

BIOMASA AMAZÓNICA: TRANSFORMANDO RESIDUOS EN ENERGÍA LIMPIA

AMAZONIAN BIOMASS: TRANSFORMING WASTE INTO CLEAN ENERGY



¹Daynner David González Villarreal, ²Camila Andrea Segura Ocampo

1,2 Universidad Nacional Abierta y a Distancia

Cómo citar: Segura Ocampo, C., & Gonzalez Villarreal, D. D. . (2025). Biomasa amazónica: Transformando Residuos en Energía Limpia. Publicaciones E Investigación, 19(3). <https://doi.org/10.22490/25394088.10390>

Recibido 10 junio, aprobado 15 julio 2025

RESUMEN

El presente artículo de revisión de la literatura busca descubrir el potencial de la biomasa amazónica como fuente de energía limpia en un contexto caracterizado por la dependencia de combustibles fósiles y la escasa infraestructura de energías renovables en la Amazonía. Para ello, se realizó una búsqueda sistemática en bases de datos académicas utilizando una ecuación de búsqueda adecuada que permitió identificar más de 50 referencias bibliográficas. La metodología aplicada para la revisión de la literatura incluyó la extracción, lectura y análisis crítico de artículos científicos, libros y documentos técnicos, y la confrontación de diversas posturas teóricas para obtener los argumentos más sólidos sobre la evolución de los marcos teóricos en torno a la biomasa y su aprovechamiento energético. Los resultados más relevantes evidenciaron un conjunto de patrones y tendencias en el uso de la biomasa amazónica y, en consecuencia, ventajas para la generación de energía sostenible, pero también problemáticas existentes, ya que el uso de biomasa puede propiciar la deforestación y la ausencia de políticas públicas. Asimismo, se identificaron conceptos vinculados a la gestión de procesos y la optimización de recursos como elementos clave para el desarrollo de proyectos de ingeniería industrial. La magnitud e importancia de los resultados radican en que constituyen una guía hacia un modelo energético más limpio y sostenible.

Palabras clave: biomasa amazónica; energía limpia; energía renovable; sostenibilidad; análisis comparativo; ingeniería industrial.

¹ ddgonzalezv@unadvirtual.edu.co / <https://orcid.org/0009-0004-3859-4490>

² camila.segura@unad.edu.co / <https://orcid.org/0009-0002-6147-9265>

ABSTRACT

This literature review article aims to uncover the potential of Amazonian biomass as a source of clean energy within a context marked by a dependence on fossil fuels and limited renewable energy infrastructure in the Amazon region. To achieve this, a systematic search was conducted in academic databases using a well-structured search equation, which allowed the identification of more than 50 bibliographic sources. The methodology applied in this literature review involved the extraction, reading, and critical analysis of scientific articles, books, and technical documents. Different theoretical perspectives were contrasted to establish the most solid arguments regarding the evolution of theoretical frameworks around biomass and its energy use. The main findings revealed a set of patterns and trends in the use of Amazonian biomass, highlighting both opportunities for sustainable energy generation and existing challenges, such as the risk of deforestation and the lack of effective public policies. In addition, key concepts related to process management and resource optimization were identified as essential for the development of industrial engineering projects. The significance and relevance of these findings lie in their potential to guide a transition toward a cleaner and more sustainable energy model.

Keywords: Amazonian biomass; clean energy; sustainability; process management; renewable energy; resource optimization; sustainable development.



1. INTRODUCCIÓN

La transición hacia fuentes de energía renovable se ha vuelto prioritaria debido a la crisis climática global y al impacto ambiental negativo asociado al uso intensivo de combustibles fósiles (Demirbaş, 2001; Cerdá et al., 2012). En este contexto, la biomasa surge como una alternativa viable, especialmente en regiones con abundantes recursos naturales como la Amazonía. Esta región, que se extiende por nueve países sudamericanos, posee una gran disponibilidad de residuos orgánicos provenientes de la actividad agrícola, forestal y doméstica, lo que la convierte en un territorio estratégico para el desarrollo de la bioenergía (Cuervo y Guzmán, 2020).

Sin embargo, la falta de infraestructura adecuada, marcos regulatorios específicos y políticas públicas orientadas a la sostenibilidad energética ha limitado la

explotación de este recurso en países como Brasil, Perú y Colombia. En muchas comunidades amazónicas rurales, el acceso a la electricidad es limitado o inexistente, y más del 70 % de la energía consumida en la región sigue dependiendo de combustibles fósiles (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2022; García y Amaña, 2021). Esta situación evidencia una contradicción entre el potencial natural disponible y su bajo nivel de aprovechamiento.

El presente artículo de revisión bibliográfica analiza el aprovechamiento energético de la biomasa amazónica desde una perspectiva técnico-ambiental. Para ello, se abordan primero las generalidades sobre la biomasa como fuente de energía y, posteriormente, se examinan los enfoques teóricos y metodológicos aplicados a la

región amazónica. Se hace especial énfasis en los procesos de conversión, la gestión sostenible de recursos y su vinculación con la ingeniería industrial.

