

## Revisión de mecanismos de valorización energética para residuos sólidos urbanos caso: relleno sanitario Doña Juana<sup>1</sup>

Paula Andrea Farfán Torres<sup>2</sup>, Angie Tatiana Ortega Ramírez<sup>3</sup>

### Resumen

Con la creciente producción y almacenamiento de los residuos sólidos urbanos se han presentado afectaciones ambientales, sociales y económicas al rededor del mundo. Por este motivo, se realizó la recopilación teórica de las alternativas de valorización energética presentes para los residuos las cuales se establecen como una posible mitigación a las problemáticas presentes,

de igual forma se enfoca el aprovechamiento de los residuos en el relleno sanitario Doña Juana, donde es viable que se generen grandes beneficios, como la sustitución gradual de los combustibles fósiles por combustibles alternativos, reducir afectaciones en el medio ambiente y la sociedad.

**Palabras clave:** energía, residuos sólidos urbanos, valorización energética.

1 Artículo de reflexión derivado del trabajo de grado de la Especialización en Gestión Ambiental de la Universidad de América, ejecutado entre el 24 de febrero de 2022 y el 13 de septiembre de 2022 y financiado por la Universidad de América.

2 Ingeniera química de la Universidad de América, Bogotá, Colombia.  
Correo: paula.farfan@estudiantes.uamerica.edu.co / Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-5097-5816>.

3 Magíster en Gestión Ambiental para la Competitividad de la Universidad de América, especialista en Gerencia de Proyectos, ingeniera química, ingeniera de petróleos, Bogotá, Colombia.  
Correo: angie.ortega@profesores.uamerica.edu.co / Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-6364-8432>.

**Autor para Correspondencia:** paula.farfan@estudiantes.uamerica.edu.co  
Recibido: 19/09/2022      Aceptado: 13/06/2023

\*Los autores declaran que no tienen conflicto de interés

## Review of mechanisms for energy valorization for urban solid waste case: Doña Juana sanitary landfill

### Abstract

With the growing production and storage of urban solid waste, there have been impacts in the environmental, social and economic spheres around the world. For this reason, the theoretical compilation of the energy recovery alternatives present for the waste

is carried out, which are established as a possible mitigation of the present problems, in the same way, the use of the waste in the Doña Juana landfill is focused, where it is feasible to generate great benefits such as the gradual substitution of fossil fuels for alternative fuels, reduce damage to the environment and society.

**Keywords:** Energy, Urban Solid Waste, Energy Recovery.

## Revisão dos mecanismos de valorização energética para resíduos sólidos urbanos caso: aterro sanitário Doña Juana

### Resumo

Com a crescente produção e armazenamento de resíduos sólidos urbanos, tem havido impactos nas esferas ambiental, social e econômica em todo o mundo. Por este motivo, é realizada a compilação teórica das alternativas de recuperação de

energia presentes para os resíduos, que se estabelecem como uma possível mitigação dos problemas atuais, da mesma forma, é focado o uso dos resíduos no aterro de Doña Juana, onde é viável gerar grandes benefícios como a substituição gradativa de combustíveis fósseis por combustíveis alternativos, redução de danos ao meio ambiente e à sociedade.

**Palavras-chave:** energia, resíduos sólidos urbanos, valorização energética.

## Introducción

La producción de residuos sólidos urbanos (RSU) es una problemática socioambiental que ha afectado a la humanidad a lo largo de la historia, de igual forma se evidencia que las tecnologías existentes para el manejo de los residuos son obsoletas (Trinh *et al.*, 2021), por lo que se presenta un desafío técnico. Según Hossain *et al.* (2022) el incremento en la acumulación de los residuos sólidos

urbanos está determinado por el crecimiento poblacional y económico de la región, pues más de la mitad de la población se encuentra ubicada en áreas urbanas y requieren de bienes y servicios que ocasionan un aumento de estos residuos (Radwan *et al.*, 2021); se estima que la producción global de residuos sólidos urbanos (RSU) para el año 2025 será de 1.300 a 2.200 millones de toneladas por año (Zambezi *et al.*, 2021).

Al tener elevadas cantidades de residuos se requiere de un manejo estricto que controle el proceso de descomposición, ya que se producen compuestos lixiviados y gases de efecto invernadero como metano y dióxido de carbono (Emalya *et al.*, 2022). Sin embargo, los desechos son acumulados en lugares para la disposición final donde se produce la descomposición que ocasiona afectación al ecosistema y a las poblaciones cercanas (Pivato *et al.*, 2021). De igual manera, con la producción excesiva y el almacenamiento continuo de los residuos, los lugares de disposición final no lograrán sostener la cantidad de desechos, por esta razón se deben implementar medidas que logren disminuir el volumen de los residuos, las problemáticas socioambientales y a su vez generar un valor agregado en el proceso.

En relación con lo anterior y como objetivo del presente artículo se llevó a cabo una recopilación de alternativas desarrolladas para la valorización de los residuos sólidos urbanos, enfocándose en la transformación energética e implementando las grandes cantidades de la fracción orgánica de residuos sólidos urbanos como materia prima en el proceso de generación de energía, con el propósito de reincorporarla al ciclo económico y productivo.

