación de los residuos orgánicos (en dólares)

Detalle	US\$/ton
Recipiente	19-23
Recolección	80-120
Procesamiento	120
Transporte	10-15
Total	229-278

Fuente: adaptado de Ministerio de Ambiente Nueva Zelanda. (2007). *Recycling: Cost Benefit Analysis*

En resumen, se presentan beneficios netos positivos, si se cumple lo siguiente:

- Si se procesa 225 000 Ton al año de papel.
- Todas las cantidades de plástico PET y HDPE, únicamente.
- Si se procesan 70 000 Ton al año de vidrio (esto en función de la capacidad de la única empresa recicladora de vidrio del país).
- Si se procesan más de 6 000 Ton al año de metales.
- Si se procesan 200 000 Ton al año de residuos orgánicos.

5. Consideraciones técnicas

5.1. Sobre la información general de las empresas

Se logró ubicar geográficamente a las empresas transformadoras, las cuales se ubican principalmente en las provincias de San José, Heredia, Alajuela y Cartago, esta concentración limita la recuperación de los materiales reciclables en otros cantones del país, debido a que el transporte encarece los costos.

Por otra parte, las empresas transformadoras en su mayoría trabajan con plástico, seguido de metales, cartón y papel y material orgánica y solo una trata el vidrio.

Sobre los años de experiencia existe diferentes ámbitos de edad, se detectó 3 empresas con más de 30 años de antigüedad: una que procesa cartón, otra vidrio y una plástico, el 29% tiene entre 1 y 10 años, en este aspecto también llama la atención que 5 empresas no brindaron la información. Sin embargo, no se insistió en averiguar las razones. Algunas empresas mencionaron que tenían pocos años de estar operando formalmente, pero se consideraron todos los años de operación.

De los residuos de plástico se detectó que con mayor frecuencia su transformación se da para la producción de bolsas, madera plástica, materia prima, combustibles alternos, resinas, bobinas y teja plástica. Los residuos de **metales** se transforman en piezas para la construcción y barras de bronce. Se produce con el **cartón y papel**, cajas de cartón y esquineros para productos agrícolas. En el caso del **vidrio** se utiliza para producir envases plásticos y finalmente con la **materia orgánica** un mejorador de suelo (abono orgánico).

Se determinó que 6 de las empresas comercializan los productos en el mercado nacional, en 6 la producción se queda en el mercado nacional, pero también se exporta, 3 empresas solo venden sus productos en el mercado internacional y en 6 de los casos no se brindó información, porque la persona entrevistada consideró que eran datos sensibles.

Estos datos reflejan que el mercado nacional ya sea el sector privado o el público son consumidores de los productos elaborados por dichas empresas, lo cual es muy positivo, porque estimula a la producción nacional mediante los encadenamientos productivos que se estimulan o promueven.

Se pudo obtener información sobre la cantidad de empleo que están generando las 21 empresas transformadoras. Sobre el potencial de generación de empleo con la adquisición de nueva tecnología, no es posible concluir sobre el tema, debido a la falta de información.

Se obtuvo información sobre el encadenamiento entre dos empresas, sin embargo, no fue posible determinar otros tipos de encadenamiento como clúster o redes productivas.

Aunque se destaca que en la cadena de producción los centros de recuperación de materiales reciclables tanto privados como municipales son proveedores fundamentales para las empresas transformadoras. No obstante, no se tiene información sobre sus relaciones.

Tampoco fue posible identificar las empresas que compran los productos transformados, aunque se tiene información general que la producción de las empresas transformadoras es nacional e internacional, como se mencionó anteriormente.

5.2. Sobre las emisiones de gases de efecto invernadero

Respecto a la consideración de los factores de emisión utilizados se debe tomar en cuenta que para cada caso, Reino Unido y Estados Unidos, los valores dependen de los datos asumidos por cada uno de los autores, las variaciones de la tecnología y los sistemas de cada región, por lo tanto solo representan una aproximación de las posibles emisiones que se podrían evitar al darse el reciclaje de estos materiales en Costa Rica, sin embargo, es necesario contar con factores de emisión propios y que reflejen la realidad del país.

En el proceso de cálculo efectuado por Turner et al. (2015) fueron excluidas las exportaciones de materiales reciclables, tomando en cuenta que todos los procesos se desarrollaron en el Reino Unido, sin embargo, como enfatizan los autores, esta valoración afecta los resultados obtenidos debido a las grandes variaciones que se pueden presentar en los procesos de reciclaje en otros países y como uno de los factores que aporta mayor porcentaje de emisiones de GEI, el empleo de electricidad en los procesos que varía de acuerdo con la matriz energética de cada país o región.

Valorando la variedad de alternativas de transformación de residuos que se identificaron en este informe, se debe considerar que los factores de emisión de la literatura no son los más apropiados para establecer las emisiones de GEI o las emisiones evitadas al integrar los materiales en los procesos de reciclaje en el país, ya que debido a la complejidad del análisis del ciclo de vida de cada material los autores asumen que los procesos se dan en “ciclos cerrados”, donde los materiales vuelven a ser utilizados como materia prima para la creación del mismo producto, como por ejemplo una lata de aluminio que después de ser utilizada es reciclada y entra a la producción de más latas de aluminio.

Sin embargo, como lo deja claro la información revisada de las fuentes citadas en este informe, los autores concuerdan en que la realidad no es así y que se dan muchos “ciclos abiertos” en el reciclaje de los residuos, donde el material no es reciclado para producir el mismo producto, como es el caso de muchos de los transformadores identificados en Costa Rica, que por ejemplo emplean botellas plásticas para producir otro tipo de productos.

