

Valorización Energética de Residuos Sólidos Urbanos: Estudio Comparativo entre Managua y Ciudad Sandino Nicaragua bajo un Enfoque de Economía Circular

Energetic Valorization of Urban Solid Waste Comparative Study between Managua and Ciudad Sandino Nicaragua under a Circular Economy Approach

Juan José Zelaya Zeledon¹

¹Regente Forestal | Investigador Independiente, juanjosezelaya2794@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0003-1475-7995>, Nicaragua

Información del Artículo

Trazabilidad:

Recibido 06-08-2025

Revisado 07-08-2025

Aceptado 01-09-2025

Palabras Clave:

Residuos sólidos urbanos

Valorización energética

Economía circular

Gasificación

Keywords:

Municipal solid waste

Energy recovery

Circular economy

Gasification

RESUMEN

Este artículo analiza la viabilidad técnica, ambiental y social de la valorización energética de residuos sólidos urbanos (RSU) en Nicaragua, centrándose en los casos de Managua y Ciudad Sandino. A partir de estudios de prefactibilidad realizados entre 2014 y 2015, y documentos de perfil de proyecto, se examina el potencial de aprovechamiento de llantas en desuso y RSU mediante tecnologías de gasificación. Se considera un enfoque de economía circular, con el propósito de disminuir la presión sobre los vertederos, mitigar el impacto ambiental y generar energía limpia. Se identifican las características de los residuos, la infraestructura disponible, y los beneficios esperados como generación de empleo, ahorro municipal y reducción de emisiones. Los resultados muestran que, pese a limitaciones legislativas y financieras, ambas ciudades presentan condiciones viables para la implementación de plantas de valorización energética con impacto positivo en el desarrollo sostenible.

ABSTRACT

This article analyzes the technical, environmental and social feasibility of energy recovery from municipal solid waste (MSW) in Nicaragua, focusing on the cases of Managua and Ciudad Sandino. Based on pre-feasibility studies conducted between 2014 and 2015, and project profile documents, the potential for the utilization of scrap tires and MSW through gasification technologies is examined. A circular economic approach is considered, with the purpose of reducing pressure on landfills, mitigating environmental impact and generating clean energy. Waste characteristics, available infrastructure, and expected benefits such as employment generation, municipal savings and emissions reduction are identified. The results show that, despite legislative and financial limitations, both cities present viable conditions for the implementation of energy recovery plants with a positive impact on sustainable development.

INTRODUCCIÓN

La creciente urbanización, los patrones de consumo insostenibles y la limitada infraestructura de gestión ambiental han convertido el manejo de residuos sólidos urbanos (RSU) en uno de los retos más complejos de las ciudades latinoamericanas. En particular, Nicaragua enfrenta una situación crítica: la cobertura de recolección de residuos varía ampliamente entre municipios y, en muchos casos, la disposición final se realiza en vertederos a cielo abierto sin tratamiento adecuado (PNUD, 2023). Esta situación no solo contribuye a la contaminación del suelo, aire y cuerpos de agua, sino que también

incrementa la incidencia de enfermedades transmitidas por vectores y pone en riesgo la salud pública.

En el municipio de Ciudad Sandino, por ejemplo, se estima una producción de 134 toneladas diarias de residuos, de las cuales entre el 20% y el 25% no se recolecta de forma sistemática (Espinoza-Parra, 2020). Este rezago en la gestión provoca la proliferación de microvertederos, emisiones de gases contaminantes por la quema informal, y lixiviados que afectan gravemente al manto acuífero subterráneo —considerado uno de los más importantes de Centroamérica— así como a las plantaciones de maní en áreas rurales aledañas (SAEE Nicaragua, 2015). En Managua, por su parte, la situación es aún más alarmante: para 2015 se reportaban más de 1130 toneladas diarias de residuos generados (Zelaya & Espinoza, 2015), con al menos 28 toneladas correspondientes a neumáticos fuera de uso (NFU), los cuales representan un grave riesgo ambiental si no son tratados adecuadamente (Sagel & Campos, 2025).