La estructura del artículo está diseñada para ofrecer una visión integral del problema. Se inicia con una contextualización global y regional sobre el panorama energético de la Amazonía, seguida por un marco teórico centrado en las características y beneficios ambientales de la biomasa. Posteriormente, se describe la metodología de revisión utilizada, basada en un proceso sistemático de búsqueda y análisis de más de 50 fuentes académicas. Finalmente, en los resultados y la discusión se sintetizan las principales tendencias, oportunidades y desafíos identificados, con el objetivo de contribuir al diseño de estrategias sostenibles y contextualizadas para el uso energético de la biomasa en esta región.

2. METODOLOGÍA

La presente investigación se desarrolló mediante una revisión bibliográfica sistemática centrada en el aprovechamiento energético de la biomasa amazónica. La búsqueda de información se llevó a cabo en bases de datos académicas de alto impacto, como Scopus, Web of Science y Google Scholar, utilizando una ecuación de búsqueda que combinó términos clave con operadores booleanos. Un ejemplo de la ecuación utilizada fue: (“biomasa amazónica” AND “energía renovable”) OR (“bioenergía” AND “Amazonía”) AND (“sostenibilidad” OR “optimización de recursos”). Esta estrategia permitió identificar estudios relevantes sobre la conversión de biomasa en energía, la sostenibilidad ambiental y la eficiencia de los procesos en contextos amazónicos.

Se establecieron criterios de inclusión que contemplaron:

- Publicaciones académicas revisadas por pares.
- Documentos publicados entre 2010 y 2024.
- Artículos disponibles en español, inglés o portugués.

- Estudios centrados en la región amazónica o en contextos tropicales comparables.

Como criterios de exclusión se consideraron:

- Fuentes sin respaldo académico.
- Estudios anteriores a 2010.
- Publicaciones con enfoque exclusivamente técnico sin vinculación al contexto social o ambiental.

La gestión de las referencias bibliográficas y el proceso de análisis se realizaron utilizando el software Mendeley, lo que facilitó la organización de los artículos, la detección de duplicados y la categorización temática.

El análisis de la información se enfocó en una lectura crítica y comparativa de los textos seleccionados. Se extrajeron datos relevantes sobre conceptos teóricos, metodologías empleadas, resultados, limitaciones y marcos regulatorios. El criterio de selección se basó en la rigurosidad académica y relevancia temporal, con el objetivo de identificar patrones comunes y tendencias emergentes.

El tratamiento de los datos fue de tipo cualitativo, con el fin de generar una síntesis comprensiva sobre las oportunidades y barreras en el uso de la biomasa amazónica como fuente de energía limpia. Además, se priorizó la identificación de vínculos entre el aprovechamiento energético, la gestión de procesos industriales y la contribución a la mitigación del cambio climático, aportando así un enfoque integral desde la ingeniería industrial y la sostenibilidad.

3. DESARROLLO

La redacción del presente artículo se fundamenta en la revisión y el análisis crítico de más de 50 referencias especializadas que incluyen artículos científicos, informes técnicos de organismos internacionales y estudios de caso locales. Este procedimiento permitió identificar y comparar diversos marcos teóricos,

enfoques metodológicos y aplicaciones prácticas de la biomasa en la generación de energía limpia. Asimismo, se realizó un mapeo temático para detectar las tendencias emergentes y las brechas de conocimiento sobre tecnologías como la pirólisis, la digestión anaerobia y la licuefacción hidrotermal. La confrontación de hallazgos provenientes de contextos tan diversos como la Amazonía, el sudeste asiático y proyectos piloto en África facilitó una visión integral de las fortalezas y limitaciones de cada enfoque. De este modo, se garantiza que las conclusiones y recomendaciones estén respaldadas por evidencia sólida y representen una contribución rigurosa al campo de la bioenergía.

3.1 Generalidades sobre la biomasa y su evolución conceptual

La biomasa es un recurso renovable que constituye toda la materia orgánica de origen vegetal o animal susceptible de utilizarse con fines energéticos, ya sea directamente o a través de procesos de conversión (Demirbaş, 2001). Entre las formas más recurrentes se encuentran los residuos agrícolas, forestales y agroindustriales, así como los cultivos energéticos. En el caso de la región amazónica, destacan subproductos como el bagazo de caña, residuos de palma aceitera, desechos madereros y restos de la actividad forestal sostenible (Cuervo y Guzmán, 2020).

