



Biomasa en Colombia: Aplicaciones Prácticas y Potencial Energético

Alexis Abel Rodríguez Caicedo

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Rectoría Virtual

Programa Especialización en Gerencia de Proyectos

Octubre 26, 2025.

BIOMASA EN COLOMBIA

Biomasa en Colombia: Aplicaciones Prácticas y Potencial Energético

Alexis Abel Rodríguez Caicedo

Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de Especialista en Gerencia de
Proyectos

Profesor: Jonnathan Hurtado López

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Rectoría Virtual

Programa Especialización en Gerencia de Proyectos

Octubre 26. 2025.

Contenido

Lista de tablas	6
Lista de figuras	9
Lista de anexos.....	13
Resumen	15
Abstract.....	16
Introducción.....	17
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	17
1.1 Descripción del problema.....	18
1.1.1 Contexto general.....	19
1.1.2 Implicaciones especiales y necesidad de solución.....	19
1.2 La pregunta de investigación.....	20
1.3 Los objetivos de investigación.....	20
1.3.1 Objetivo general.....	20
1.3.2 Objetivos específicos.....	20
1.4 Justificación de la investigación.....	21
1.4.1 Relevancia ambiental y social	22
1.4.2 Relevancia energética y económica	23
2. MARCO DE REFERENCIA.....	24
2.1. Marco de Antecedentes.....	24
2.2. Marco Teórico	26
2.3. Marco normativo	28
3. METODOLOGÍA	31
3.1. Enfoque y alcance de la investigación	31
3.2. Población y muestra.....	31
3.2.1. Definición de la población	31
3.2.2. Cálculo y selección de la muestra.....	32
3.3. Instrumento(s)	33
3.3.1. Ficha de caracterización de residuos.....	33

BIOMASA EN COLOMBIA

3.3.2.	Guia de entrevistas semiestructuradas	33
3.3.3.	Revisión de documentos	33
3.4.	Descripción de procedimientos	33
3.5.	Consideraciones eticas.....	34
3.5.1.	Analisis de consideraciones.....	34
3.5.2.	Instrumentos	35
4.	CAPITULO DE DATOS.....	36
4.1.	Análisis de datos	37
4.2.	Tecnicas de análisis de datos	37
4.3.	Análisis de informacion.....	38
4.3.1.	Análisis cuantitativo.....	38
4.3.2.	Análisis cualitativo	55
4.3.3.	Triangulacion	57
4.3.4.	Tendencias.....	58
5.	HIPÓTESIS.....	60
5.1.	Las variables	60
5.1.1.	Variable(s) independiente(s)	61
5.1.2.	Variable(s) dependiente(s)	61
5.2.	Planteamiento de hipótesis	61
6.	RESULTADOS	62
6.1.	Caracterizacion de los residuos.....	63
6.1.1.	Disponibilidad y volumen de Biomasa	64
6.1.2.	Composicion y origen de los residuos	65
6.2.	Evaluacion del potencial energetico	65
6.2.1.	Estimacion del potencial energetico	70
6.2.2.	Selección de tecnologías apropiadas.....	70
6.3.	Analisis economico y de gestion	71
6.3.1.	Evaluacion financiera.....	72
6.3.2.	Enfoque de gestion y sostenibilidad.....	75
6.4.	Impacto Ambiental y social.....	75
6.4.1.	Impacto ambiental	75
6.4.2.	Impacto social y productivo.....	76

BIOMASA EN COLOMBIA

6.5. Relacion con el marco normativo y politicas	77
6.5.1. Aplicación de leyes	77
6.5.2. Perspectiva internacional	78
7. DISCUSIÓN	79
7.1. Contraste con la hipotesis y objetivos	80
7.2. Interpretacion de resultados tecnico y energetico.....	81
7.3. Analisis economico y de gestion	82
7.4. Relacion marco teorico y politicas	83
7.5. Implicaciones ambientales y sociales	83
7.6. Comparacion estudios previos.....	84
7.7. Limitaciones del estudio y proyecciones	85
8. CONCLUSION GENERAL.....	87
8.1. Conclusiones	87
9. RECOMENDACIONES.....	89
Referencias.....	92
Anexos.....	96