5.3. Sobre la tecnología

Para la realización de este apartado se utilizó como base la información brindada por las empresas y se recurrió a búsqueda por internet de los precios, sus características y se procedió a realizar el cálculo de las emisiones de GEI evitadas por las tecnologías.

Se obtuvo información general sobre la tecnología y la maquinaria utilizada en la mayoría de las empresas entrevistadas. Se tuvo menos respuestas sobre la tecnología necesaria, en parte porque algunas empresas dicen tener lo necesario, podría ser que algunas no conozcan la posibilidad disponible en el mercado. Si se pudo recopilar una lista de las tecnologías necesarias para mejorar los procesos de transformación.

5.4. Sobre el ACB

Dada la carencia general de información para la realización del ACB se revisaron estudios realizados en otros países. Se recomienda ejecutar un estudio en donde se pueda profundizar la recopilación de información, incluso mediante la selección de aquellas empresas que estuvieron más anuentes a brindar datos.

6. Fuentes bibliográficas

Acevedo Camacho, M. L., & Buitrago Rodríguez, M. V. (2009). *Asociatividad empresarial, crecimiento productivo e innovación. El caso de las pymes del sector textiles y confecciones de Bogotá*. Recuperado de <https://ciencia.lasalle.edu.co/economia/145>

Comăniță, E. (2017). *Application of Cost-Benefit Analysis for an Eco-Product Manufactured from Production Waste*. International Proceedings of Chemical, Biological and Environmental Engineering, Vol. 101 (2017) DOI: 10.7763/IPCBE. 2017. V101. 13

Covec / Ministerio de Ambiente de Nueva Zelanda. (2007). *Recycling: Cost Benefit Analysis*. Reporte Final.

European Commission. (12 de Setiembre de 2019). *The European Commission's science and knowledge service*. Recuperado el 16 de Diciembre de 2019, de <https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/eur-scientific-and-technical-research-reports/international-reference-life-cycle-data-system-ilcd-handbook-general-guide-life-cycle>

European Commission . (2003). *Evaluation of costs and benefits for the achievement of reuse and recycling targets for the different packaging materials in the frame of the packaging and packaging waste*. Directive 94/62/EC

European Environment Agency. (2006). *Paper and cardboard — recovery or disposal? Review of life cycle assessment and cost-benefit analysis on the recovery and disposal of paper and cardboard*. Recuperado de https://www.eea.europa.eu/publications/technical_report_2006_5

Harnisch, J., & Kojo Agyeman-Bonsu, W. (2006). *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, Capítulo 1. Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC)*. Recuperado el 17 de Diciembre de 2019, de https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/3_Volume3/V3_1_Ch1_Introduction.pdf

Instituto Meteorológico Nacional (IMN). (2019). *Factores de Emisión de Gases de Efecto Invernadero - Novena Edición*. Instituto Meteorológico Nacional (IMN), San José. Recuperado el 16 de Diciembre de 2019, de

- <http://cglobal.imn.ac.cr/index.php/publications/factores-de-emision-gei-noveno-edicion-2019/>
- Industrial Emissions Directive 2010/75/EU. (2015). *Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Production of Pulp, Paper and Board*. (2015).
- ISO. (s.f.). *Online Browsing Platform (OBP)*. Recuperado el 16 de Diciembre de 2019, de <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14040:ed-2:v1:es>
- Newlove. T (2017). *Keeping Glass Recycling Financially Sustainable: A Cost - Benefit Analysis*. Honors Projects. 392. Recuperado de <https://scholarworks.bgsu.edu/honorsprojects/392>
- Ministerio de Salud. (1998). *Reglamento sobre Rellenos Sanitarios No 27378-S*. San José, Costa Rica. Recuperado de: http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=52780&nValor3=84935&strTipM=TC
- Programa CYMA, ACEPESA. (2008). *Manual para la Elaboración de Planes Municipales de Gestión Integral de Residuos*. (PMGIRS) 1 ed. --San José, Costa Rica.
- Programa CYMA, ACEPESA. (2011). *Manual para la definición de un modelo tarifario para la gestión municipal de residuos sólidos*. —San José, Costa Rica.
- Programa CYMA, AMBERO-IP-CEGESTI. (2012). *Guía de interpretación de la metodología para la realización de estudios de generación y composición de residuos ordinarios*. San José, Costa Rica.
- Programa CYMA, Rolando Castro Córdoba (2012). *Ley para la Gestión Integral de Residuos No. 8839 del 13 de julio de 2010* (Anotada, concordada y comentada). San José, Costa Rica.
- Programa País Carbono Neutralidad 2.0 Oficial del Gobierno de Costa Rica. (2017). *Guía de implementación del PPCN 2.0 categoría cantonal* San José, Costa Rica.
- Proyecto ACCIÓN Clima II /GFA Consulting Group. (2018). *Elaboración de la propuesta de proyecto a financiar para una NAMA de residuos sólidos en Costa Rica*. Primer informe Situación de la Gestión de los Residuos Sólidos para la determinación de la NAMA residuos Costa Rica, San José, Costa Rica.
- Turner, D. A., Williams, I. D., & Kemp, S. (Diciembre de 2015). *Greenhouse gas emission factors for recycling of source-segregated waste materials*. *Resources, Conservation*

and Recycling, 105, Parte A, 186-197.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.10.026>