Al ejecutar la valorización energética de la fracción orgánica se ayuda a mitigar la fuente principal de malos olores, los cuales son transportados por la acción del aire a las poblaciones aledañas causando enfermedades, afecciones en el sistema respiratorio, afectación por plagas, entre otros (Babu *et al.*, 2021) originados por la acumulación de compuestos lixiviados y

gases de efecto invernadero presentes en los rellenos sanitarios (Filho *et al.*, 2020).

En América Latina la problemática sigue los mismos lineamientos, no se cuenta con la manipulación adecuada y se convierte en una problemática ambiental debido a que el tratamiento que se le da a los residuos es almacenarlos en rellenos sanitarios expuestos a cielo abierto (Filho *et al.*, 2022), factor que incrementa el contacto de los gases con el ambiente y las poblaciones cercanas.

Un claro ejemplo de esta problemática es la ciudad de Bogotá, Colombia, donde se estima que el 49 % de los desechos que se depositan en el relleno sanitario corresponden a la fracción orgánica de estos (Ossa *et al.*, 2020), la cual no presenta un proceso de control óptimo al ser almacenados sin un tratamiento previo.

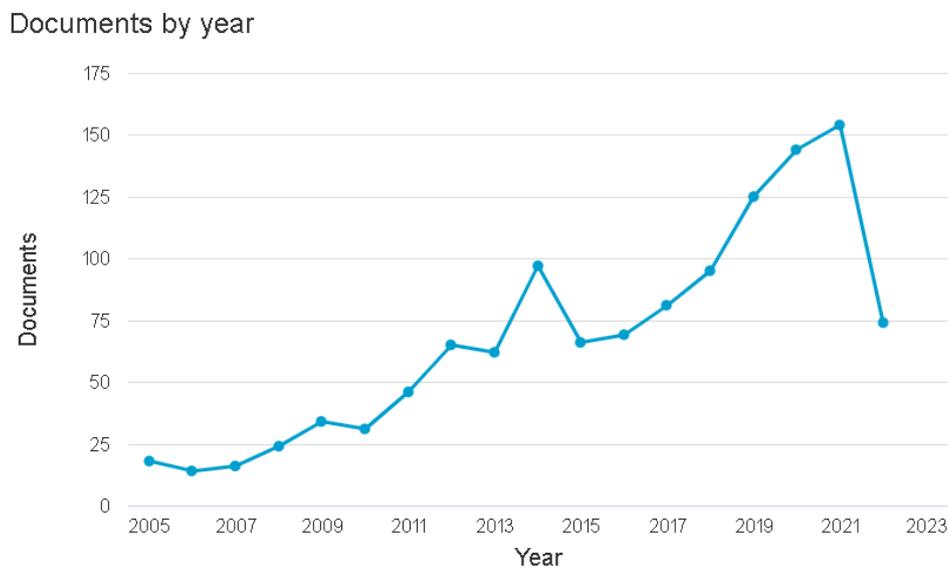
El funcionamiento del relleno sanitario Doña Juana ha ocasionado un gran impacto socioambiental durante su funcionamiento (Khasawneh y Zhang, 2020), estas problemáticas se deben principalmente al incumplimiento de los protocolos de manejo de los desechos (Gonçalves *et al.*, 2018). Por este motivo, se seleccionó esta área de influencia como caso de estudio, con el propósito de mitigar los efectos negativos que se presentan a causa de los residuos sólidos urbanos.

## Metodología

En el desarrollo de la metodología se llevó a cabo la búsqueda de información comprendida entre el periodo de tiempo de 2005 a 2022, tomando como fuente de referencia la base de datos Scopus; para la indagación de la información en la base de datos se implementó la ayuda de los términos *Energy AND Solid Urban Waste* con el propósito de delimitar los documentos.

## Resultados y discusión

A partir de la revisión de la base de datos Scopus, se realizó un análisis bibliográfico en el cual se identificó, como muestra la **figura 1**, el desarrollo documental sobre aprovechamiento energético de los residuos sólidos urbanos en el periodo histórico definido; y en la **figura 2** se muestran los autores y el número de documentos publicados para llevar a cabo la investigación.



La figura 1 muestra el desarrollo documental acerca de del aprovechamiento energético de los residuos sólidos urbanos con el tiempo y las publicaciones por año.

**Figura 1.** Periodo histórico. Base de datos SCOPUS

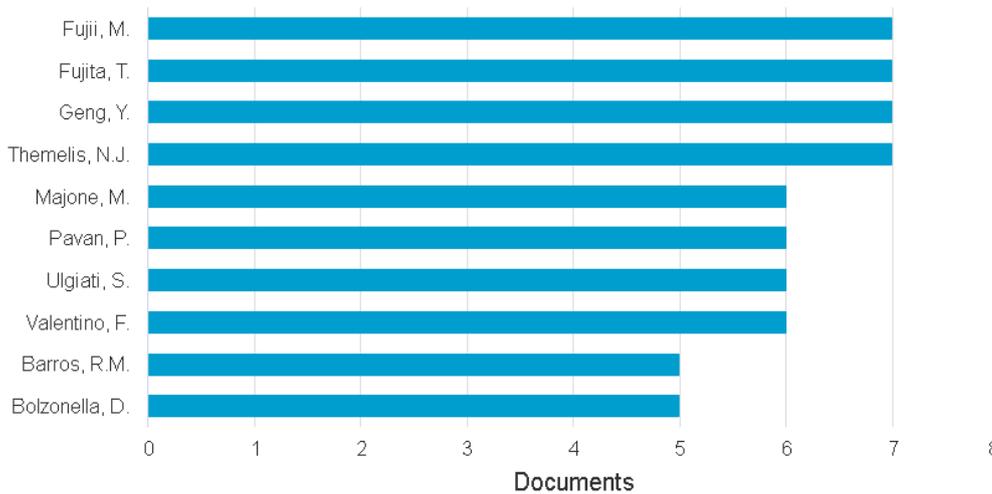
**Nota:** elaboración a partir de SCOPUS.