En este contexto, la valorización energética de los residuos sólidos aparece como una alternativa estratégica con alto potencial de impacto. Se trata de un proceso mediante el cual los residuos se transforman en energía térmica, eléctrica o combustibles, utilizando tecnologías como la incineración controlada, el pirólisis o la gasificación. Este enfoque es respaldado por la economía circular, que busca extender el ciclo de vida de los materiales y reducir al mínimo la generación de desechos mediante su reintegración como recursos productivos (Ghisellini et al., 2016). La valorización energética no solo ofrece una solución al problema del exceso de residuos, sino que también contribuye a diversificar la matriz energética nacional, reducir la dependencia de combustibles fósiles y generar empleos verdes en los sectores de reciclaje y energía (Herrera-Castrillo & Corrales, 2025).

En Nicaragua, el marco jurídico vigente reconoce esta posibilidad. La Ley No. 217, “Ley General del Medio Ambiente y los Recursos Naturales”, establece que los gobiernos municipales tienen la responsabilidad de recolectar, tratar y disponer de los residuos sólidos, observando criterios técnicos, sanitarios y ambientales (Asamblea Nacional, 1996). Asimismo, la Ley No. 532, “Ley para la Promoción de la Generación Eléctrica con Fuentes Renovables”, incluye explícitamente a los residuos sólidos como fuente de energía renovable (art. 2, inciso e), lo que habilita su aprovechamiento energético dentro de un marco normativo favorable.

A pesar de estas disposiciones legales, la implementación de proyectos de valorización energética en Nicaragua ha sido escasa y en muchos casos ha quedado relegada a la fase de estudios o perfiles de proyecto. Entre los años 2014 y 2015, la empresa SAEE Nicaragua S.A. elaboró dos estudios de prefactibilidad para la instalación de plantas de valorización energética en Managua y Ciudad Sandino, con base en tecnologías de gasificación que permiten transformar RSU y NFU en energía eléctrica sin emisiones nocivas al ambiente. Estos estudios incluyeron análisis técnicos, territoriales y sociales que evidencian el potencial de ambas localidades para asumir un proceso de transición energética localmente gestionado (SAEE Nicaragua, 2015a; 2015b).

Sin embargo, las propuestas no se concretaron por razones que van desde la falta de articulación institucional y normativa, hasta la ausencia de mecanismos de financiamiento verde o alianzas público-privadas robustas. Esta realidad subraya la necesidad de retomar estas experiencias como casos de estudio que permitan reflexionar sobre los cuellos de botella, pero también sobre las oportunidades de replicabilidad en otros municipios.

El presente artículo tiene como objetivo analizar comparativamente los estudios de valorización energética desarrollados en Managua y Ciudad Sandino, a fin de evaluar su viabilidad técnica, social y ambiental dentro de un enfoque de economía circular. La metodología parte del análisis documental de estudios técnicos, marcos legales y datos

sociodemográficos, con el fin de identificar las condiciones necesarias para reactivar estas propuestas desde una perspectiva sostenible e integradora. Se espera que los hallazgos sirvan de base para la formulación de políticas públicas, la toma de decisiones estratégicas y la promoción de alianzas entre actores clave del desarrollo territorial.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio adopta un enfoque cualitativo-descriptivo, de carácter no experimental, sustentado en el análisis documental de fuentes primarias y secundarias vinculadas con la gestión de residuos sólidos urbanos (RSU) en Nicaragua. El objetivo central fue examinar la viabilidad técnica, ambiental, social y legal de dos propuestas de valorización energética desarrolladas entre los años 2010 y 2015 en los municipios de Managua y Ciudad Sandino, con base en tecnologías de gasificación.

Tipo de Estudio y Diseño Metodológico

Se trata de un estudio de caso comparativo (Yin, 2018), el cual permite analizar a profundidad fenómenos complejos en contextos reales, a partir del examen sistemático de múltiples fuentes de evidencia. En este caso, los estudios y perfiles de proyectos elaborados por la empresa SAEE Nicaragua S.A. fueron el núcleo del corpus analizado, complementados por información sociodemográfica, legal y técnica relevante.