U.S. Environmental Protection Agency (EPA). (Octubre de 2019). *Documentation for Greenhouse Gas Emission and Energy Factors Used in the Waste Reduction Model (WARM)*. *Documentation for Greenhouse Gas Emission and Energy Factors Used in the Waste Reduction Model (WARM)*, U.S. Environmental Protection Agency (EPA), Office of Resource Conservation and Recovery. Recuperado el 13 de Octubre de 2019, de https://www.epa.gov/sites/production/files/2019-10/documents/warm_v15_management_practices_updated_10-08-2019.pdf

U.S. Environmental Protection Agency (EPA). (2019). *Documentation for Greenhouse Gas Emission and Energy Factors Used in the Waste Reduction Model (WARM)*. *Documentation for Greenhouse Gas Emission and Energy Factors Used in the Waste Reduction Model (WARM)*, U.S. Environmental Protection Agency (EPA), Office of Resource Conservation and Recovery. Recuperado el 13 de Diciembre de 2019, de https://www.epa.gov/sites/production/files/2019-06/documents/warm_v15_background.pdf

U.S. Environmental Protection Agency (EPA). (2019). *Waste Reduction Model (WARM) Tool*. *Waste Reduction Model (WARM) Tool*. Recuperado el 13 de Diciembre de 2019, de https://www.epa.gov/sites/production/files/2019-06/documents/warm-users-guide_v15_may2019.pdf

Otras fuentes

Diccionario. <https://www.wordreference.com/definicion/HIDROCARBURO>

<https://conceptodefinicion.de/protocolo-de-kioto/>

7. Anexos

Anexo 1. Estado de ejecución del plan de trabajo

Cuadro 24. Estado de ejecución del plan de trabajo

Actividad	Estatus	Actores involucrados	Acuerdo alcanzado	Descripción de acciones realizadas	Buenas prácticas identificadas	Barreras o dificultades	Observaciones	Medio de verificación (Informes, minutas, estudios u otros)
Reducción de GEI	Finalizado	Personas entrevistadas	NA	Con base en los datos recopilados se aplicaron dos calculadoras y se detalló las limitaciones. Se realizaron las estimaciones	NA	Se recomienda elaborar una metodología para la realidad costarricense, incluyendo los factores de emisión. Faltó información de algunas empresas sobre la cantidad de materiales transformados Faltó información sobre más empresas transformadoras que al momento no se ha podido localizar ni han respondido el instrumento enviado por correo electrónico	NA	Presente informe Base de datos
Creación de empleos	Finalizado	Personas entrevistadas	NA	Se analizó la información recopilada	NA	Faltó información de algunas empresas sobre la cantidad de empleos que generaría la adquisición de tecnología o maquinaria	NA	Presente informe Base de datos

Actividad	Estatus	Actores involucrados	Acuerdo alcanzado	Descripción de acciones realizadas	Buenas prácticas identificadas	Barreras o dificultades	Observaciones	Medio de verificación (Informes, minutas, estudios u otros)
						Faltó información sobre más empresas transformadoras que al momento no se ha podido localizar ni han respondido el instrumento enviado por correo electrónico		
Generación de ingresos	No se pudo realizar	Personas entrevistadas	NA	No se pudo realizar el análisis	NA	Ninguna de las empresas brindó información sobre este aspecto, por considerarlo un tema sensible.	NA	Presente informe
Posibilidades de encadenamientos económicos o productivos	Finalizado	Personas entrevistadas	NA	Se analizó la información recopilada	NA	Hubo muy poca información sobre este aspecto, fue considerado como sensible por las personas entrevistadas	NA	Presente informe Base de datos
Análisis de costo-beneficio por cada por proceso o tecnología en el tratamiento de los residuos valorizables	Finalizado	Personas entrevistadas	NA	Se analizó la información recopilada	NA	Hubo muy poca información sobre este aspecto, fue considerado como sensible por las personas entrevistadas. Se obtuvo información parcial sobre las tecnologías necesarias para mejorar los procesos productivos.	NA	Presente informe Base de datos
Elaboración y presentación del entregable 2	Finalizado	Personas entrevistadas	NA	Elaboración del informe	NA	Las mencionadas anteriormente	NA	Presente informe Base de datos

Anexo 2. Justificación teórica del uso de los modelos para la estimación del cálculo de las emisiones evitadas

Para realizar el cálculo de las emisiones GEI evitadas por la valorización de los residuos sólidos ordinarios se emplean los factores de emisión (FE) de GEI generados en el estudio “*Greenhouse gas emission factors for recycling of source-segregated waste materials*” (Turner, Williams, & Kemp, 2015) y los disponibles en la herramienta “Waste Reduction Model (WARM)” (U.S. Environmental Protection Agency (EPA), 2019; U.S. Environmental Protection Agency (EPA), 2019).

Además, los datos empleados para elaborar los cálculos son del 2017 y fueron presentados en el primer informe de avance de la presente consultoría. A continuación, se amplía cada una de las referencias empleadas.

a. “*Greenhouse gas emission factors for recycling of source-segregated waste materials*”

De acuerdo con el estudio realizado por Turner et al. (2015) en Europa, los factores de emisión calculados fueron elaborados por medio de un proceso exhaustivo, científicamente robusto, transparente y con documentación clara para una amplia cantidad de residuos sólidos valorizables **separados desde la fuente** y además, mejora otros estudios previos que tienen deficiencias en la transparencia o exhaustividad de los materiales que son considerados.

El estudio tuvo como propósito el desarrollo de factores de emisión de GEI para asistir en la toma de decisiones que permitan medir el desempeño ambiental e identificar la óptima solución en la gestión de residuos sólidos que contemple las emisiones de GEI, para Reino Unido y a nivel internacional, tanto para los gobiernos nacionales y regionales como para organizaciones y emprendedores.