Al analizar la **figura 1** se determina que el desarrollo documental sobre la temática *Energy AND Solid Urban Waste* viene incrementando con el tiempo y se evidencia que el año 2021 corresponde al periodo de tiempo con mayor número de documentos publicados con un total de

154 documentos. De igual forma se realiza la búsqueda por autores, en este análisis se exponen los autores con la cantidad de documentos que han publicado respecto al tema, en la **figura 2** se evidencia que el autor con mayor número de publicaciones es M. Fuji, con siete documentos.

### Documents by author

Compare the document counts for up to 15 authors.



**Figura 2.** Autores y número de documentos publicados

**Nota:** elaboración a partir de SCOPUS. Analyse Search Results.

Al realizar el desarrollo metodológico del artículo se consultaron un total de 50 documentos, de los cuales el 90 % se tomó de la base de datos Scopus y el 10 % corresponde a la base de datos Google Academic, posteriormente se analizó el idioma de las referencias y se determinó que el 88 % se encuentra en el idioma inglés y el resto de los documentos en español. Por último, se observó que el 88 % de los documentos son artículos, el 8 % fueron publicados en páginas web y 4 % pertenecen a capítulos de libros en formato digital.

De igual modo, por ser una temática local (Bogotá, Colombia), se evaluaron los documentos investigativos de la región publicados entre los años 2019 y 2021, siendo un tema de gran interés al observar similitudes en las temáticas sostenibles, se identificaron implicaciones ambientales,

sociales y económicas generadas por la ausencia de un tratamiento previo a los residuos que se disponen relleno sanitario Doña Juana, lo que ocasiona graves problemas en los recursos suelo, aire y agua, situación que afecta no solo a la población sino al ecosistema. De allí surgen estrategias de producción más limpia que buscan convertir estos residuos en compostaje y en fuente de energía renovable para mitigar los efectos adversos.

A continuación se presenta una descripción conceptual de los diferentes términos necesarios para desarrollar y exponer las alternativas para la valorización de los residuos sólidos urbanos, iniciado con la las característica de los residuos sólidos urbanos y su composición, de igual forma se analizan y se describen las problemáticas presentes en el relleno sanitario Doña Juana

y se mencionan las tecnologías existentes para aprovechar la fracción orgánica de los residuos, para finalizar se exponen los beneficios que tiene la valorización de los residuos en el relleno sanitario Doña Juana.

### **Residuos sólidos urbanos**

Los residuos sólidos urbanos son los desechos producidos por actividades domésticas, comerciales e institucionales (Muhammad *et al.*, 2020). La producción de residuos sólidos urbanos (RUS) es una problemática social y ambiental que está directamente relacionada con el almacenamiento, además son considerados sin utilidad ni provecho. Hettiarachchi, Meegoda *et al.* (2018) exponen que los residuos se pueden aprovechar al ser reincorporados al ciclo económico y productivo a través de alternativas de valorización.

La composición de los residuos sólidos urbanos varía según la región o país en que se encuentren, teniendo en cuenta las costumbres, los hábitos alimenticios y las características económicas de cada país ya que son factores que influyen en su composición (Mishra y Mohanty, 2020).

Entre los compuestos de los residuos sólidos urbanos se encuentran principalmente papel, plástico, vidrio, metales, materia orgánica, entre otros (Nanda *et al.*, 2022). Se estima aproximadamente que el 54 % de los residuos corresponden a los residuos orgánicos mientras que el 46 % restante está constituido por los otros materiales inorgánicos (Hettiarachchi, Riu *et al.*, 2018). En Bogotá, Colombia se estima que el 49 %

de los residuos que llegan al relleno sanitario Doña Juana corresponden a la fracción orgánica de los desechos (Ossa *et al.*, 2020).

### **Relleno sanitario Doña Juana**

El relleno sanitario Doña Juana se encuentra ubicado en Bogotá, Colombia, específicamente en la localidad de Ciudad Bolívar, cerca de los barrios Mochuelo Alto y Bajo. Según las cifras de la Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos (Observatorio Ambiental de Bogotá, 2022) el relleno recibe 6.500 toneladas al día, estimando su vida útil hasta el año 2023.

El relleno sanitario ha generado un gran impacto en la sociedad, en el medio ambiente y en varios factores económicos, puesto que durante sus años de funcionamiento se han recibido múltiples denuncias por parte de la comunidad que exponen las fallas en la operación de Doña Juana (Montes Cortés, 2019). Las principales denuncias que la comunidad ha presentado corresponden a que el relleno sanitario no realiza las obras de optimización y mantenimiento, por lo que muchas de las chimeneas no cumplen con su función y se encuentran instaladas superficialmente. Por esta razón el tratamiento de los gases es insuficiente (Gutiérrez, 2018).