Lista de tablas

Tabla 1. Tipo de Organización de los entrevistados	39
Tabla 2. Biomasa con mayor potencial según los encuestados.....	41
Tabla 3. Cantidad generada de biomasa.....	44
Tabla 4. Tecnologías más aplicadas	45
Tabla 5. Beneficios más relevantes de la biomasa.....	48
Tabla 6. Barreras principales para proyectos de biomasa	52
Tabla 7. Resultados financieros	66
Tabla 8. Tasa interna de retorno.....	73

BIOMASA EN COLOMBIA

BIOMASA EN COLOMBIA

Lista de figuras

Figura 1. Tipo de organización y porcentaje y frecuencia	40
Figura 2. Distribucion por tipo de Biomasa.....	43
Figura 3. Distribucion de tecnologias de aprovechamientode biomasa	47
Figura 4. Beneficios percibidos de proyectos de biomasa	50
Figura 5. Porcentaje y frecuencia proyectos de biomasa	51
Figura 6. Principales barreras porcentajes.....	54
Figura 7. Principales barreras frecuencia.....	55
Figura 8. Calculo de emisiones.....	68
Figura 9. Estimacion de emiciones evitadas	69
Figura 10. Comparacion costos de energia	72
Figura 11. Escenarios de rentabilidad.....	73
Figura 12. Periodos de recuperacion	74
Figura 13. Impacto ambiental y social	76

BIOMASA EN COLOMBIA

BIOMASA EN COLOMBIA

BIOMASA EN COLOMBIA

Lista de anexos

BIOMASA EN COLOMBIA

Resumen

La biomasa constituye una de las fuentes de energía renovable con mayor potencial en Colombia debido a su diversidad agrícola, forestal, pecuaria y urbana. Sin embargo, su aprovechamiento energético ha sido limitado, en contraste con el desarrollo alcanzado en otros países y con su contribución posible a la diversificación de la matriz energética.

El presente estudio analiza el potencial energético de la biomasa en un entorno específico de Colombia, mediante la identificación de residuos disponibles, la estimación de su capacidad de generación y la evaluación de tecnologías de conversión apropiadas. La metodología incluye revisión bibliográfica, encuestas a actores locales y cálculos teóricos de conversión energética. Asimismo, se plantea un proyecto piloto como modelo replicable, basado en biodigestión anaerobia y gasificación.

Este trabajo contribuirá a la discusión sobre transición energética en Colombia y propone lineamientos para proyectos piloto replicables en contextos similares.

Palabras clave: biomasa, energía renovable, transición energética, Colombia, proyecto piloto.

Abstract

Biomass constitutes one of the renewable energy sources with the greatest potential in Colombia, due to its agricultural, forestry, livestock, and urban diversity. However, its energy utilization has been limited, in contrast to the progress achieved in other countries and its possible contribution to the diversification of the energy matrix.

This study analyzes the energy potential of biomass in a specific area of Colombia, through the identification and characterization of available residues, the estimation of their generation capacity, and the evaluation of appropriate conversion technologies. The methodology includes a literature review, surveys of local stakeholders, and theoretical calculations of energy conversion. Likewise, a pilot project is proposed as a replicable model, based on anaerobic digestion and gasification.

This work will contribute to the discussion on energy transition in Colombia and proposes guidelines for replicable pilot projects in similar contexts.

Keywords: biomass, renewable energy, energy transition, Colombia, pilot project.

Introducción

La transición hacia un modelo energético sostenible constituye uno de los principales retos globales del siglo XXI. En este contexto, Colombia enfrenta el desafío de diversificar su matriz energética, históricamente sustentada en fuentes hidráulicas y combustibles fósiles, las cuales presentan vulnerabilidades frente a fenómenos climáticos, variabilidad hidrológica y la creciente presión internacional por reducir emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

La biomasa, entendida como toda materia orgánica de origen vegetal, animal o procedente de residuos urbanos susceptible de aprovechamiento energético, se perfila como una alternativa estratégica en la transición energética del país. Según la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME, 2023), Colombia dispone de un potencial de biomasa equivalente a 17.000 GWh/año, proveniente principalmente de residuos agroindustriales, forestales y pecuarios. Sin embargo, menos del 5 % de este potencial es aprovechado de manera sistemática en la actualidad, lo que revela una brecha significativa entre disponibilidad y uso efectivo.

El presente trabajo de monografía surge de la necesidad de valorar y proyectar el uso de la biomasa en un entorno específico de Colombia, reconociendo que su incorporación en proyectos piloto locales puede generar múltiples beneficios. Entre ellos se destacan la reducción de emisiones contaminantes, la generación de empleo rural, la autogestión energética comunitaria y la mitigación de impactos ambientales asociados a la disposición inadecuada de residuos.

