
COMUNICACIÓN CORTA

***EVALUACIÓN AMBIENTAL DE ALTERNATIVAS DE
VALORIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN LA
REGIÓN DEL BÍO BÍO – CHILE***

***ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF RESOURCE RECOVERY FROM
MUNICIPAL SOLID WASTE AT BÍO BÍO REGION - CHILE***

Patricia González^{1}, Sofía Riveros¹, Scarlet Concha¹ y Yannay Casas¹*

¹Facultad de Ciencias Ambientales, Universidad de Concepción, Casilla 160-C, Correo 3,
Concepción, Chile.

Recibido: Septiembre 17, 2019; Revisado: Octubre 18, 2019; Aceptado: Noviembre 23, 2019

RESUMEN

Este trabajo presenta la evaluación ambiental de tres opciones de valorización energética de residuos sólidos urbanos (RSU), a saber, generación de biogás, y combustión y gasificación de la fracción combustible. Se basó en las condiciones de la Región del Bío Bío (Chile), mediante un enfoque de ciclo de vida y el modelo *ReCiPe*, empleando datos primarios. Se concluye que la recuperación de energía y materiales reduce significativamente los impactos en todas las categorías evaluadas.

Palabras clave: biogás; incineración; residuos sólidos urbanos.

ABSTRACT

This paper presents the environmental assessment of three options for material and energy recovery from urban solid waste, namely, biogas generation, and fuel fraction combustion and gasification. It was based on Bío Bío Region (Chile) conditions, through a life cycle approach and *ReCiPe* model, using primary data. It is concluded that the energy and materials recovery significantly reduces the impacts in all the evaluated categories.

Keywords: biogas; incineration; municipal solid waste.

Copyright © 2019. Este es un artículo de acceso abierto, lo que permite su uso ilimitado, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada.

* Autor para la correspondencia: Patricia González, Email: patrigon@udec.cl

1. INTRODUCCIÓN

El reciclaje de materiales, aprovechamiento del biogás y la incineración directa de los desechos orgánicos para producir vapor y/o electricidad son las alternativas más utilizadas para la valorización de los residuos sólidos orgánicos (RSU) (Fernández-González et al., 2017); (Leckner, 2015); (Gökçek, 2017). Recientemente, se han implementado procesos de pirólisis y gasificación como pasos previos a la producción de calor y electricidad (Bosmans & Helsen, 2010).

Sin embargo, existe controversia acerca de los atributos ambientales de las opciones de valorización de RSU debido a la importancia de condiciones sitio-específicas. En este contexto, este trabajo presenta un estudio de caso de tres escenarios alternativos de valorización de RSU, como parte de una estrategia de economía circular, que involucra la generación de electricidad y calor a partir de procesos de combustión, gasificación y uso biogás en vertedero, en la Región del Biobío en el sur de Chile. El objetivo de este trabajo es presentar el resultado de una evaluación preliminar de ciclo de vida para identificar posibles transferencias de impactos fuera de los límites directos de los procesos de valorización de residuos (Fernández-González et al., 2017).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Residuos Sólidos Urbanos

Los RSU fueron recolectados desde un vertedero ubicado en el Municipio de Concepción (36 ° 45'51 "S, 72 ° 57'48" W), que recibe 88 000 ton RSU al año. La recolección y clasificación de los RSU se llevó a cabo de acuerdo a la norma (ASTM D5231-92, 2008), con un total de 24 muestras aleatorias no estratificadas durante 2016, con una frecuencia de 2 veces al mes, para cubrir las variaciones estacionales. Cada muestra de aproximadamente 100 kg se mezcló, cuarteó y clasificó manualmente. El contenido de materia orgánica promedio de las 24 muestras fue 54% en peso (base seca) con una desviación estándar de 5%, mientras que los papeles y cartones representaron 13% en peso ($\pm 2\%$), seguido por plásticos con 10% ($\pm 2\%$). Los residuos de jardín, textiles, vidrios y metales contribuyeron con 2% cada uno, mientras el 15% restante son otros residuos inorgánicos. La Tabla 1 presenta los resultados de las propiedades físico-químicas de los RSU y sus respectivas desviaciones estándar.