La falta de mantenimiento y optimización de las operaciones dentro del relleno sanitario ha causado que se presenten varios desbordamientos de los desechos, generando la proliferación de los gases que afectaron directamente a las poblaciones cercanas (López *et al.*, 2017), de igual forma el desbordamiento condujo a que los

compuestos lixiviados contaminaran las fuentes hídricas cercanas.

### **Impacto ambiental**

Al tener grandes cantidades de residuos sólidos urbanos, es necesario aplicar procesos de manejo y control de los residuos, sin embargo, los existentes no son los óptimos y se basan principalmente en almacenarlos a cielo abierto (Campitelli *et al.*, 2022). Al estar expuestos provocan efectos negativos en el medio ambiente, provocan contaminación atmosférica, contaminación de los suelos y contaminación de aguas superficiales o subterráneas (Ferronato y Torretta, 2019).

La contaminación atmosférica corresponde a las emisiones de gases de efecto invernadero como el gas metano que constituye aproximadamente el 55 % de las emisiones producidas en los rellenos sanitarios y el dióxido de carbono se encuentra cerca del 45 % (Shkileva, 2021), en el caso de la contaminación de los suelos se encuentran varios factores como los compuestos lixiviados que ocasionan la acidificación o salinización de los suelos (Meena *et al.*, 2019). De igual forma estos compuestos se filtran en el suelo, provocan el deterioro de la capa microbiana y la microfauna (lombrices, musgos, entre otros) que habitan en ellos (Iravanian y Ravari, 2020). Por último, en la contaminación de las aguas superficiales o subterráneas los compuestos lixiviados al filtrarse a través del suelo entran en contacto con las corrientes subterráneas de agua, las cuales llevan los compuestos contaminantes a las fuentes o cuerpos de agua con las que están en contacto (Vongdala *et al.*, 2019).

### **Impacto social**

La producción de residuos sólidos se encuentra estrechamente ligada a la salud de la población (Ferronato *et al.*, 2021), esto se debe a que la ubicación de los lugares de almacenamiento de los residuos cada vez está más cerca de los recintos urbanos, lo que interfiere en la salud y el estado de vida.

Entre los factores de impacto social se encuentran la transmisión de enfermedades por bacterias y parásitos, riesgos físicos y químicos ante la exposición de las personas que depende de la recolección de desechos. De igual forma, la proliferación de plagas y las afectaciones por olores (Ayilara *et al.*, 2020) las cuales son causadas por la descomposición de la materia orgánica de los residuos sólidos que son transportados por la acción del aire a las poblaciones aledañas, causando riesgos en el sistema respiratorio de los individuos (Fayomi *et al.*, 2019).

### **Impacto económico**

La implementación de los rellenos sanitarios se llevó a cabo por la necesidad de controlar la producción de los residuos sólidos. Sin embargo, esta técnica no es la más económica, puesto que el manejo inadecuado de la fracción orgánica ha ocasionado varias catástrofes que han generado repercusiones negativas al medio ambiente, a la sociedad y a la economía (Camacho, 2019).

La afectación al factor económico se debe en gran parte a los altos costos por demandas y las subsecuentes indemnizaciones que se deben pagar a las personas afectadas, otra de las afectaciones al sector económico que

se presentan es la falta de valorización de los desechos en los rellenos sanitarios.

Al utilizar los rellenos sanitarios como lugar de disposición final de los residuos se está desaprovechando la oportunidad de reincorporarlos al ciclo económico y productivo. Tal es el caso de la fracción orgánica, la cual se puede implementarse como materia prima en el proceso de compostaje o generación de energía (Ghosh *et al.*, 2018), en el caso de los compuestos inorgánicos se debe realizar el proceso de recolección y reciclaje.

### **Tecnologías de valorización energética de residuos sólidos urbanos**

Los residuos sólidos urbanos, al tener elevadas cantidades de materia orgánica son implementados como biomasa en los procesos de producción de energía dado su alto poder calorífico y energético para procesos de transformación (Usmani *et al.*, 2020), se estima que por cada tonelada de residuos sólidos urbanos se puede producir un poder calorífico de 10 MJ/kg por lo que es viable implementarlos como fuente de energía (Malinauskaite *et al.*, 2017). Para la obtención de energía a partir de los residuos sólidos urbanos se aplican diferentes tecnologías como lo son los procesos termoquímicos y biológicos (Lee *et al.*, 2020).

Los procesos termoquímicos son las técnicas utilizadas para transformar la biomasa con el fin de obtener productos líquidos, sólidos y gaseosos a través de reacciones químicas, en las que se modifican la presión, cantidad de oxígeno

y principalmente la temperatura. Entre los procesos termodinámicos se encuentran los procesos de combustión, gasificación y pirolisis (Montiel-Bohórquez y Pérez, 2019).