Con el tiempo, el concepto de biomasa ha evolucionado desde un enfoque rudimentario basado en la combustión directa de leña hasta un modelo más sofisticado y tecnológicamente avanzado. Actualmente, la biomasa se considera una fuente de energía fundamental en el paradigma de la sostenibilidad y la economía circular, pues se integra en estrategias para reducir la dependencia de combustibles fósiles y mitigar el cambio climático (Leal Filho et al., 2019). Uno de sus principales atributos es la capacidad para captar dióxido de carbono (CO_2) durante su crecimiento, compensando en parte las emisiones derivadas de su combustión. Por ejemplo, ciertos cultivos energéticos pueden absorber al año entre 10 y 20 toneladas de CO_2 por hectárea, según la especie y las condiciones del entorno (IEA Bioenergy, 2022). Este balance

positivo de carbono convierte a la biomasa en una opción más limpia frente a otras fuentes energéticas.

Además del papel energético, la biomasa cumple funciones ecológicas relevantes, como el reciclaje de nutrientes y la mejora de la fertilidad del suelo. Su uso sostenible puede contribuir a la restauración de ecosistemas degradados, la conservación de la biodiversidad y el desarrollo rural (FAO, 2017). Por tal motivo, durante las últimas décadas ha surgido una visión más integral que posiciona a la biomasa no solo como una alternativa energética, sino también como un recurso estratégico con múltiples beneficios, incluidos impactos sociales positivos como la generación de empleo y el acceso a energía en comunidades aisladas. Esta evolución conceptual ha impulsado tecnologías de conversión más eficientes y limpias, tales como la gasificación, la digestión anaerobia y la pirólisis, que permiten extraer energía con un impacto ambiental reducido. Estas innovaciones resultan especialmente relevantes en contextos amazónicos, donde existe alta disponibilidad de biomasa y necesidad urgente de soluciones energéticas sostenibles y adaptadas al entorno local.

3.2 Corrientes teóricas y metodologías en el aprovechamiento energético de la biomasa

Estas corrientes han evolucionado de la mano del desarrollo tecnológico y de la necesidad creciente de soluciones energéticas sostenibles. Se abordan los principales métodos de conversión de biomasa en energía, con énfasis en la conversión termoquímica y bioquímica, así como su aplicabilidad potencial en contextos amazónicos.

La conversión termoquímica se considera una de las tecnologías más consolidadas en la bioenergía. Este método transforma la biomasa mediante calor para obtener productos como biochar, gas de síntesis y aceites combustibles. Entre las técnicas más representativas figuran la pirólisis, la gasificación y la combustión. Begum et al. (2024) destacan su versatilidad para tratar distintos tipos de biomasa y su elevado rendimiento energético, aunque también

señalan desventajas, como la emisión contaminante y la necesidad de tecnologías avanzadas para el control y depuración de gases.

En cambio, la conversión bioquímica se basa en procesos biológicos, tales como la fermentación y la digestión anaerobia, que permiten transformar residuos orgánicos en biogás, bioetanol o biodiésel. Esta alternativa resulta especialmente viable para residuos húmedos o de origen agrícola, comunes en la Amazonía, como desechos de frutas, restos de palma aceitera y residuos de cultivos alimentarios. Según Roni et al. (2024), si bien esta metodología presenta una huella ambiental menor, puede estar condicionada por baja eficiencia energética y la necesidad de condiciones operativas específicas.

En el contexto amazónico, donde abunda la disponibilidad de residuos agrícolas y forestales, podrían combinarse estratégicamente estas tecnologías. Por ejemplo, los residuos leñosos y de procesamiento de madera pueden destinarse a pirólisis o gasificación, mientras que los residuos orgánicos con bajo contenido lignocelulósico son aptos para la digestión anaerobia. La aplicación depende de factores como la accesibilidad tecnológica, la inversión inicial y la infraestructura disponible.

Además de estas metodologías tradicionales, se exploran tecnologías emergentes como la

licuefacción hidrotermal. Este proceso termoquímico convierte biomasa húmeda en biocombustibles líquidos bajo condiciones de 250–374 °C y 4–25 MPa, sin necesidad de secado: el agua subcrítica o supercrítica actúa como disolvente, reactante y catalizador, facilitando la ruptura de enlaces y la remoción de oxígeno en forma de H₂O y CO₂, lo que permite obtener un bio-oil con alta densidad energética y baja fracción de oxígeno. Esta característica hace a la licuefacción hidrotermal especialmente adecuada para la Amazonía, donde la biomasa contiene más del 60 % de humedad y el secado puede resultar costoso o inviable en áreas remotas. Además, el biocombustible resultante se puede usar directamente en motores pesados (marinos, ferroviarios) o refinarse para combustibles de transporte, contribuyendo así a la reducción de la huella de carbono por tratarse de un recurso renovable y prácticamente exento de emisiones netas de CO₂.