2.2. Evaluación de ciclo de vida (ECV)

Se utilizó la norma (ISO 14040, 2006) como marco metodológico para realizar la ECV. La una unidad funcional fue 1000 kg de RSU ingresados al sitio vertedero. Los límites del sistema incluyeron la recolección y transporte de RSU, pretratamiento, reciclaje, conversión energética, principales suministros de materiales y energía, y eliminación de los residuos sólidos finales de los procesos de transformación. La composición físico-química de los RSU fue obtenida experimentalmente por los autores, tal como se describe detalladamente en párrafos anteriores. Los datos asociados a la tasa de generación y transporte de RSU, eficiencia de conversión de energía, especificaciones técnicas y condiciones de operación se obtuvieron de fuentes primarias, a partir de los registros documentales de la empresa a cargo de la gestión de los RSU. La composición y tasa de generación de biogás se estimó en base al modelo LandGEM US-EPA v3.02

(EPA, 2005). Los datos restantes se obtuvieron de las bases de datos *Ecoinvent*. La evaluación de impacto ambiental se realizó en base al modelo *ReCiPe*, para las siguientes categorías de impacto intermedio: cambio climático, ecotoxicidad, potencial de acidificación y agotamiento de recursos abióticos, y de impacto final: daño a la salud humana, daño a los recursos naturales y daño a los ecosistemas) (Huijbregts et al., 2017), utilizando el software *Simapro*™ v.7.3.3.

2.3. Caracterización físico-química de RSU

La Tabla 1 muestra los resultados de análisis físico-químicos de las muestras recolectadas.

Tabla 1. Características físico-químicas de RSU

<i>Parámetros</i>	<i>Unidades</i>	<i>Materia Orgánica</i>	<i>Papeles y Cartones</i>	<i>Plásticos y Textiles</i>	<i>Norma de medición</i>
<i>Análisis Próximo</i>					
Humedad	% peso base seca	86 ± 5	39 ± 4	12 ± 2	ASTM E790-87, 2004
Cenizas	% peso base seca	10 ± 1	13 ± 2	4 ± 1	ASTM E830-87, 1996
PCS	MJ/kg	20 ± 3	18 ± 2	33 ± 4	BS EN 14918, 2009
PCI	MJ/kg	18 ± 2	16 ± 2	30 ± 3	BS EN 14918, 2004
Materia Volátil	% peso base seca	72 ± 5	81 ± 7	91 ± 8	ASTM E897-88, 2004
<i>Análisis Último</i>					
Carbono	% peso base seca ^(*)	42	41	72	BS EN 16948, 2015
Hidrógeno	% peso base seca ^(*)	5	7	12	BS EN 16948, 2015
Oxígeno	% peso base seca ^(*)	53	52	16	BS EN 16948, 2015
Nitrógeno	% peso base seca ^(*)	<1	<1	<1	BS EN 16948, 2015
Sulfuro	% peso base seca ^(*)	<0,1	<0,1	<0,1	BS EN 16948, 2015
Cloruro	mg/kg	0,4	0,2	0,1	BS EN 16948, 2015

^(*) libre de cenizas

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presentan los principales resultados de ECV para tres escenarios de valorización de RSU, además del caso base.

Escenario Base: Representa la situación actual, donde todos los RSU se depositan en el vertedero sin recuperación de energía y recursos materiales. Por razones de seguridad y ambientales, el 60% del biogás se recolecta y se quema en antorchas, mientras que el resto son emisiones de fuentes no puntuales a la atmósfera. Los lixiviados son tratados por métodos físico-químicos y reciclados para riego de áreas verdes internas y caminos de polvo.

Escenario 1: el 60% del biogás generado se recupera y se utiliza para la generación de electricidad, utilizando motores de gas. El excedente de electricidad se exporta a la red pública de electricidad. Se supone que los contenidos de biogás CH₄ y CO₂ son 54% y 41%, respectivamente, en masa seca, con un potencial energético de alrededor de 1.877 MJ / tonelada RSU. Se utilizó una eficiencia de generación de electricidad de 42% a plena carga, con un consumo total de biogás de alrededor de 250 m³/MWh.