El proceso de combustión o incineración se desarrolla a partir de la oxidación completa de la biomasa manteniendo intervalos de temperatura entre 800 °C a 1.600 °C e incorporando un exceso en el oxígeno (Heidari *et al.*, 2018). El proceso de combustión tiene como producto la formación de gases calientes, los gases obtenidos en el proceso se utilizan para generación de energía en forma de calor. Bashir *et al.* (2019) realizaron un estudio en el llevaron a cabo el aprovechamiento energético de la biomasa de los residuos sólidos por medio del proceso de combustión en Malasia, donde se obtuvo como resultado que el potencial de recuperación de energía de residuos en Malasia es alto, pero la producción actual es menor a 20 MW de electricidad por día.

Por otro lado, el proceso de gasificación hace referencia a la oxidación parcial de la biomasa con aire, oxígeno o vapor de agua a altas temperaturas (800 a 900 °C) (González-Vásquez *et al.*, 2018). Una de las principales ventajas que aporta el proceso de gasificación es la transformación de la materia prima en estado sólido o líquido a gases.

En el estudio que implementaron Mukherjee *et al.* (2020) en Florida, EE. UU., se tomó la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos como materia prima para obtener energía, se evaluaron los procesos termodinámicos, entre estos el proceso

de gasificación, y llegaron a la conclusión que el proceso presenta costos elevados de operación y mantenimiento por su mayor consumo de energía, limpieza de gas de síntesis y complejidad de los sistemas.

En comparación con los otros procesos termodinámicos, el proceso de pirólisis corresponde a la descomposición físico-química de la materia orgánica a través de la acción del calor y en ausencia de oxígeno. El proceso de pirólisis se puede clasificar en pirólisis flash, pirólisis, pirólisis lenta basándose en la tasa de calentamiento y presión (Lu *et al.*, 2020). Además, con este proceso se obtiene como producto un biocombustible a partir de la biomasa proveniente del aprovechamiento de desechos (Sipra *et al.*, 2018).

Como se mencionó anteriormente, para la obtención de energía a partir de los residuos sólidos urbanos se aplican diferentes tecnologías como lo son los procesos biológicos que se basan en el rendimiento de la actividad microbiana, la cuales a través de su metabolismo transforman la materia orgánica en productos combustibles como el gas metano, el hidrógeno y los biocombustibles (Adams *et al.*, 2018). Entre los principales procesos biológicos se encuentra la fermentación o digestión aeróbica y la digestión anaeróbica. En la **tabla 1** se realiza la descripción conceptual de cada una de las tecnologías.

**Tabla 1.** Procesos biológicos

Proceso biológico	Concepto
Digestión aerobia	La digestión aeróbica ocurre en presencia de oxígeno, en este proceso las bacterias consumen materia orgánica con oxígeno y la convierten en dióxido de carbono y metano (Rafieenia <i>et al.</i> , 2017).
Digestión anaerobia	La digestión anaerobia es el proceso de descomposición de la materia orgánica a través de microorganismos en ausencia de oxígeno y como producto se obtiene un gas combustible (Lohani y Havukainen, 2018), este proceso involucra cuatro etapas: hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis (Sabiani y Tajarudin, 2021).

**Nota:** elaboración de los autores.

En el caso presentado por Mouftahi *et al.* (2021), se propone la conversión energética a partir del proceso de digestión anaerobia como una solución a los problemas en la demanda de energía en la región de Tunicia (sur de Túnez), siendo un punto de partida para la formulación de estrategias

de valorización y aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos.

Implementar el proceso de valorización energética de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos en el relleno sanitario Doña Juna trae consigo grandes beneficios como: la posibilidad de sustituir

los combustibles fósiles por alternativas renovables, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, el confort de las poblaciones cercanas (Romero Bonilla *et al.*, 2020), además de generar oportunidades de emprendimiento económicamente viables a partir de la cadena de valor (Charles, 2022). Para llevar a cabo el proceso de valorización se debe iniciar con el manejo óptimo de los residuos. Ferronato *et al.* (2017) mencionan que en el manejo de los residuos se debe tener en cuenta de la formación de políticas públicas confiables, que incluyan principios de reciclaje y facilidades tecnológicas.

### Conclusiones

Los residuos sólidos urbanos son un factor contaminante con repercusiones en el ambiente y en la salud debido a la falta de manejos adecuados y de almacenamiento constante en los rellenos sanitarios, lo que pone en riesgo a las poblaciones cercanas, los suelos, las fuentes hídricas y la atmósfera, siendo necesarias acciones sostenibles para lo cual se deben viabilizar el aprovechamiento energético de los residuos sólidos urbanos como respuesta a propiedades importantes como su potencial energético y calorífico de la fracción orgánica.

Otro de los puntos importantes evaluados por la presente investigación se relaciona con el análisis bibliográfico realizado, en él se evidenció que América Latina no cuenta con el manejo óptimo de los residuos, por lo que se deben implementar estrategias que contrarresten los daños negativos ante la creciente cantidad de desechos.