Los factores de emisión generados a partir del estudio toman en cuenta evaluaciones parciales del ciclo de vida de acuerdo con los estándares de la norma ISO 14040¹⁰ y siguen la guía técnica de “*The International Reference Life Cycle Data System*”¹¹ (ILCD - El Sistema Internacional de Referencia de Datos del Ciclo de Vida, por sus siglas en inglés).

El enfoque del estudio incorpora los impactos ambientales del proceso de gestión de los residuos y los impactos evitados indirectos, asociados a la utilización de productos secundarios que sustituyen a los materiales vírgenes en los procesos productivos.

Algunas consideraciones importantes de este estudio son:

¹⁰ Esta Norma Internacional, ISO 14040:2006(es) Gestión ambiental — Análisis del ciclo de vida — Principios y marco de referencia, describe los principios y el marco de referencia para el análisis del ciclo de vida (ACV) (ISO, s.f.).

¹¹ El ILCD proporciona una base común para datos y estudios de ciclo de vida consistentes, robustos y de calidad garantizada (European Commission, 2019).

- Se consideran los materiales valorizables recolectados que son separados en la fuente.
- La unidad funcional de medida empleada es una tonelada de material reciclable en peso húmedo de material separado en la fuente.
- Los factores de emisión de GEI disponibles en este estudio están expresados en unidades de kgCO_{2e}/ Ton residuos separados en la fuente.
- Se asume que los productos secundarios producidos a partir de los materiales reciclables sustituyen la producción de productos primarios, como por ejemplo de fuentes vírgenes.
- Se calcula un porcentaje de sustitución de productos primarios o materiales vírgenes con base en diferentes factores.
- Los límites del estudio incluyen: la clasificación, desmontaje/desmantelamiento, tratamiento y reprocesamiento de los materiales reciclables y la disposición final de los residuos.
- Son consideradas las emisiones de Dióxido de carbono (CO₂), CO₂ biogénico, Metano (CH₄) y Óxido Nitroso (N₂O).
- El estudio incluye el transporte de los materiales desde la instalación de reciclaje primaria a la instalación de reciclaje secundaria, asumiendo distancias de 250 km entre las instalaciones de reciclaje y 25 km para la disposición final de los residuos, para un camión de carga con capacidad de 17,6 ton y consumo de diésel de 0,21 kg/km. Además, no considera el consumo de combustible para los viajes de regreso del camión.
- Fue considerado que los residuos rechazados que no llegan a ser aprovechados en las instalaciones de reciclaje son dispuestos en rellenos sanitarios convencionales donde se aprovecha el gas para ser incorporado en la red eléctrica.
- En el estudio se evalúan 52 materiales diferentes.
- Los autores consideran como parte de las limitaciones del estudio la necesidad de realizar decisiones de modelado subjetivas y supuestos metodológicos debido a las limitaciones de datos disponibles.
- Fue asumido que todos los procesos de reciclaje se dieron en el Reino Unido debido a la complejidad del mercado global de materiales para reciclaje.

Para el caso de estos factores de emisión el cálculo realizado consiste en multiplicar las toneladas de cada material por el factor de emisión correspondiente. Se presenta la siguiente muestra de cálculo para los residuos de papel depositados en el relleno sanitario en la provincia de San José.

$$\frac{154,8 \text{ Ton residuos}}{\text{día}} \times \frac{365 \text{ días}}{1 \text{ año}} \times \frac{-120 \text{ kg CO}_{2e}}{\text{Ton residuo}} = -6 \text{ 783 744 kg CO}_{2e}$$

Esta metodología fue la utilizada en la propuesta de proyecto a financiar para una NAMA (Acciones de Mitigación Nacionalmente Apropriadas, por sus siglas en inglés) de residuos sólidos en Costa Rica, en el primer informe de Situación de la Gestión de los Residuos Sólidos para la determinación de la NAMA residuos Costa Rica ejecutado en el marco del Proyecto ACCIÓN Clima II /GFA Consulting Group del 2018.

b. Waste Reduction Model (WARM)

El “Modelo de Reducción de Residuos” o WARM fue elaborado por la EPA (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos) como una herramienta que permite a las organizaciones y los gestores de residuos sólidos estimar las reducciones de GEI, así como los impactos económicos de diferentes prácticas en el manejo de los residuos.

Esta herramienta no solo calcula las emisiones de GEI reducidas, sino que también, la energía e impactos económicos para una línea base y prácticas alternativas en la gestión de los residuos sólidos, entre las que se incluyen la disminución de residuos desde la fuente, el reciclaje, la combustión, el compostaje y el manejo en rellenos sanitarios.

Los factores de emisión de GEI utilizados por esta herramienta están basados en la perspectiva de ciclo de vida y el modelo fue implementado en el software gratuito y de código abierto “openLCA” que permite la evaluación del ciclo de vida (EPA, 2019).

La última versión de esta herramienta es la WARM 15 que fue actualizada en mayo de 2019 y que permite el uso por medio de un software o de una hoja de cálculo. De acuerdo con la documentación del WARM 15 el proceso de reciclaje produce beneficios en la reducción de emisiones de GEI por medio de dos alternativas que dependen del material reciclado, ya sea por la sustitución de material virgen o bien por el mantenimiento de carbono retenido en los bosques cuando se evita la extracción de madera (EPA, 2019).