Escenario 2: se incineran las fracciones combustibles de RSU, a saber, residuos orgánicos, papeles y cartones, y plásticos, para producir electricidad y generar calor. La electricidad se exporta a la red pública, mientras que el vidrio y los metales se recuperan y venden en el mercado de reciclaje. Se considera una caldera de parrilla de 240 ton

RSU/día, cuyo vapor sobrecalentado se alimenta a una turbina de vapor de 12 MWe.

Escenario 3: similar al escenario 2, pero donde las fracciones combustibles se gasifican a 950 ° C para producir gases combustibles (principalmente, CO, CH₄ y H₂) que se emplean para para la generación de electricidad y calor. Los gases se transfieren a una cámara de combustión adiabática de lecho fluidizado a 1.100°C y luego se alimentan a una caldera de recuperación que genera 68 ton/h de vapor, a 45 bar y 400°C. La electricidad se genera en una turbina de vapor con una potencia nominal de 12 MWe. Los escenarios 2 y 3 incluyen una etapa de pretratamiento de RSU que implica trituración, cribado, clasificación, saneamiento térmico y secado.

La Figura 1 resume los impactos intermedios en las categorías Cambio Climático, Ecotoxicidad, Acidificación y Agotamiento de Recursos Abióticos. Se puede observar que el uso de biogás para la producción de electricidad (Escenario 1) conduce a una leve mejora ambiental comparado con el escenario base, debido a la eliminación de las emisiones de metano y al consumo evitado de combustibles fósiles como resultado de la inyección de electricidad en la red pública.

Además de la generación de electricidad, los escenarios 2 y 3 incluyen el reciclaje de vidrio y aluminio; por lo tanto, se evita la extracción de minerales frescos y el consumo de energía debido al reciclaje de esos recursos. Este efecto positivo es altamente significativo en los indicadores de impacto sobre cambio climático, acidificación y agotamiento de recursos abióticos.