Los mecanismos de valorización energética a partir de los residuos sólidos urbanos son esenciales para el funcionamiento y manejo de los desechos generados en el relleno sanitario Doña Juana. Estas estrategias de valorización energética traen consigo la sustitución de energías fósiles con energía limpias y sostenibles para disminuir los impactos ambientales que estos generan mediante la reducción de emisiones de los gases de efecto invernadero gracias a la recuperación de energía en forma de calor, electricidad o distintos combustibles alternativos, como lo es el biogás. Así mismo, el vapor que se genera en el tratamiento térmico es capaz de alimentar distintos generadores de energía o turbinas para la producción de electricidad para ser suministrada a las redes eléctricas en procesos de producción o intercambiadores de calor para procesos químicos.

Surge entonces una gran oportunidad de mejora en la transformación energética de Colombia para que los residuos sólidos urbanos sean aprovechados en la obtención de energía por procesos biológicos y termodinámicos, generando no solo la valorización de estos desechos sino también la disminución de los impactos socioambientales que trae consigo su acumulación sin un tratamiento previo.

### Referencias

Adams, P., Bridgwater, T., Lea-Langton, A., Ross, A. and Watson, I. (2018). Biomass conversion technologies. In P. Thornley and T. Adams (Eds.), *Greenhouse gas balances of bioenergy*

- systems (pp. 107-139). Academic Press. <https://lc.cx/Bue5zR>.
- Ayilara, M., Olanrewaju, O., Babalola, O. and Odeyemi, O. (2020). Waste Management through Composting: Challenges and Potentials. *Sustainability*, 12(11), 44-56. <https://doi.org/10.3390/su12114456>.
- Babu, R., Prieto Veramendi, P. and Rene, E. (2021). Strategies for resource recovery from the organic fraction of municipal solid waste. *Chemical and Environmental Engineering*, 3. <https://doi.org/10.1016/j.csee.2021.100098>.
- Bashir, M. J., Ng, C. A., Sethupathi, S. and Lim, J. (2019). Assessment of the Environmental, Technical and Economic Issues Associated with Energy Recovery from Municipal Solid Waste in Malaysia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 268, 1-6. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/268/1/012044/meta>.
- Camacho Céspedes, F. (2019). Biofertilización orgánica de almácigos de café (*Coffea arabica* L.) con compost producido a partir de residuos biomásicos locales, microorganismos de montaña y lodos digeridos de biodigestor en la región de Monteverde, Costa Rica.
- Campitelli, A., Kannengießer, J. and Schebek, L. (2022). Approach to assess the performance of waste management systems towards a circular economy: waste management system development stage concept (WMS-DSC). *MethodsX*, 9, 1-15. <https://lc.cx/kclycy>.
- Charles, D. (2022). Addressing Climate Change and Waste Management Challenges Through the Development of the Waste-to-Energy Value Chain for Trinidad and Tobago. In T. Walker, S. Wendt, S. Goubran and T. Schwartz (Eds.), *Business and Policy Solutions to Climate Change. From Mitigation to Adaptation* (pp. 313-339). Palgrave Macmillan.
- Emalya, N., Mairiza, L., Bilqis, P. Z., Suhendrayatna, S., Munawar, E. and Yunardi, Y. (2022). Removal of Organic and Nitrogen Compounds from Domestic Landfill Leachate by Microalgae. *Biointerface Research in Applied Chemistry*, 13(2), 1-11. <https://doi.org/10.33263/BRIAC132.131>.
- Fayomi, G. U., Mini, S. E., Fayomi, O. S., Owodolu, T., Ayoola, A. A. and Wusu, O. (2019). A Mini Review on the Impact of Sewage Disposal on Environment and Ecosystem. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 331, 1-6. doi: 10.1088/1755-1315/331/1/012040.
- Ferronato, N., D'Avino, C., Ragazzi, M., Torretta, V. and De Feo, G. (2017). Social surveys about solid waste management within higher education institutes: A comparison. *Sustainability*, 9(3). <https://doi.org/10.3390/su9030391>.
- Ferronato, N., Portugal Alarcón, G., Guisbert Lizarazu, E. and Torretta, V. (2021). Assessment of municipal solid waste

- collection in Bolivia: Perspectives for avoiding uncontrolled disposal and boosting waste recycling options. *Resources, Conservation and Recycling*, 167. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105234>.
- Ferronato, N. and Torretta, V. (2019). Waste mismanagement in developing countries: A review of global issues. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(6). <https://doi.org/10.3390/ijerph16061060>.
- Filho, D. A., de Oliveira, L. R., Penteadó, M., Nagel Schirmer, W., Sobrinho, M. A. and Jucá, J. F. (2020). Energy sustainability of supply centers from the codigestion of organic waste. *Detritus*, 9, 79-82. doi:10.31025/2611-4135/2020.13901.
- Filho, D., Coelho, S. and Perecin, D. (2022). Opportunities and Challenges of Gasification of Municipal Solid Waste (MSW) in Brazil. *Energies*, 15(8), 27-35. <https://doi.org/10.3390/en15082735>.
- Ghosh, A., Debnath, B., Ghosh, S. K., Das, B. and Sarkar, J. P. (2018). Sustainability analysis of organic fraction of municipal solid waste conversion techniques for efficient resource recovery in India through case studies. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 20(4), 1969-1985. <https://doi.org/10.1007/s10163-018-0721-x>.
- Gonçalves, A. T., Moraes, F., Marques, G., Lima, J. and Lima, R. (2018). Urban solid waste challenges in the BRICS countries: A systematic literature review. *Ambiente e Água*, 13(2), 1-20. <https://doi.org/10.4136/ambiente.2157>.
- González-Vázquez, M. P., García, R., Gil, M., Pevida, C. and Rubiera, F. (2018). Comparison of the gasification performance of multiple biomass types in a bubbling fluidized bed. *Energy Conversion and Management*, 176, 309-323. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.05.015>.
- Gutiérrez, A. (6 de febrero de 2018). Algo huele mal en Doña Juana, y no solo es la basura. *Concejo de Bogotá*. <https://www.concejo.gov.co/n9.cl/k2zyj>.
- Heidari, M., Garnaik, P. P. and Dutta, A. (2018). The valorization of plastic via thermal means: Industrial scale combustion methods. In S. Al-Salem (Ed.), *Plastics to Energy: Fuel, Chemicals, and Sustainability Implications* (pp. 295-312). William Andrew. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813140-4.00011-X>.
- Hettiarachchi, H., Meegoda, J. N. and Ryu, S. (2018). Organic Waste Buyback as a Viable Method to Enhance Sustainable Municipal Solid Waste Management in Developing Countries. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(11). <https://doi.org/10.3390/ijerph15112483>.
- Hettiarachchi, H., Ryu, S., Caucci, S. and Silva, R. (2018). Municipal Solid Waste