3.3 Aplicaciones y casos de estudio en la región amazónica

3.3.1 Aprovechamiento de la biomasa en la región amazónica

En la Amazonía, el uso de biomasa ha demostrado ser una solución viable para la generación de energía sostenible, pese a los retos planteados por las características ecológicas, sociales y de infraestructura de la

Tabla 1. Tipos de conversión de biomasa, ventajas, desventajas y aplicaciones en la Amazonía

Tipo de conversión	Ventajas	Desventajas	Aplicaciones en la Amazonía	Ejemplo de residuos
Termoquímica	Alta eficiencia; versatilidad de materiales; rápida producción de energía	Requiere equipos complejos; emisiones contaminantes	Gasificación de residuos forestales y leñosos	Madera y astillas forestales
Bioquímica	Baja huella ecológica; adecuado para residuos húmedos; menor contaminación	Menor eficiencia energética; necesita condiciones específicas	Digestión de residuos agrícolas, excretas animales y lodos	Bagazo de caña y estiércol animal
Licuefacción hidrotermal	No requiere secado; ideal para biomasa húmeda; genera biocombustibles líquidos	Alta presión y temperatura; tecnología emergente, aún en desarrollo	Potencial futuro en regiones con alta humedad, como la Amazonía	Residuos de frutas y lodos de alta humedad

Nota. Elaboración propia a partir de la revisión bibliográfica.

región. Proyectos destacados se han implementado en Brasil (Pará y Bahía), Colombia (Caquetá y Putumayo) y Bolivia (Pando), donde el limitado acceso a la red eléctrica ha impulsado la búsqueda de soluciones a partir de recursos locales.

En Brasil, Cuervo y Guzmán (2020) evaluaron el potencial energético técnico de la biomasa residual forestal y de los cultivos energéticos en siete estados amazónicos. Se identificó un potencial conjunto de 4 906,96 MW/año (equivalente a una generación continua de 4,9 GW, suficiente para abastecer la demanda eléctrica anual de unos cinco millones de hogares en la región amazónica), que aportó al estado de Bahía 3 077,49 MW/año y a Pará 1 217,32 MW/año. Estos datos evidencian la capacidad de la biomasa para abastecer la demanda de energía en zonas rurales no interconectadas. Sin embargo, la implementación de plantas basadas en gasificación enfrenta obstáculos como los elevados costos de inversión inicial y la ausencia de mecanismos de financiamiento adecuados (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2022).

En Colombia, Chia et al. (2020) documentaron un proyecto piloto en el departamento de Caquetá, basado en gasificación del bagazo de caña, que benefició a más de 228.000 familias rurales y que permitió aumentar la cobertura eléctrica del 45 % al 93 % entre 2003 y 2018. Sin embargo, su expansión hacia departamentos como Putumayo y Guainía se limitó por factores geográficos y logísticos, lo cual evidencia la necesidad de soluciones energéticas adaptadas a contextos de difícil acceso.

En Bolivia, un proyecto en la provincia de Pando empleó digestores anaerobios para transformar residuos de palma aceitera en biogás, obteniéndose una capacidad de generación de 2 MW. Aunque los resultados iniciales fueron favorables, el proyecto no logró escalar ante la falta de personal capacitado y la ausencia de un marco normativo específico (Cuevas-García y Nava, 2021).

3.3.2. Desafíos y peligros del aprovechamiento de la biomasa

Pese al potencial energético, el uso no planificado de biomasa puede propiciar deforestación y pérdida de biodiversidad, alterando equilibrios ecológicos y degradando ecosistemas amazónicos, en particular dentro de reservas naturales y territorios indígenas, si no existen estrategias de manejo sostenible (Greene y Mendoza, 2020).

Además, algunos intentos de implementación han fracasado debido a la desconexión entre comunidades locales y equipos técnicos. Por ejemplo, en Sucumbíos (Ecuador), un proyecto de biodigestores fue abandonado tras la retirada de la ONG responsable, lo cual dejó la infraestructura inhabilitada y generó desconfianza en la población (Greene y Mendoza, 2020).

En contraste, en territorios indígenas y ribereños de la Amazonía peruana y boliviana, cientos de comunidades han diversificado su economía y generado empleo gracias a la gestión sostenible de biomasa forestal no maderable (resinas, frutos, fibras), fortaleciendo cadenas de valor locales, mejorando los ingresos familiares e impulsando la conservación de bosques primarios.

3.3.3. Evaluación de políticas públicas y planes de acción

Las políticas públicas han desempeñado un papel determinante en el desarrollo o estancamiento de proyectos bioenergéticos. El “Plan de acción para la gestión sostenible de la biomasa residual” (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2022) establece protocolos de recolección responsable, incentivos fiscales y lineamientos para conservar los ecosistemas. Sin embargo, su aplicación ha sido desigual entre países y regiones por debilidades institucionales y por la falta de coordinación intersectorial.

En Brasil, por ejemplo, algunos proyectos han accedido a beneficios fiscales para tecnologías de conversión termoquímica, mientras que en Bolivia la falta de regulación específica ha dejado a las comunidades sin apoyo técnico y financiero. En Colombia, los avances han sido moderados, destacándose el papel de las universidades regionales como agentes dinamizadores de proyectos sostenibles (Chia et al., 2020).