Algunos factores a tomar en cuenta con respecto a esta herramienta son:

- Se asume que los materiales reciclados no afectan la cantidad de material que será manufacturado.
- La mayoría de los materiales en el WARM son modelados con un sistema de reciclaje de “ciclo cerrado”, donde los materiales son reciclados para producir el mismo producto.
- Fue estimado un porcentaje de material perdido ya que no todo el material cumple con las características para ingresar al proceso de reciclaje.
- Las emisiones de GEI son consideradas en el proceso desde la generación hasta donde el material reciclado o producto es manufacturado en un producto nuevo, lo cual incluye las emisiones asociadas con la recolección, el transporte, procesamiento y reciclaje o manufactura del material en un producto nuevo.
- Las emisiones de GEI asociadas con la manufactura de material virgen son apreciadas como evitadas, al considerarse que no se dan las emisiones de producir la misma cantidad de material que entra como reciclado en lugar del material virgen.
- Los factores de emisión de GEI disponibles en esta herramienta están expresados en unidades de $MTCO_{2e}$ /Short Ton material recuperado, lo cual corresponde a Tonelada métrica de CO_{2e} / Tonelada corta de material recuperado (residuos que no han sido procesados o reciclados).
- Aunque el modelo asume que la mayoría de los residuos son reciclados para crear el mismo producto (“ciclo cerrado”), la realidad es que los residuos son manufacturados en gran variedad de productos y no únicamente el material original (“ciclo abierto”).

- En los cálculos de los factores de emisión son considerados los potenciales de calentamiento global del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) de 2007.
- El WARM 15 incluye 60 materiales, productos o categorías mixtas diferentes.

En el caso de estos factores de emisión y por las unidades que se utilizan lo primero que se hace es convertir las unidades de los factores de tonelada corta a tonelada métrica. De igual manera, se presenta la siguiente muestra de cálculo para los residuos de papel depositados en el relleno sanitario en la provincia de San José.

Factor de emisión:

$$\frac{-3,55 \text{ MTCO}_{2e}}{\text{Ton Corta de residuo}} \times \frac{1 \text{ Ton corta residuo}}{0,097 \text{ Ton residuo}} \times \frac{1000 \text{ kg CO}_{2e}}{1 \text{ MTCO}_{2e}} = \frac{-3 \text{ 914 kg CO}_{2e}}{\text{Ton residuo}}$$

Cálculo de emisión:

$$\frac{154,8 \text{ Ton residuos}}{\text{día}} \times \frac{365 \text{ días}}{1 \text{ año}} \times \frac{-3 \text{ 914 kg CO}_{2e}}{\text{Ton residuo}} = -221 \text{ 263 241 kg CO}_{2e}$$

De acuerdo con el IPCC, dentro de los procesos industriales las principales fuentes de emisión son las descargas provenientes de los procesos que transforman materias por medios químicos o físicos, como por ejemplo cuando se utilizan hornos en fundición de metales y químicos como amoníaco, entre otros.

Durante estos procesos puede producirse una gran variedad de GEI, incluidos el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄), el óxido nitroso (N₂O), los hidrofluorocarbonos (HFC) y los perfluorocarbonos (PFC) (Harnisch & Kojo Agyeman-Bonsu, 2006).

Dentro del capítulo de procesos industriales del IPCC se pueden calcular las emisiones por la industria de los minerales como la producción de cemento, cal y vidrio; industria química como producción de amoníaco, ácido nítrico, ácido adípico, entre otros; industria de los metales como hierro, acero, ferroaleaciones, entre otros. Sin embargo, es para procesos estandarizados y con materia prima virgen por lo tanto no aplica para los procesos de transformación que se dan en el país.

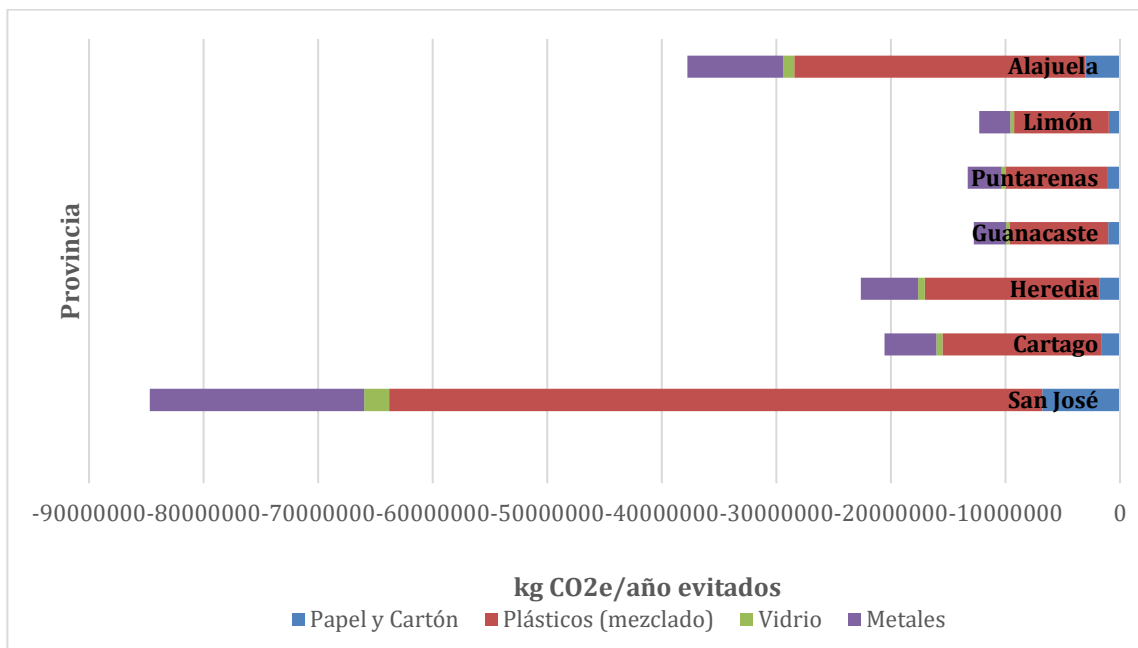
Dada esta situación, se van a realizar cálculos de cuáles serían las emisiones evitadas por los residuos sólidos transformados en el país que no llegan al relleno sanitario, para lograr una visión general.