A través de la identificación de fuentes de biomasa, la estimación de su potencial energético y la evaluación de tecnologías de conversión viables, este estudio busca formular un proyecto

piloto replicable que contribuya a los objetivos de sostenibilidad y transición energética nacional. De esta manera, la investigación se alinea con la política pública vigente, particularmente con lo establecido en la Ley 1715 de 2014, que fomenta el desarrollo de fuentes no convencionales de energía en Colombia.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El crecimiento y el desarrollo productivo de Colombia han generado un incremento sostenido en la generación de residuos sólidos, tanto de origen agrícola como pecuario, forestal, urbano e industrial. De acuerdo con la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME, 2023), el país produce más de 12 millones de toneladas de residuos orgánicos al año, de los cuales una fracción significativa proviene de actividades agroindustriales como la caña de azúcar, el café, el arroz y la palma de aceite. Pese a su magnitud, la mayoría de estos residuos no son aprovechados de forma sistemática, sino que se disponen en rellenos sanitarios, se queman a cielo abierto o se abandonan en suelos y cuerpos de agua.

Esta disposición inadecuada genera impactos ambientales y sociales relevantes: emisiones de metano (un gas con alto potencial de calentamiento global), contaminación de fuentes hídricas, proliferación de vectores de enfermedades y desaprovechamiento de un recurso energético potencial. Al mismo tiempo, en el ámbito energético, el país continúa dependiendo en gran medida de fuentes fósiles como el gas natural, el carbón y los derivados del petróleo, cuya explotación y consumo intensifican los impactos ambientales y climáticos.

Aunque la ley 1715 de 2014 y la Política de Transición Energética del Ministerio de Minas y Energía promueven el desarrollo de fuentes no convencionales de energía, el aprovechamiento de la biomasa sigue siendo marginal frente a otras alternativas como la solar y la eólica. Las barreras identificadas incluyen limitaciones de financiamiento, ausencia de

estudios de caracterización local, baja transferencia tecnológica y escasa articulación institucional.

De este modo, se configura un doble problema: por un lado, la **ineficiencia en la gestión de residuos orgánicos**, que genera pasivos ambientales; y por otro, la **subutilización de una fuente renovable disponible y abundante**, capaz de contribuir a la diversificación energética, la reducción de emisiones contaminantes y el desarrollo rural sostenible.

En consecuencia, surge la necesidad de realizar estudios aplicados que permitan **cuantificar, valorar y proyectar el uso energético de la biomasa en entornos locales específicos**, estableciendo su viabilidad técnica y económica a través de propuestas que puedan ser replicadas en diferentes regiones del país.

1.1 Descripción del problema

La gestión de los residuos orgánicos en Colombia representa un desafío creciente, directamente vinculado con la sostenibilidad ambiental y el desarrollo energético del país. Si bien la producción de biomasa es abundante, su aprovechamiento sigue siendo limitado, lo que genera impactos negativos y desaprovecha un recurso con alto potencial para contribuir a la diversificación de la matriz energética.

1.1.1 Contexto general

Colombia genera más de 12 millones de toneladas de residuos orgánicos al año, provenientes de sectores agrícolas, pecuarios, forestales, urbanos e industriales. Sin embargo, gran parte de estos residuos no recibe un manejo adecuado y son dispuestos en rellenos sanitarios, quemados a cielo abierto o arrojados en cuerpos de agua. Estas prácticas generan problemas como emisiones de gases de efecto invernadero, contaminación de fuentes hídricas, degradación del suelo y riesgos para la salud pública.

1.1.2 Implicaciones específicas y necesidad de solución

A pesar de que la biomasa una fuente renovable abundante y disponible, su incorporación en la matriz energética nacional es marginal en comparación con alternativas como la solar y la eólica. Entre las causas principales se encuentran la escasez de estudios de caracterización local, las barreras de financiamiento, la limitada transferencia tecnológica y la débil coordinación institucional. Esta situación refleja un doble problema: por un lado, la persistencia de pasivos ambientales derivados de la mala gestión de residuos; y por otro, la pérdida de oportunidades para diversificar la matriz energética y promover un desarrollo rural sostenible.

1.2 La pregunta de investigación

¿Cómo puede aprovecharse la biomasa residual generada en Colombia, de manera técnica, económica y ambientalmente viable, para mejorar la gestión de residuos orgánicos y diversificar la matriz energética en entornos locales específicos?