3.4 Desafíos y oportunidades en la gestión y optimización de recursos

La gestión eficiente de los procesos y la optimización de los recursos son elementos fundamentales en el aprovechamiento energético de la biomasa, especialmente desde un enfoque de la ingeniería industrial, cuyo objetivo es maximizar la eficiencia, reducir costos y minimizar impactos ambientales. Como destacan Roni et al. (2024), la aplicación de tecnologías avanzadas y la mejora continua de los procesos permiten elevar la competitividad de la bioenergía frente a fuentes convencionales, consolidándose como una alternativa viable dentro del portafolio energético.

Uno de los principales desafíos técnicos es la heterogeneidad de la biomasa, cuya composición varía en función del tipo, la procedencia y el grado de humedad. Esta variabilidad representa un obstáculo en la escalabilidad de las tecnologías de conversión, pues limita la estandarización de los procesos industriales. Para abordar este problema, se han desarrollado sistemas automatizados de clasificación y pretratamiento, como la torrefacción controlada, que mejora la densidad energética y la estabilidad del material, lo que facilita su procesamiento posterior.

Además, se han aplicado sistemas de recolección mecanizada y software de gestión logística como BioChain y OptiBiomass, que permiten optimizar las rutas de transporte, reducir tiempos de traslado y minimizar pérdidas durante la recolección y el almacenamiento. Estas herramientas han demostrado una reducción de costos operativos de hasta un

25 % en proyectos piloto en zonas rurales de Brasil y Perú (Cuevas-García y Nava, 2021). En cuanto al diseño de plantas, la integración de procesos térmicos y biológicos en sistemas híbridos ha permitido aumentar la eficiencia energética global. Por ejemplo, la combinación de gasificación y digestión anaerobia puede elevar el rendimiento energético en un 20 % adicional, en comparación con tecnologías aisladas (Begum et al., 2024). Sin embargo, la infraestructura necesaria para la transformación eficiente de la biomasa sigue siendo costosa y, en muchos casos, inaccesible para comunidades amazónicas con limitados recursos financieros. Esto plantea la necesidad de estrategias escalonadas, con microplantas modulares desarrolladas con componentes de bajo costo y fácil mantenimiento, así como programas de capacitación técnica que fortalezcan el capital humano local.

La optimización no debe centrarse solo en la eficiencia tecnológica, sino también en la gestión integral de la cadena de valor, desde la recolección hasta la distribución de energía. Un enfoque técnico e ingenieril bien estructurado permite superar barreras como la falta de conectividad, los altos costos logísticos y la ausencia de normativas adaptadas. Así, se fortalece la sostenibilidad económica y ambiental del modelo bioenergético en la región amazónica. Las oportunidades en la gestión y optimización de recursos en el contexto de la biomasa amazónica dependen de la implementación de soluciones prácticas, adaptadas al entorno y respaldadas por un enfoque interdisciplinario que combine conocimientos técnicos, organizacionales y comunitarios.

3.5 Discusión y comparación de perspectivas

En esta última parte se presentan los hallazgos derivados del análisis documental, retomando también contenido de los capítulos anteriores. Se describen las relaciones y conexiones entre los modelos teóricos expuestos, y se comparan las similitudes y diferencias en las construcciones sobre la biomasa amazónica como fuente de energía. A partir de este examen, se identifican ventajas de aprovechar este recurso como

alternativa limpia y renovable. No obstante, también surgen problemáticas que requieren solución, como la escasa gestión pública, la amenaza de deforestación y la necesidad de mejorar los procesos de transformación de la biomasa para proyectos viables a gran escala.

Un hallazgo relevante destaca la necesidad de una gestión pública más robusta y coordinada, lo que permitiría integrar la biomasa amazónica en los sistemas energéticos nacionales e internacionales de forma adecuada. La deforestación sigue siendo un factor crítico, ya que los proyectos de aprovechamiento pueden contribuir al deterioro de los ecosistemas si no se aplican prácticas de manejo forestal sostenible. Es esencial mejorar las actividades de transformación de la biomasa. Para lograrlo, no basta con adecuar las tecnologías de conversión, pues se requiere infraestructura para recoger, procesar y distribuir el recurso, a fin de minimizar los costos y maximizar los rendimientos sin comprometer la sostenibilidad ambiental.

La conclusión de la discusión propone estrategias de intervención basadas en conocimientos técnicos, ambientales y de gestión para incrementar los proyectos de energías renovables en la región amazónica y lograr eficiencia energética. Se plantea mejorar las políticas públicas para el uso responsable de la biomasa, incentivar la innovación en tecnologías bioenergéticas y fortalecer la capacitación técnica. Por último, se resalta la importancia de establecer sinergias entre comunidades locales, empresas y gobiernos. Con estas acciones, la biomasa amazónica puede convertirse en una solución eficiente y sostenible, alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y la conservación de sus ecosistemas.