Fuentes de Información y Criterios de Selección

El corpus documental estuvo compuesto por seis documentos clave:

1. Monografía académica (2010): defensa de bachillerato titulada "*Causas, consecuencias y enfermedades provocadas por el mal manejo de residuos sólidos*", con énfasis en el contexto urbano de Estelí.
2. Estudios de prefactibilidad:
 - *Estudio de Prefactibilidad de Valorización Energética de RSU en Ciudad Sandino* (SAEE Nicaragua, 2015a).
 - *Estudio de Prefactibilidad de Valorización de Neumáticos en Desuso en Managua* (Zelaya & Espinoza, 2015).
3. Perfiles de proyecto:
 - *Perfil del Proyecto de Instalación de Planta de Valorización Energética a través de RSU en Ciudad Sandino* (SAEE Nicaragua, 2015b).
 - *Perfil del Proyecto de Valorización Energética de Llantas Desechadas en Managua* (SAEE Nicaragua, 2015c).
4. Documentos legales nacionales: leyes ambientales y energéticas, como la Ley No. 217 y la Ley No. 532.

Estos documentos fueron seleccionados por su relevancia directa con el fenómeno de estudio y su valor técnico, normativo y contextual. Se consideraron como válidos en términos metodológicos por haber sido elaborados bajo criterios de consultoría técnica profesional, con inclusión de mapas, caracterización de residuos, datos estadísticos, y propuestas de solución con estimaciones de capacidad energética y proyecciones socioeconómicas.

Técnicas de Análisis

Se utilizó el método de análisis de contenido temático Krippendorff (2018) que permitió identificar categorías emergentes relacionadas con:

- Generación y caracterización de residuos.
- Tipo de tecnología propuesta.
- Impacto ambiental proyectado.
- Viabilidad técnica y operativa.
- Sostenibilidad financiera y social.
- Enfoque de economía circular.
- Barreras normativas e institucionales.

Posteriormente, se elaboró una matriz comparativa entre ambos estudios de caso (Managua y Ciudad Sandino), para contrastar similitudes, diferencias y oportunidades de replicabilidad a nivel nacional.

Consideraciones Éticas

Dado que este estudio se fundamenta en análisis de documentos públicos y no involucra la intervención directa con personas, no se requirió aprobación por un comité de ética. No obstante, se respetaron los principios de integridad académica, atribuyendo correctamente las fuentes, evitando sesgos interpretativos y considerando la confidencialidad de los datos institucionales disponibles.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis comparativo entre los estudios de valorización energética en los municipios de Managua y Ciudad Sandino revela diferencias significativas en cuanto a la magnitud del problema, la capacidad instalada proyectada, y el impacto potencial en el entorno urbano y ambiental.

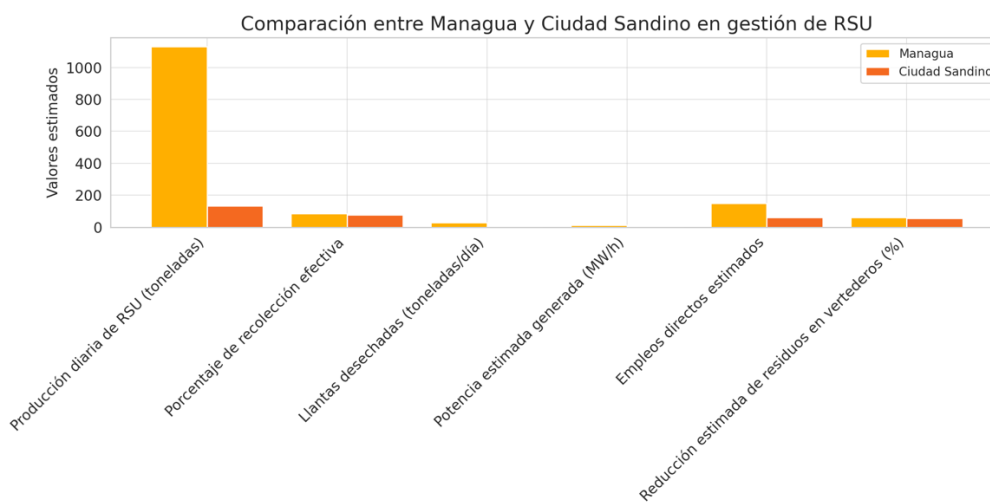


Fig. 1: Comparativa Managua Vs Ciudad Sandino

Producción de Residuos y Potencial de Aprovechamiento

En términos de producción diaria de residuos sólidos urbanos (RSU), Managua genera aproximadamente 1132.17 toneladas diarias, mientras que Ciudad Sandino produce alrededor de 134 toneladas. Estas cifras reflejan no solo una diferencia poblacional significativa, sino también las necesidades diferenciadas en términos de infraestructura de tratamiento y disposición final.