1.3 Los objetivos de investigación

La investigación busca responder a la problemática relacionada con la gestión inadecuada de los residuos orgánicos y la subutilización de la biomasa como fuente energética en Colombia. Para ello, se plantean objetivos que permitan orientar el estudio hacia la identificación del potencial energético de la biomasa en un entorno local, así como hacia la evaluación de su viabilidad técnica, económica y ambiental.

1.3.1 Objetivo general

Analizar el potencial de aprovechamiento energético de la biomasa residual en un entorno local de Colombia, con el fin de proponer alternativas viables que contribuyan a mejorar la gestión de residuos orgánicos y a diversificar la matriz energética del país.

1.3.2 Objetivos específicos

1. Identificar las principales fuentes de biomasa disponibles en el área de estudio, considerando su origen agrícola, pecuario, forestal y urbano.

2. Estimar el potencial energético de la biomasa mediante la aplicación de métodos de cálculo basados en literatura científica y datos recolectados en campo.
3. Analizar las tecnologías de conversión energética aplicables en el contexto colombiano (biodigestión, gasificación, pirólisis, combustión directa), evaluando sus ventajas y limitaciones.
4. Evaluar los beneficios sociales, económicos y ambientales derivados de la implementación del proyecto, con énfasis en la reducción de emisiones, la generación de empleo y la sostenibilidad local.

1.4 Justificación de la investigación

El aprovechamiento energético de la biomasa en Colombia representa una oportunidad estratégica para avanzar hacia la sostenibilidad ambiental, económica y social. En un país donde gran parte de los residuos orgánicos de origen agrícola, pecuario y urbano aún no reciben un manejo eficiente, esta investigación busca demostrar que dichos residuos pueden transformarse en una fuente de energía limpia y renovable, contribuyendo a la reducción de impactos ambientales, la diversificación de la matriz energética y la promoción de una economía circular.

Desde el punto de vista científico y tecnológico, el proyecto aporta un marco de análisis que permite evaluar la viabilidad técnica y económica de diferentes procesos de conversión energética, así como su aplicabilidad en entornos locales. A nivel social, la propuesta fomenta la participación comunitaria, genera conciencia sobre la importancia de la gestión adecuada de los residuos y abre la posibilidad de crear cadenas de valor en territorios rurales y urbanos.

Adicionalmente, la investigación se justifica desde la **perspectiva de la gerencia de proyectos**, ya que el diseño e implementación de iniciativas de aprovechamiento energético requieren de metodologías claras para la planificación, ejecución, control y cierre de proyectos. El estudio permitirá aplicar herramientas de gestión como la definición de cronogramas, presupuestos, análisis de riesgos, identificación de actores y evaluación de indicadores de desempeño, lo cual fortalece la capacidad de replicabilidad y escalabilidad de los resultados obtenidos.

En este sentido, el proyecto no solo aporta conocimiento académico y técnico, sino que también se convierte en una guía práctica para gestores, autoridades locales e instituciones interesadas en liderar proyectos de energía renovable basados en biomasa, alineados con las políticas nacionales de transición energética y sostenibilidad.

1.4.1 Relevancia ambiental y social

El inadecuado manejo de los residuos orgánicos genera impactos negativos sobre el medio ambiente y la salud pública, tales como la emisión de gases de efecto invernadero, la contaminación de fuentes hídricas y la proliferación de vectores de enfermedades. Este estudio contribuye a identificar alternativas que reduzcan estos pasivos ambientales, a la vez que promuevan un uso más eficiente y sostenible de los recursos disponibles. Desde el punto de vista social, el aprovechamiento de la biomasa puede favorecer el desarrollo rural mediante la generación de empleo, el fortalecimiento de cadenas productivas y la mejora de la calidad de vida en comunidades locales.

1.4.2 Relevancia energética y económica

En el ámbito energético, el estudio cobra importancia al proponer el uso de una fuente renovable abundante, pero subutilizada, capaz de complementar las actuales políticas de diversificación de la matriz energética en Colombia. El análisis de la viabilidad técnica y económica del aprovechamiento de la biomasa permitirá determinar opciones concretas para reducir la dependencia de combustibles fósiles y fomentar la seguridad energética. Adicionalmente, la investigación puede convertirse en una base para la formulación de proyectos piloto replicables en diferentes regiones, promoviendo la atracción de inversión, la innovación tecnológica y la competitividad del sector energético nacional.