4. DISCUSIÓN

4.1 Corrientes de conversión

La biomasa amazónica pone a disposición dos clases de recursos para su aprovechamiento energético. La ruta termoquímica, que comprende procesos como

la gasificación o la pirólisis, resulta rápida, eficiente y escalable, aunque exige un control ambiental estricto para evitar emisiones no deseadas (Begum et al., 2024). La vía bioquímica es más lenta (digestión anaerobia y fermentación), pero opera bajo un modelo de economía circular y presenta una menor huella contaminante (Roni et al., 2024).

Los sistemas híbridos que combinan ambos métodos han demostrado elevar la eficiencia energética total. La planta San Carlos BioPower en Filipinas —ejemplo externo a la Amazonía— produce 20 MW, recorta emisiones en 16.000 tCO₂/año y genera empleo local (San Carlos BioPower, 2016). Es factible integrar ambos métodos en el ámbito amazónico, destinando residuos leñosos a procesos termoquímicos y aprovechando los restos de la agricultura húmeda para digestión anaerobia.

4.2 Aplicación en la Amazonía

Cuervo y Guzmán (2020) reportaron en la Amazonía brasileña un potencial técnico de biomasa residual forestal y cultivos energéticos de 4906,96 MW/año, aunque la implementación se ha visto frenada por elevados costos de capital y escasez de financiamiento (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2022).

En el caso colombiano, Chia et al. (2020), identificaron un proyecto de gasificación del bagazo de caña en el departamento amazónico, que elevó la cobertura eléctrica rural del 45 % al 93 % entre 2003 y 2018, si bien su expansión a regiones más remotas, como Putumayo, se limitó por factores logísticos y geográficos. En Bolivia, un piloto de digestores de residuos de palma aceitera en el departamento de Pando generó 2 MW de biogás, aunque su escalabilidad se restringió por la falta de capacitación técnica local (Cuevas-García y Nava, 2021).

4.3 Análisis comparativo

A diferencia de otras regiones tropicales, el sudeste asiático ha movilizado unidades equivalentes a más

de 7 EJ/año de bioenergía (IRENA, 2022) gracias a políticas de subsidios verdes y marcos regulatorios robustos. La Amazonía carece de mecanismos de apoyo similares y su penetración es aún menor. Por otro lado, la presión sobre los bosques puede provocar deforestación si no se aplican prácticas sostenibles, como ha sucedido en Indonesia (AP News, 2024).

Este análisis sostiene que el éxito depende tanto del desarrollo tecnológico como de la gobernanza. Las regiones que han utilizado incentivos fiscales, ha capacitado a la población y brindado participación activa poseen proyectos más resilientes y escalables. Aunque los estudios revisados aportan datos relevantes, muchos se basan en datos recolectados antes de 2020, lo cual limita su validez frente a los avances tecnológicos recientes y las cambiantes condiciones ambientales (Martínez y López, 2023).

Por ejemplo, una aldea amazónica podría instalar un biodigestor comunitario que aproveche residuos de frutas, como cáscaras de plátano, restos de papaya o pulpa de naranja, para producir biogás destinado a la cocción de alimentos y la generación eléctrica básica. Esta solución reduciría la dependencia de combustibles fósiles, minimizaría la acumulación de desechos orgánicos y fomentaría el empleo local en la operación y mantenimiento del sistema.

4.4 Recomendaciones

Incentivos fiscales concretos para gobiernos

- Ofrecer descuentos del 20% en el impuesto sobre la renta a empresas o comunidades que instalen sistemas de bioenergía basados en biomasa, siguiendo el ejemplo de Brasil (IRENA, 2022).
- Crear líneas de “crédito verde amazónico” con tasas de interés reducidas (por ejemplo, 3% anual) para financiar proyectos de digestión anaerobia y plantaciones energéticas.

Talleres y educación comunitaria para las ONG

- Diseñar y ejecutar talleres prácticos en escuelas rurales y centros comunitarios sobre principios básicos de la conversión de biomasa en energía y economía circular (Cerdá, 2012).
- Producir materiales didácticos (folletos, videos breves) que ilustren el ciclo de vida de los biocombustibles y su impacto ambiental.

Cooperativas locales para comunidades

- Formar cooperativas de recolección y valorización de biomasa (residuos agrícolas y forestales), donde cada miembro participe y reciba beneficios de la venta de biocombustible o energía (Cuevas-García y Nava, 2021).
- Establecer comités de gestión sostenible que supervisen la extracción de biomasa para evitar la sobreexplotación.