- Management in Latin America and the Caribbean: Issues and Potential Solutions from the Governance Perspective. *Recycling*, 3(2). <https://lc.cx/-zpTcc>.
- Hossain, M. S., Karim, T., Onik, M. H., Kumar, D., Rahman, A., Yousuf, A. and Rakib, M. (2022). Impact of temperature, inoculum flow pattern, inoculum type, and their ratio on dry anaerobic digestion for biogas production. *Scientific Reports*, 12. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-10025-1>.
- Iravanian, A. and Ravari, S. O. (2020). Types of Contamination in Landfills and Effects on The Environment: A Review Study. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 614. doi: 10.1088/1755-1315/614/1/012083.
- Khasawneh, Y. A. and Zhang, Y. (25-28 February 2020). *Numerical Analysis of a Municipal Solid Waste Slope Failure* [Conference]. Geo-Congress 2020: Engineering, Monitoring, and Management of Geotechnical Infrastructure, Minnesota, United States. doi: 10.1061/9780784482797.014.
- Lee, S. Y., Alam, T., Han, G. H., Choi, D. H. and Park, S. W. (2020). Gasification Applicability of Korean Municipal Waste Derived Solid Fuel: A Comparative Study. *Processes*, 8(11), 1-15. <https://doi.org/10.3390/pr8111375>.
- Lohani, S. P. and Havukainen, J. (2018). Anaerobic digestion: Factors affecting anaerobic digestion process. In S. Varjani, E. Gnansounou, B. Gurunathan, D. Pant and Z. Zakaria (Eds.), *Waste Bioremediation. Energy, Environment, and Sustainability* (pp. 343-359). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-981-10-7413-4\\_18](https://doi.org/10.1007/978-981-10-7413-4_18).
- López, F., Maca, K. and Gordillo, L. (2017). More than garbage at the Doña Juana Landfill. *Tekhnê*, 14(2), 23-42. <https://lc.cx/qzOcky>.
- Lu, J.-S., Chang, Y., Poon, C.-S. and Lee, D.-J. (2020). Slow pyrolysis of municipal solid waste (MSW): A review. *Bioresource Technology*, 312. doi: 10.1016/j.biortech.2020.123615.
- Malinauskaite, J., Jouhara, H., Czajczyńska, D., Stanchev, P., Katsou, E., Rostkowski, P., Thorne, R. J., Colón, J., Ponsá, S., Al-Mansour, F., Anguilano, L., Krzyżyńska, R., López, I. C., Vlasopoulos, A. and Spencer, N. (2017). Municipal solid waste management and waste-to-energy in the context of a circular economy and energy recycling in Europe. *Energy*, 141, 2013-2044. <https://lc.cx/lHf9AJ>.
- Meena, M. D., Yadav, R. K., Narjary, B., Yadav, G., Jat, H. S., Sheoran, P., Meena, M. K., Antil, R. S., Meena, B. L., Singh, H. V., Singh Meena, V., Rai, P. K., Ghosh, A. and Moharana, P. C. (2019). Municipal solid waste (MSW): Strategies to improve salt affected soil sustainability: A review. *Waste Management*, 84, 38-53. doi:10.1016/j.wasman.2018.11.020.