Además, Managua genera 28 toneladas diarias de neumáticos fuera de uso (NFU), los cuales presentan un alto poder calorífico y son particularmente adecuados para procesos de gasificación energética (SAEE Nicaragua, 2015c). En contraste, Ciudad Sandino aporta un volumen estimado de 5 toneladas de NFU por día, lo cual también resulta relevante dentro de su escala municipal.

Cobertura de Recolección y Gestión Actual

La cobertura de recolección efectiva es ligeramente superior en Managua (85%) en comparación con Ciudad Sandino (77%). No obstante, ambas ciudades enfrentan problemas comunes, como la saturación de los vertederos, la quema informal de desechos y la disposición final inadecuada, lo cual genera impactos directos en la salud pública y el medio ambiente (Espinosa-Parra, 2020).

Capacidad Energética Proyectada

En términos de producción energética estimada, el estudio para Managua proyecta una capacidad de generación de 11 MW/h, mientras que Ciudad Sandino podría alcanzar los 3.5 MW/h. Estos niveles son significativos si se considera que una planta de valorización energética no solo permite la autosuficiencia energética de los servicios públicos locales (alumbrado, bombeo, etc.), sino también la venta de excedentes al sistema interconectado nacional (SAEE Nicaragua, 2015a).

Impacto Social y Económico

Uno de los aspectos más destacables es el impacto positivo esperado en el empleo. En Managua se estima la creación de 150 empleos directos, y en Ciudad Sandino al menos 60, entre operarios, técnicos, recolectores formales e informales incorporados al sistema. Este factor contribuye no solo a la economía local, sino también a la formalización del trabajo en el sector de residuos, históricamente asociado a condiciones de vulnerabilidad (PNUD, 2023).

Reducción de Residuos y Economía Circular

La implementación de estas plantas permitiría reducir entre 55% y 60% de los residuos destinados a vertederos, lo cual representa un avance importante hacia un modelo de economía circular. Esto implica no solo la generación de energía, sino también la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, la minimización de lixiviados contaminantes, y el aprovechamiento de subproductos (ceniza, metales recuperables) para otros procesos industriales (Ghisellini et al., 2016).

Discusión Crítica

Aunque los estudios de prefactibilidad evidencian un alto potencial técnico y económico, los proyectos no llegaron a implementarse. Las razones incluyen la falta de aprobación de una ley específica de gestión de residuos (aún en discusión en la Asamblea Nacional), escasa articulación entre niveles de gobierno, y ausencia de financiamiento internacional con enfoque verde.

Sin embargo, en comparación con experiencias similares en países de la región como Colombia, México y Brasil, se puede afirmar que Nicaragua cuenta con las condiciones mínimas necesarias para desarrollar estas iniciativas si se crean incentivos adecuados, se actualiza el marco regulatorio y se fortalecen las capacidades municipales (Banco Mundial, 2021).

CONCLUSIÓN

El presente estudio comparativo entre los municipios de Managua y Ciudad Sandino permite afirmar que la valorización energética de residuos sólidos urbanos representa una alternativa técnica, social y ambientalmente viable para mejorar la gestión integral de los residuos en Nicaragua. A partir del análisis de estudios de prefactibilidad desarrollados en ambos territorios, se identificaron condiciones objetivas que respaldan la implementación de plantas de valorización a través de tecnologías limpias como la gasificación, especialmente en lo que respecta al volumen de residuos generados, la disponibilidad de terrenos, y la necesidad urgente de reducir la presión sobre los vertederos existentes.

En el caso de Managua, con una generación superior a las 1100 toneladas diarias de RSU y una alta producción de neumáticos fuera de uso, el proyecto permitiría transformar hasta 11 MW/h en energía, reducir en un 60% los residuos enviados a rellenos y generar empleos dignos para más de 150 personas. Ciudad Sandino, a menor escala, presenta un potencial igualmente significativo: 3.5 MW/h estimados de capacidad instalada, 60 empleos directos y una reducción del 55% de los residuos sólidos actualmente dispuestos a cielo abierto.