Alianzas público-privadas para inversores

- Promover esquemas de financiamiento escalonados (como capital semilla y tramos de expansión) para proyectos modulares de 0,5 a 2 MW en zonas rurales, con cofinanciamiento estatal del 30% (Martínez et al., 2023).
- Facilitar convenios entre empresas fabricantes de digestores y municipios para pruebas piloto y transferencia tecnológica.

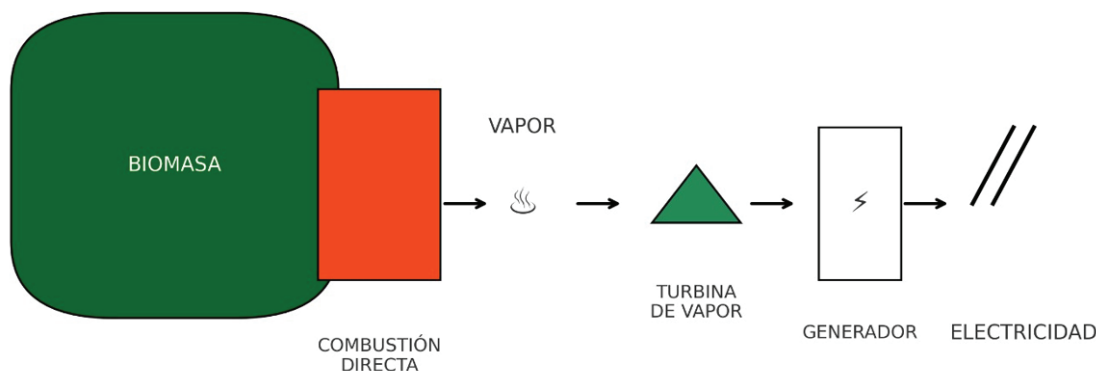
4.5 Conexión con los ODS

La gestión adecuada de la biomasa amazónica favorece el ODS 7 (energía asequible y no contaminante) y el ODS 13 (acción por el clima). Además, promueve

el ODS 8 (trabajo decente y crecimiento económico) y el ODS 15 (vida de ecosistemas terrestres). Un modelo de bioenergía sustentable en la Amazonía puede

funcionar como mecanismo para un desarrollo regional justo y sostenible.

Figura 1. Esquema del proceso de conversión de biomasa en electricidad mediante combustión directa



Fuente: Elaboración propia.

5. CONCLUSIONES

El análisis efectuado demuestra que la investigación y el uso de la biomasa amazónica han experimentado una evolución considerable. Se ha pasado de técnicas muy simples a otras más sofisticadas, como la combustión, los procesos termoquímicos y la bioconversión. Estas metodologías optimizan la recuperación energética y reducen el impacto ambiental (Demirbaş, 2001; Begum et al., 2024; Roni et al., 2024). Aun así, persisten limitantes como la deforestación derivada de la recolección insostenible de residuos forestales, la escasa infraestructura rural y la carencia de normativas que incentiven la inversión en proyectos bioenergéticos.

Las oportunidades para avanzar hacia un modelo energético sostenible en la Amazonía son evidentes. La implementación de sistemas híbridos podría aumentar la eficiencia global en más de un 20 % respecto a tecnologías independientes (Begum et al., 2024). La adopción de microplantas modulares y el uso de software logístico para la recolección y transporte de biomasa permitieron, en proyectos piloto de Brasil y Perú, la reducción de hasta un 25 % en los costos operativos (Cuevas-García y Nava, 2021). Estas mejoras técnicas,

junto con la consolidación de cooperativas locales, pueden generar empleo digno y reforzar la resiliencia comunitaria, en consonancia con el ODS 8 (trabajo decente) y el ODS 7 (energía asequible y limpia).

Para materializar estas oportunidades, los gobiernos de la cuenca amazónica deben legislar a favor de un entorno propicio para la inversión en bioenergía; emitir normas sobre líneas de crédito verde y garantías fiscales antes de 2026, según la meta del ODS 7 (UNEP, 2024; SDG 7, 2023). Las instituciones académicas y las ONG deben diseñar y aplicar programas de formación técnica e investigación, documentando antes de 2027 el impacto social y económico con estimaciones estadísticas que orienten la política pública (Cerdá, 2012; Greene y Mendoza, 2020). Finalmente, las comunidades locales deben involucrarse en teoría y práctica, y pueden organizarse mediante cooperativas que aseguren la sostenibilidad de los recursos y la equidad en la distribución de beneficios, de acuerdo con los principios de economía circular y un futuro energético inclusivo (Cuevas-García y Nava, 2021; Martínez et al., 2023).

Gracias a este esfuerzo consensuado, la biomasa amazónica puede convertirse en el motor de una transición energética justa, sostenible y resiliente. De este

modo, se preservará la extraordinaria diversidad biológica de la región y se promoverá el bienestar socioeconómico de sus habitantes.