- Mishra, R. K. and Mohanty, K. (2020). Co-pyrolysis of waste biomass and waste plastics (polystyrene and waste nitrile gloves) into renewable fuel and value-added chemicals. *Carbon Resources Conversion*, 3, 145-155. <https://lc.cx/HOCHjj>.
- Montes Cortés, C. (19 de febrero de 2019). Relleno sanitario Doña Juana ¿una solución llena de problemas? *Blog Departamento de Derecho del Medio Ambiente*. <https://lc.cx/Qkyhv8>.
- Montiel-Bohórquez, N. y Pérez, J. (2019). Generación de energía a partir de residuos sólidos urbanos. Estrategias termodinámicas para optimizar el desempeño de centrales térmicas. *Información Tecnológica*, 30(1), 273-284. <https://lc.cx/9vpWvO>.
- Mouftahi, M., Tlili, N., Hidouri, N., Bartocci, P., Al bkoor Alrawashdeh, K., Gul, E., Libert, F. and Fantozzi, F. (2021). Biomethanation Potential (BMP) Study of Mesophilic Anaerobic Co-Digestion of Abundant Bio-Wastes in Southern Regions of Tunisia. *Processes*, 9(1). <https://doi.org/10.3390/pr9010048>.
- Muhammad, Bacha, M. and Shah, S. A. (2020). Urban farmers willingness to pay for organic fertilizer in District Mardan, Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan. *Sarhad Journal of Agriculture*, 36(2), 419-426. <http://dx.doi.org/10.17582/journal.sja/2020/36.2.419.426>.
- Mukherjee, C., Denney, J., Mbonimpa, E. G., Slagley, J. and Bhowmik, R. (2020). A review on municipal solid waste-to-energy trends in the USA. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 119, 1-48. doi:10.1016/j.rser.2019.109512.
- Nanda, M. A., Wijayanto, A. K., Imantho, H., Nelwan, L. O., Budiastara, I. W. and Seminar, K. B. (2022). Factors Determining Suitable Landfill Sites for Energy Generation from Municipal Solid Waste: A Case Study of Jabodetabek Area, Indonesia. *Scientific World Journal*, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/9184786>.
- Observatorio Ambiental de Bogotá. (8 de marzo de 2022). *Relleno Doña Juana recibió casi 3 millones de toneladas de residuos en 2021*. <https://n9.cl/50lef>.
- Ossa, D. A., Aristizábal, A. J. and Ospina, D. (2020). Comprehensive Analysis of Solid Waste for Energy Projects in Colombia. *Engineering Journal*, 24(1), 35-52. doi:10.4186/ej.2020.24.1.35.
- Pivato, A., Raga, R., Marzorati, S., Cerminara, G., Lavagnolo, M. C. and Schievano, A. (2021). Mitigating long-term emissions of landfill aftercare: Preliminary results from experiments combining microbial electrochemical technologies and aeration. *Waste Management and Research*, 40(5), 596-606. doi:10.1177/0734242x20983895.
- Radwan, N., Khan, N. A. and Elmanfaloty, R. A. (2021). Optimization of solid waste collection using RSM approach, and strategies delivering sustainable development goals (SDG's) in Jeddah,

- Saudi Arabia. *Scientific Reports*, 11. <https://c.cx/U8wI5P>.
- Rafeenia, R., Giroto, F., Peng, W., Cossu, R., Pivato, A., Raga, R. and Lavagnolo, M. C. (2017). Effect of aerobic pre-treatment on hydrogen and methane production in a two-stage anaerobic digestion process using food waste with different compositions. *Waste Management*, 59, 194-199. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.10.028>.
- Romero Bonilla, H., Vega, C., Feijoó, V., Villacreses, D., Pesantez, F. and Olivera, L. (2020). Methane gas generation through the anaerobian codigestion of urban solid waste and biomass. *Energy Reports*, 6(8), 430-436. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2020.11.217>.
- Sabiani, N. H. and Tajarudin, H. A. (2021). Biogas harvesting from anaerobically digested food waste: A review. *Applied Ecology and Environmental Research*, 19(6), 4795-4847. [http://dx.doi.org/10.15666/aeer/1906\\_47954847](http://dx.doi.org/10.15666/aeer/1906_47954847).
- Shkileva, A. (2021). Implementation of a degassing system at the msw landfill. *Civil Engineering Journal*, 7(6), 1008-1014. doi: 10.28991/cej-2021-03091706.
- Sipra, A. T., Gao, N. and Sarwar, H. (2018). Municipal solid waste (MSW) pyrolysis for bio-fuel production: A review of effects of MSW components and catalysts. *Fuel Processing Technology*, 175, 131-147.
- Trinh, L. T., Hu, A. H. and Pham Phu, S. T. (2021). Situation, challenges, and solutions of policy implementation on municipal waste management in Vietnam toward sustainability. *Sustainability*, 13(6). <https://doi.org/10.3390/su13063517>.
- Usmani, Z., Kumar, V., Varjani, S., Gupta, P., Rani, R. and Chandra, A. (2020). Municipal solid waste to clean energy system: A contribution toward sustainable development. In S. Varjani, A. Pandey, E. Gnansounou, S. Kumar and S. Raveendran (Eds.), *Current Developments in Biotechnology and Bioengineering: Resource Recovery from Wastes* (pp. 217-231). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64321-6.00011-2>.
- Vongdala, N., Tran, H.-D., Xuan, T. D., Teschke, R. and Khanh, T. D. (2019). Heavy metal accumulation in water, soil, and plants of municipal solid waste landfill in Vientiane, Laos. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16. <https://doi.org/10.3390/ijerph16010022>.
- Zambezi, F. M., Muisa-Zikali, N. and Utete, B. (2021). Effectiveness of community participation as anti-litter monitors in solid waste management in metropolitan areas in a developing country. *Environment, Development and Sustainability*, 23(1), 747-764. <https://doi.org/10.1007/s10668-020-00606-3>.