Con respecto a las empresas que fueron identificadas como gestoras de residuos sólidos orgánicos y que se encargan de su tratamiento para convertirlo en compost se emplearon los factores de emisión de GEI del Instituto Meteorológico Nacional (IMN) (2019) para comparar las emisiones generadas por la disposición en relleno sanitario y compostaje.

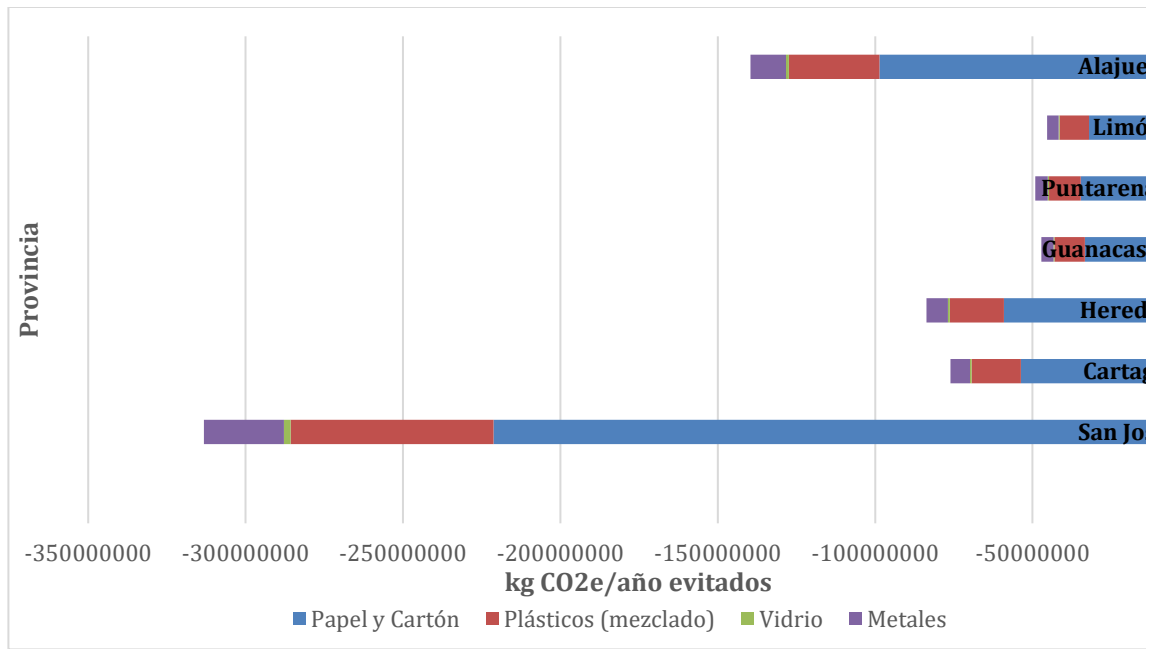
En este caso se considera únicamente las emisiones producidas al gestionar el residuo y no de todo el proceso requerido como la recolección, transporte, entre otros., debido a que no se tiene los datos necesarios para efectuar más cálculos.

Se determinaron las emisiones de GEI evitadas para dos escenarios que suceden en el país, con datos segregados por provincia y por tipo de material. En el primero se consideran los residuos valorizables que llegan al relleno sanitario y son enterrados. En el segundo escenario la cantidad de residuos que no son recolectados y no se sabe con certeza cuál es su destino final.

Para el primer escenario, se estiman las emisiones evitadas a partir de los residuos valorizables que se están enterrando, como se muestra en la **Figura 3** y en el **Cuadro 19**. Las emisiones evitadas a partir de los cálculos con los factores de emisión del WARM 15 son mayores, estas diferencias radican en las realidades para las que fueron construidos los factores de emisión y los aspectos considerados en cada estudio. Las provincias que evitarán más emisiones (actualmente las que envían más residuos al relleno sanitario) son San José y Alajuela.



a) Factores de emisión Turner et al. (2015)



b) Factores de emisión WARM 15

Figura 33. Emisiones de GEI evitadas por residuos sólidos que terminan en un relleno sanitario por provincia y por tipo de material a partir de dos factores de emisión diferentes a) Turner et al. (2015) y b) WARM 15.