REFERENCIAS

- Begum, Y. A., Kumari, S., Jain, S. K., y Garg, M. C. (2024). A review on waste biomass-to-energy: Integrated thermochemical and biochemical conversion for resource recovery. *Environmental Science: Advances*, 3(9), 1197–1216. <https://doi.org/10.1039/D4VA00109E>
- Ball, A., y Kasztelan, M. (2024, febrero 13). Palm oil deforestation makes comeback in Indonesia after decade-long slump. *Mongabay*. <https://news.mongabay.com/2024/02/palm-oil-deforestation-makes-comeback-in-indonesia-after-decade-long-slump/>
- Cerdá, E. (2012). Energía obtenida a partir de biomasa. *Cuadernos Económicos de ICE*, 83. <https://doi.org/10.32796/cice.2012.83.6036>
- Cerdá, E., André, F. J., y De Castro, L. M. (2012). Las energías renovables en el ámbito internacional. *Cuadernos Económicos de ICE*, 83. <https://doi.org/10.32796/cice.2012.83.6031>
- Chia, O., López, L., Acuña, Y., y López, G. (2020). *Biomasa residual agrícola: Opción energética para la Amazonía*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. <https://repository.udistrital.edu.co/server/api/core/bitstreams/04c97732-3ae0-47ea-8e6d-272cf812d160/content>
- Cuervo, J. S., y Guzman, J. A. (2020). *Determinación del potencial energético de la biomasa residual forestal (BRF) y de cultivos energéticos (BRCE) en las amazonas colombo-brasileño*. <http://hdl.handle.net/11349/24301>
- Cuevas-García, R., y Nava Bravo, I. (2021). Producción de combustibles renovables. *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología*, 16(30), 1e-50e. <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2023.30.69635>
- Demirbaş, A. (2001). Biomass resource facilities and biomass conversion processing for fuels and chemicals. *Energy Conversion and Management*, 42(11), 1357–1378. [https://doi.org/10.1016/S0196-8904\(00\)00137-0](https://doi.org/10.1016/S0196-8904(00)00137-0)
- FAO. (2017). *The charcoal transition: Greening the charcoal value chain to mitigate climate change and improve local livelihoods*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/3/i6935e/i6935e.pdf>
- García, M. del P., y Amaya, Á. M. (Eds.). (2021). *Derecho forestal: Estrategias para la conservación y el uso sostenible de los recursos forestales*. Universidad Externado de Colombia. <https://publicaciones.uexternado.edu.co/gpd-derecho-forestal-9789587907087.html>
- Greene, N., y Mendoza, V. (2020). Energía renovable para la Amazonía. Cuencas Sagradas. https://cuencasagradas.org/wp-content/uploads/2021/05/FR11_Oct2020_EnergiaRenovable_NGreeneVMendoza_E SP.pdf
- IEA Bioenergy. (2023). Annual Report 2023: *Demopplants database development and deployment of advanced biofuel demonstration facilities*. International Energy Agency Bioenergy Technology Collaboration Programme. <https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2025/02/IEA-Report-T39-T4-Development-and-Deployment-of-advanced-biofuel-demonstration-facilities-2024.pdf>
- IEA Bioenergy. (2022). *Annual Report 2022: Bioenergy accelerating to net zero*. International Energy Agency Bioenergy Technology Collaboration Programme. <https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2023/05/Annual-Report-2022.pdf>
- IRENA. (2022). *Scaling up biomass for the energy transition: Untapped opportunities in Southeast Asia*. International Renewable Energy Agency. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/Feb/IRENA_Biomass_Energy_Transition_2022_.pdf
- Martínez-Maceda, G. R., García-Asencios, J. M., y Chávez, R. A. (2023). Implementación de un sistema piloto de bioenergía para la gestión inteligente de residuos sólidos y generación de energía limpia mediante el aprovechamiento de la cáscara de castaña en la planta de procesamiento ASCART. *Revista Biodiversidad Amazónica*, 2(2), 29–37. <https://doi.org/10.55873/rba.v2i2.253>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, y Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2022). *Plan de Acción para la Gestión Sostenible de la Biomasa Residual*. <https://economia-circular.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/04/Plan-de-Accion-para-la-Gestion-Sostenible-de-la-Biomasa-Residual.pdf>
- Roni, Md. A. R., Abedin, M. Z., Islam, S., Miah, Md. A. H., & Ahsan, Z. (2024). Thermodynamic Analysis and Performance Improvement in Biomass Power Plant: A Comprehensive Review. *American Journal of Mechanical and Materials Engineering*, 8(1), 1–14. <https://doi.org/10.11648/j.ajmme.20240801.11>
- ThomasLloyd Group. (2016). San Carlos *BioPower: Biomass power plant project*. <https://www.thomas-lloyd.com/en/project/san-carlos-biopower>
- UNEP. (2024). SDG 7: *Affordable and clean energy*. United Nations Environment Programme. <https://www.unep.org/topics/sustainable-development-goals/why-do-sustainable-development-goals-matter/goal-7>