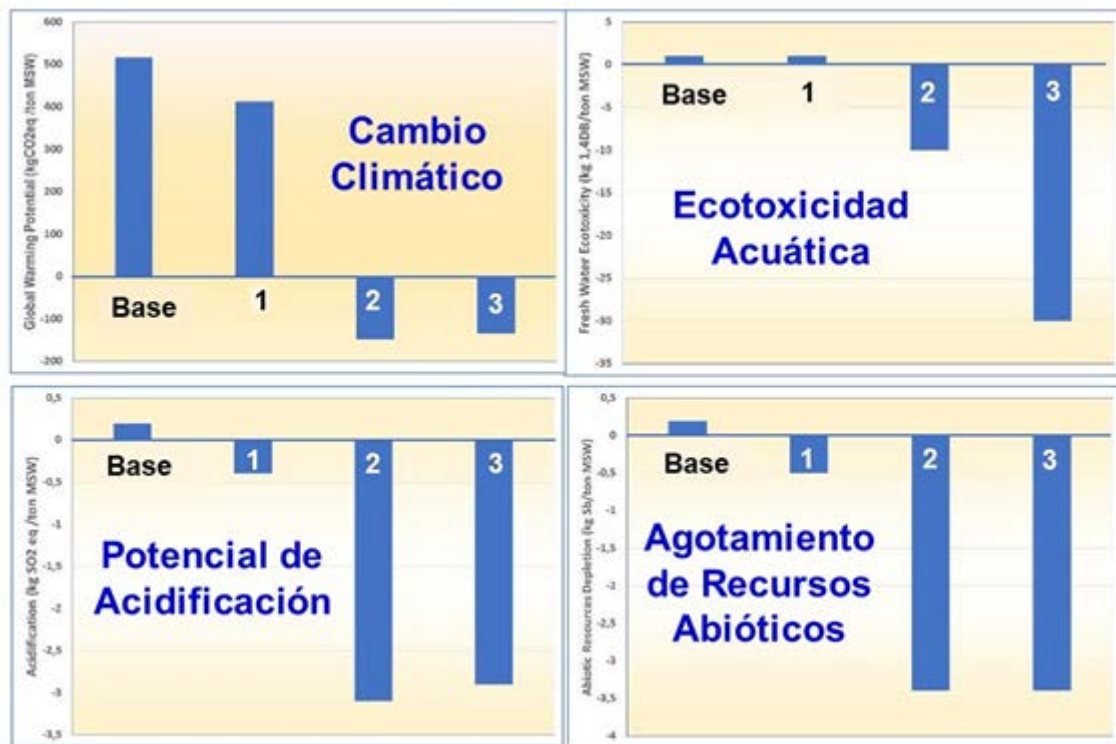


Figura 1. Impactos Intermedios de los escenarios evaluados. Modelo *ReCiPe*

La Figura 2 ilustra los impactos finales estimados en base al modelo *ReCiPe*. En todos los casos los indicadores de daño muestran una disminución del impacto debido a la valorización de los RSU. Más aún, los valores normalizados de estos impactos finales demuestran que el daño a la salud humana constituye el principal impacto final, seguido por el daño a los recursos naturales.

En el caso del Escenario Base, alrededor del 90% del efecto sobre la salud humana se debe a las emisiones de biogás, mientras que los efectos restantes están asociados al consumo de combustibles fósiles en el transporte y a la generación de electricidad de la red.

La inyección de electricidad a la red pública generada a partir de los RSU, produce un efecto compensatorio positivo en todos los indicadores de daño, debido al consumo evitado de combustibles fósiles para la generación de electricidad.

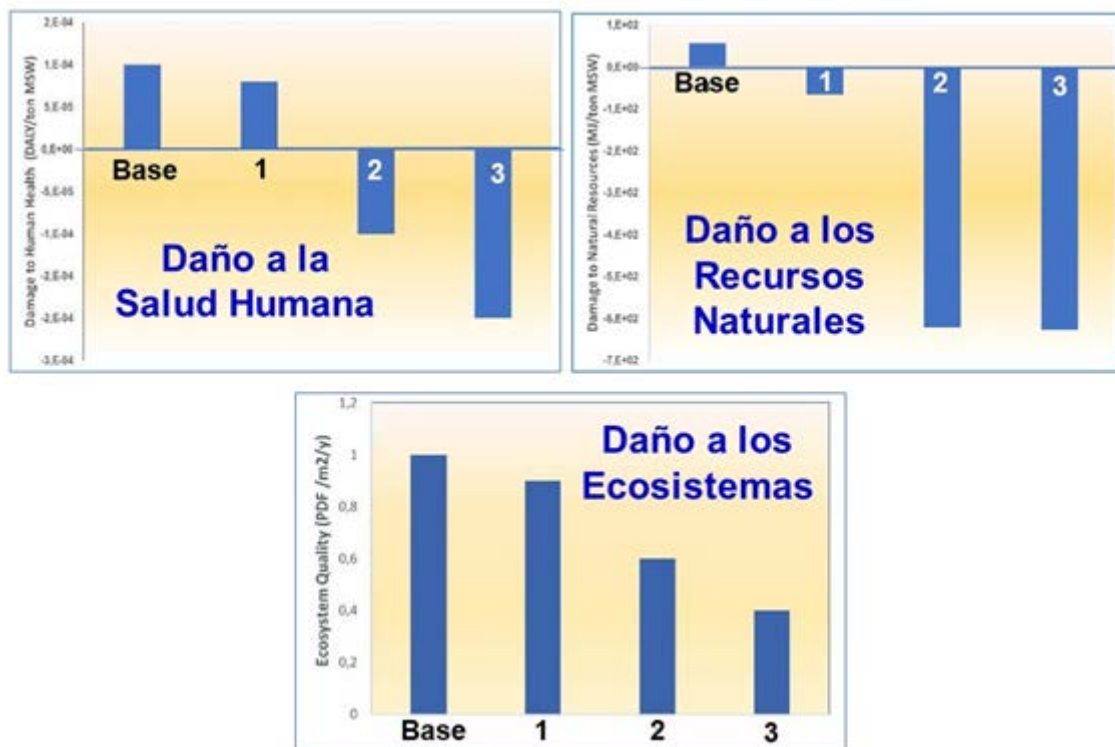


Figura 2. Impactos Finales de los escenarios evaluados. Modelo ReCiPe

La recuperación y reciclaje de vidrio y, principalmente, aluminio en los escenarios 2 y 3 logra compensar impactos en todas las categorías evaluadas aquí, ya que implican una importante reducción del consumo de recursos naturales y de energía en los procesos primarios que se evitan gracias al reciclaje.