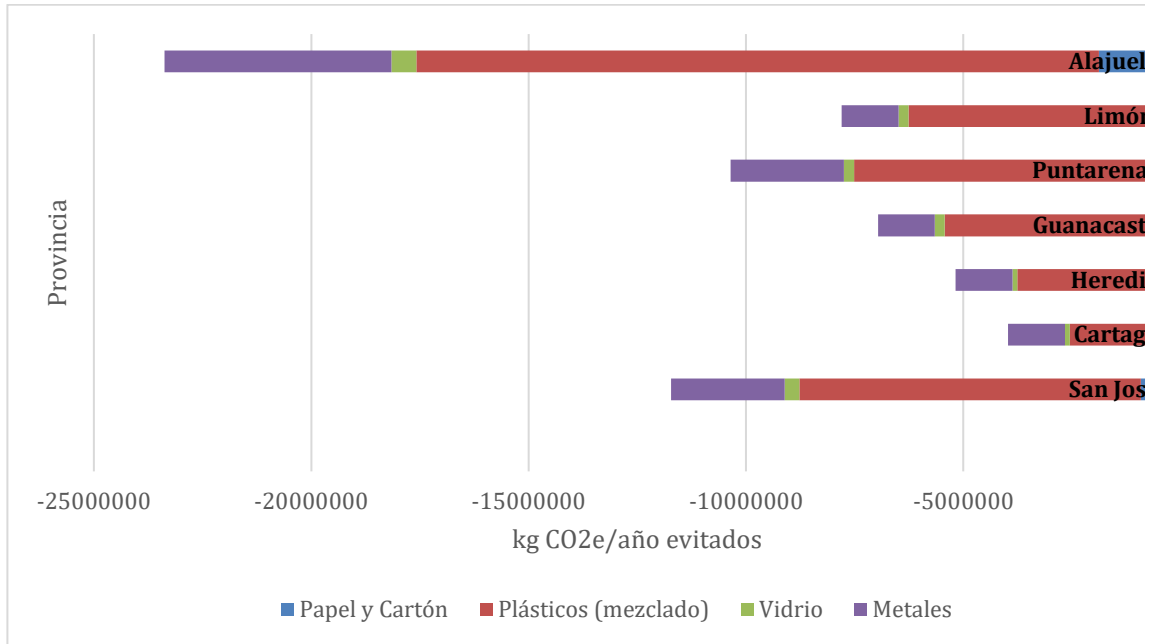
Fuente: elaboración propia

Cuadro 25. Emisiones evitadas de residuos que terminan en un relleno sanitario por provincia y por tipo de material a partir de los dos estudios propuestos

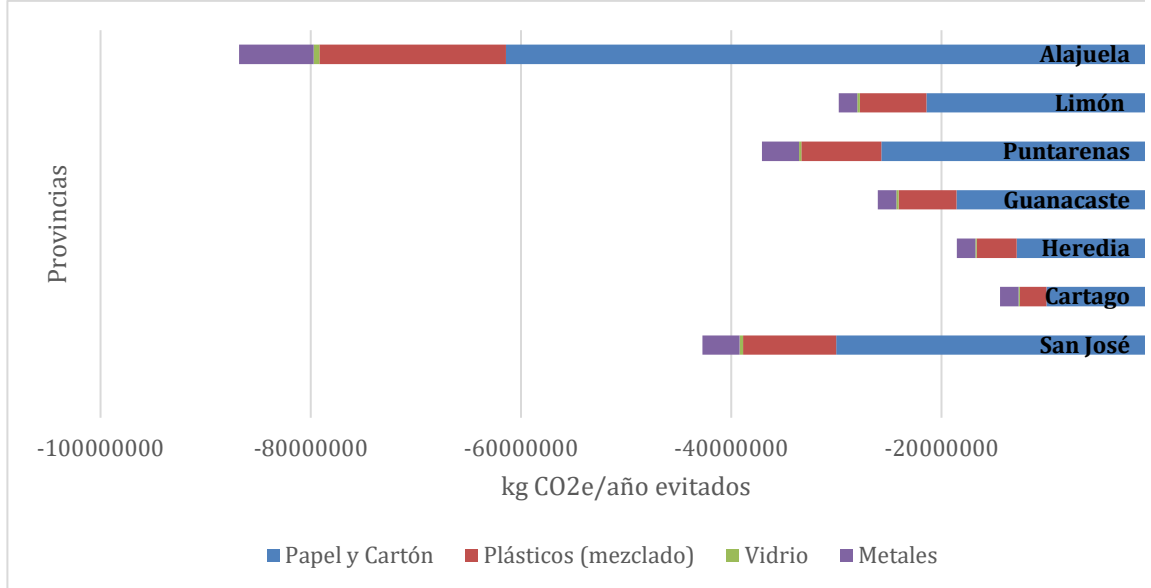
Provincias	Tipo de material							
	Papel y Cartón (kg CO2e/año)		Plásticos (mezclado) (kg CO2e/año)		Vidrio (kg CO2e/año)		Metales (kg CO2e/año)	
	Turner et al. (2015)	WARM 15	Turner et al. (2015)	WARM 15	Turner et al. (2015)	WARM 15	Turner et al. (2015)	WARM 15
San José	-6 783 744	-221 263 241	-57 009 613	-64 451 072	-2 181 028	-2 144 284	-18 722 376	-25 333 736
Cartago	-1 647 318	-53 730 052	-13 844 070	-15 651 136	-529 498	-520 578	-4 543 505	-6 147 936
Heredia	-1 812 006	-59 101 629	-15 230 720	-17 218 784	-582 219	-572 410	-5 000 467	-6 766 263
Guanacaste	-1 022 292	-33 343 776	-8 592 742	-9 714 352	-328 931	-323 389	-2 820 107	-3 815 960
Puntarenas	-1 063 464	-34 686 670	-8 936 602	-10 103 095	-341 538	-335 784	-2 937 611	-3 974 959
Limón	-983 748	-32 086 599	-8 263 834	-9 342 511	-316 324	-310 994	-2 715 658	-3 674 628
Alajuela	-3 024 390	-98 645 576	-25 415 680	-28 733 186	-971 893	-955 519	-8 342 816	-11 288 883
Total	-16 336 962	-532 857 544	-137 293 261	-155 214 137	-5 251 430	-5 162 959	-45 082 541	-61 002 365