Además, se evidencia que estos proyectos se alinean con los principios de la economía circular y la transición energética, al promover la transformación de desechos en recursos, la eficiencia energética y la reducción de emisiones contaminantes. Sin embargo, también se constataron limitaciones estructurales que obstaculizan su ejecución, entre ellas la falta de una legislación específica sobre valorización energética, la limitada capacidad de gestión municipal, y la ausencia de financiamiento verde que permita su sostenibilidad financiera.

Por tanto, se concluye que:

- Nicaragua cuenta con una base técnica y social adecuada para implementar proyectos de valorización energética de RSU a nivel municipal.
- Es urgente actualizar el marco normativo nacional para incluir regulaciones específicas sobre residuos valorizables y promover incentivos para la inversión en tecnologías limpias.
- Se requiere fortalecer las capacidades institucionales de los gobiernos locales y facilitar procesos de articulación con el sector privado y organismos de cooperación internacional.
- Las experiencias documentadas pueden servir como modelo replicable en otros municipios del país con características similares, siempre que se garantice la participación comunitaria, el respeto a los principios ambientales y la inclusión socioeconómica de los trabajadores informales del reciclaje.

Finalmente, se hace un llamado a las autoridades municipales, organismos estatales y actores del desarrollo a retomar estas iniciativas desde un enfoque multisectorial, estratégico y sostenible, como parte integral de las políticas de adaptación al cambio climático y desarrollo territorial inclusivo.

REFERENCIAS

- Asamblea Nacional. (1996). Ley No. 217: Ley General del Medio Ambiente y los Recursos Naturales. La Gaceta, Diario Oficial. Recuperado de <https://legislacion.asamblea.gob.ni>
- Banco Mundial. (2021). What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. Washington, DC: International Bank for Reconstruction and Development. <https://datatopics.worldbank.org/what-a-waste/>
- Espinosa-Parra, M. (2020). El caso de Ciudad Sandino, Nicaragua. Women in Informal Employment: Globalizing and Organizing (WIEGO). Recuperado de https://www.wiego.org/sites/default/files/resources/file/WIEGO_Waste_Pickers_Ciudad_Sandino.pdf
- Ghisellini, P., Cialani, C., & Ulgiati, S. (2016). A review on circular economy: The expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner Production*, 114, 11–32. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.007>
- Herrera Castrillo, C. J., & Corrales Morales, J. V. . (2025). Revisión Bibliográfica sobre derechos de autor y patentes en Nicaragua: Marco legal, aplicaciones y desafíos actuales. *Revista Latinoamericana De Calidad Educativa*, 2(1), 331-342. <https://doi.org/10.70625/rlce/122>
- Krippendorff, K. (2018). *Content analysis: An introduction to its methodology* (4.^a ed.). Thousand Oaks, CA: SAGE Publications.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). (2023). ¿Qué es la economía circular y cómo ayuda a combatir el cambio climático? Recuperado de <https://climatepromise.undp.org/es/news-and-stories/que-es-la-economia-circular-y-como-ayuda-a-combatir-el-cambio-climatico>
- SAEE Nicaragua. (2015a). Estudio de prefactibilidad de valorización energética de residuos sólidos urbanos en Ciudad Sandino. Managua, Nicaragua.
- SAEE Nicaragua. (2015b). Perfil del Proyecto de valorización energética de RSU en Ciudad Sandino. Managua, Nicaragua.
- SAEE Nicaragua. (2015c). Perfil del Proyecto de valorización energética de llantas desechadas en Managua. Managua, Nicaragua.
- Sagel González, O. C., & Campos Pinto, H. (2025). Análisis de las dinámicas regionales: caso de las transformaciones económicas en Puerto Vidal, Panamá. *Revista Latinoamericana De Calidad Educativa*, 2(1), 365-370. <https://doi.org/10.70625/rlce/97>
- Yin, R. K. (2018). *Case Study Research and Applications: Design and Methods* (6.^a ed.). Los Angeles, CA: SAGE Publications.
- Zelaya, J. J., & Espinoza, O. (2015). Estudio de prefactibilidad de valorización de neumáticos en desuso en la ciudad de Managua. Managua: SAEE Nicaragua.