Finalmente, resultados de sensibilidad paramétrica demuestran que la eficiencia de conversión energética es uno de los parámetros más importantes y su incremento conduciría a mayores efectos ambientales positivos en todas las categorías evaluadas.

4. CONCLUSIONES

1. La recuperación de energía, ya sea del biogás, incineración o gasificación de RSU, resulta en una reducción significativa del potencial de cambio climático, acidificación, toxicidad y agotamiento de recursos abióticos.
2. El reciclaje de aluminio reduce el impacto sobre la salud humana, ecotoxicidad de agua dulce y agotamiento de recursos naturales.
3. Los impactos positivos debido a los consumos de combustibles fósiles y minerales evitados como resultado de la inyección de electricidad en la red y el reciclaje de aluminio, son lo suficientemente grandes como para generar compensaciones en varias categorías de impacto.

4. Los resultados obtenidos resaltan el valor de la ECV para identificar los atributos ambientales de las alternativas de valorización de RSU, en el contexto de economía circular.

REFERENCIAS

- ASTM D5231-92., Standard Test Method for Determination of the Composition of Unprocessed Municipal Solid Waste., ASTM Int., West Conshohocken, PA, 2008, pp. 1-6.
- ASTM E790 – 87., Standard Test Method for Residual Moisture in a Refuse-Derived Fuel Analysis Sample, ASTM Int., West Conshohocken, PA, 2004, pp. 1-3.
- ASTM E830 – 87., Standard Test Method for Ash in the Analysis Sample of Refuse-Derived Fuel, ASTM Int., West Conshohocken, PA, 1996, pp. 1-2.
- ASTM E897-88., Standard Test Method for Volatile Matter in the Analysis Sample of Refuse-Derived Fuel, ASTM Int., West Conshohocken, PA, 2004, pp. 1-2.
- Bosmans, A., Helsen, L., Energy from Waste: Review of Thermochemical Technologies for Refuse Derived Fuel (RDF) Treatment., Proceedings Venice 2010, 3rd Int. Symposium on Energy from Biomass and Waste, Venice, Italy, 8-11 Noviembre, 2010.
- BS EN 14918., Solid biofuels - Determination of calorific value, 2009, pp. 1-64.
- BS EN ISO 16948., Solid biofuels. Determination of total content of C, H and N., 2015, pp. 1-9.
- EPA., Landfill Gas Emissions Model (LandGEM) Version 3.02. EPA-600/R-05/047., U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Washington, DC 20460, 2005, pp. 1-56.
- Fernandez-González, J.M., Grindlay, A.L., Serrano-Bernardo, F., Rodriguez-Rojas, M.I., Zamorano, M., Economic and environmental review of waste-to energy systems for municipal solid waste management in medium and small municipalities., Waste Management, Vol. 67, Special Thematic Issue, Sep., 2017, pp. 360-374.
- Gökçek, M., Waste to Energy: Exploitation of Landfill Gas in Micro Turbines., Journal of Engineering Sciences, Vol. 6, No. 2, 2017, pp. 710-716.
- Huijbregts, M.A.J., Steinmann, Z.J.N., Elshout, P.M.F., Stam, G., Verones, F., Vieira, M., Zijp, M., Hollander, A., van Zelm, R., ReCiPe2016: A harmonized life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level., International Journal of Life Cycle Assessment, Vol. 22, No. 2, Feb., 2017, pp.138-147.
- ISO 14040., -Environmental Management- Life Cycle Assessment - Principles and Framework., ISO, Geneve, Switzerland, 2006, pp. 1-29.
- Leckner, B., Process aspects in combustion and gasification Waste-to-Energy (WtE) units., Waste Management, Vol. 37, Special Thematic Issue, Mar., 2015, pp.13-25.