Fuente: elaboración propia

El segundo escenario se parte de la cantidad de residuos que no son recolectados y de los cuales no se sabe ciertamente cuál es su destino final. En la **Figura 4** y en el **Cuadro 20** se muestra la información por provincia, tipo de material y para los factores de emisión obtenidos de cada modelo. En este caso las provincias que evitarían más emisiones lo que significa que tienen mayor cantidad de residuos sin recolectar son Alajuela y Limón.



a) Factores de emisión Turner et al. (2015)



b) Factores de emisión WARM 15

Figura 34. Emisiones de GEI evitadas por residuos sólidos que no son recolectados por provincia y por tipo de material a partir de dos factores de emisión diferentes a) Turner et al. (2015) y b) WARM 15.

Fuente: elaboración propia

Con el fin de mostrar el posible impacto que tiene el proceso de reciclaje en las emisiones de GEI del país, se tomaron los factores de emisión de las dos fuentes descritas anteriormente, considerando ante todo que se trata de un ejercicio demostrativo y que, por las variables de cada uno de los factores de emisión, no se pueden considerar los resultados obtenidos como definitivos o representativos de la realidad nacional.

Para esto se empleó la información obtenida de las encuestas y entrevistas aplicadas a las empresas de transformación de residuos sólidos valorizables, como se detalló en el informe de avance del producto 2 de la presente consultoría.

Cuadro 26. Emisiones evitadas por residuos que no son recolectados por provincia y por tipo de material a partir de los dos estudios propuestos

Provincias	Tipo de material							
	Papel y Cartón (kg CO2e/año)		Plásticos (mezclado) (kg CO2e/año)		Vidrio (kg CO2e/año)		Metales (kg CO2e/año)	
	Turner et al. (2015)	WARM 15	Turner et al. (2015)	WARM 15	Turner et al. (2015)	WARM 15	Turner et al. (2015)	WARM 15
San José	-919 800	-30 000 827	-7 848 960	-8 873 484	-343 830	-338 037	-2 611 210	-3 533 297
Cartago	-306 600	-10 000 276	-2 242 560	-2 535 281	-1 14 610	-112 679	-1 305 605	-1 766 648
Heredia	-394 200	-12 857 497	-3 363 840	-3 802 922	-1 14 610	-112 679	-1 305 605	-1 766 648
Guanacaste	-569 400	-18 571 940	-4 858 880	-5 493 109	-229 220	-225 358	-1 305 605	-1 766 648
Puntarenas	-788 400	-25 714 994	-6 727 680	-7 605 843	-229 220	-225 358	-2 611 210	-3 533 297
Limón	-657 000	-21 429 162	-5 606 400	-6 338 203	-229 220	-225 358	-1 305 605	-1 766 648
Alajuela	-1 883 400	-61 430 265	-15 697 920	-17 746 968	-573 050	-563 396	-5 222 420	-7 066 593
Total	-5 518 800	-180 004 961	-46 346 240	-52 395 810	-1 833 760	-1 802 867	-15 667 260	-21 199 779

Fuente: elaboración propia

Anexo 3. Emisiones de GEI evitadas por el reciclaje de diferentes residuos valorizables

Cuadro 27. Emisiones de GEI evitadas por el reciclaje de diferentes residuos en las empresas encuestadas como gestoras o transformadoras de residuos en Costa Rica

N°	Materiales que demandan	Cantidad aproximada de material consumido (Ton/año)	Cantidad de emisiones evitadas (kgCO _{2e} /año)	
			Turner et al.	WARM 15
1	5 (PP) y 6 (PS)	NA	NA	NA
2	1 (PET), 2 (HDPE), 3 (PVC), 4 (LDPE), 5 (PP), 6 (PS)	102	-104 448	-118 082
3	2 (HDPE), 4 (LDPE), 5 (PP), 6 (PS) y 7 (ABS de AyA)	192	-196 608	-222 271
4	Todos los plásticos	NA	NA	NA
5	2 (HDPE), 4 (LDPE), 5 (PP) y 7 Otros (algunos polilaminados)	5263	-5 389 312	-6 092 778
6	Aluminio y bronce (Sn y Cu)	79	-282 583	-382 370
7	Todos los metales, excepto hierro	240	-858 480	-1 161 632
8	Envases de vidrio	86400	-27 129 600	-26 672 547
9	Cartón	96000	-11 520 000	-375 744 212
10	Plástico 2 HDPE, Plásticos (LDPE, LLDPE, HDPE, PP, PS, PVC,) Scrp: Inyección, soplado, molde. Bolsas, Botella Fleje, Cubetas, Manguera, Sacos, Mecate, PP Galones, Tarimas	ND	NA	NA
11	2 (HDPE), 4 (LDPE) y 5 (PP)	365	-373 760	-422 547
12	Bolsas de basura		NA	NA
13	Plástico 2 HDPE, LDPE, HDPE, PP,	ND	NA	NA
14	(2) Polietileno de alta densidad (HDPE), (5) Prolipropileno (PP)	96	-98 304	-111 136
15	hierro gris, hierro	182	-651 014	-880 904
16	(4) Polietileno de baja densidad (LDPE)	ND	NA	NA
17	2 (HDPE), film recibe y sus bolsas son 100% de material reciclado	360	-368 640	-416 759
TOTAL			-46 972 749	-412 225 237

Nota: 1/ Proyecto piloto

Fuente: elaboración propia.