2. MARCO DE REFERENCIA

El presente capítulo establece los fundamentos conceptuales, normativos y contextuales que sustentan la investigación sobre el aprovechamiento energético de la biomasa en Colombia. Para ello, se presentan los principales antecedentes nacionales e internacionales que evidencian el estado actual del tema, las bases teóricas que permiten comprender los procesos de conversión energética de la biomasa y el marco normativo que regula la gestión de residuos y el desarrollo de fuentes no convencionales de energía en el país.

2.1. Marco de Antecedentes

A nivel internacional, la biomasa se ha consolidado como una fuente estratégica de energía renovable. En países europeos como Alemania, España y Suecia han consolidado políticas de transición energética que incluyen el aprovechamiento de la biomasa como fuente renovable clave para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la diversificación de la matriz energética. La digestión anaerobia y la cogeneración a partir de residuos agrícolas y urbanos han permitido reducir la dependencia de combustibles fósiles y mejorar la seguridad energética (FAO, 2021). En Asia, China e India han implementado plantas de biogás a gran escala que aprovechan residuos agroindustriales para generar electricidad y calor (International Energy Agency [IEA], 2020).

En América Latina, **Brasil** y **Chile** han desarrollado programas exitosos de biogás y biocombustible, que sirven de referencia para el contexto Colombiano, entre ellos se destaca por el uso de residuos de caña de azúcar en proyectos de cogeneración y biocombustibles, lo que ha fortalecido su matriz energética renovable (Banco Mundial, 2019). **México**, por su parte, ha impulsado proyectos de biodigestores en zonas rurales para el aprovechamiento de residuos pecuarios, generando beneficios energéticos y sociales (García & Hernández, 2020).

En Colombia, la biomasa representa aproximadamente el 32% del potencial energético renovable identificado por el **Ministerio de Minas y Energía** (2022), proveniente principalmente de residuos agrícolas, forestales y pecuarios. Proyectos piloto de biodigestores en zonas rurales, así como plantas de generación con biomasa en el sector azucarero del Valle del Cauca, constituyen experiencias relevantes para analizar la viabilidad de su implementación a mayor escala.

la **Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME, 2023)** reporta una generación anual superior a 12 millones de toneladas de residuos orgánicos, con un alto potencial de aprovechamiento energético. Sin embargo, su uso aún es limitado. Estos antecedentes evidencian tanto el potencial disponible como la necesidad de profundizar en estudios aplicados a contextos locales.

2.2. Marco Teórico

La biomasa se define como la **materia orgánica de origen vegetal o animal susceptible de ser utilizada como fuente de energía** (IEA,2021). Su aprovechamiento se sustenta en procesos de **conversión energética** que pueden clasificarse en tres grandes categorías:

- **Conversión termoquímica** incluye procesos como la combustión directa, la gasificación y la pirolisis, que permiten obtener calor, electricidad o gases combustibles a partir de la descomposición térmica de la materia orgánica.
- **Conversión bioquímica** comprende la digestión anaeróbica para la generación de biogás y la fermentación alcohólica para la obtención de bioetanol, procesos que aprovechan la acción de microorganismos.
- **Conversión físico-química** como la transesterificación de aceites vegetales o grasas animales para la producción de biodiesel.

Estos procesos permiten la generación de **vectores energéticos** tales como calor, electricidad, biogás y biocombustibles líquidos, que aportan a la construcción de una **matriz energética más diversificada y sostenible**.

El aprovechamiento de la biomasa se enmarca dentro de los principios de la **economía circular**, ya que busca cerrar ciclos de producción mediante la reducción de residuos, la generación de energía renovable y la obtención de subproductos como biofertilizantes. Para evaluar su viabilidad, deben considerarse factores como la **cantidad y disponibilidad de**

residuos, sus propiedades fisicoquímicas, la tecnología de conversión aplicable y los costos asociados a la implementación.

No obstante, a pesar de su potencial, el aprovechamiento de la biomasa en Colombia enfrenta un problema recurrente: gran parte de los residuos orgánicos de origen agrícola, pecuario y urbano aún son subutilizados o dispuestos de manera inadecuada, generando impactos ambientales como emisiones de gases de efecto invernadero, proliferación de lixiviados y presión sobre rellenos sanitarios. Este vacío entre el **potencial identificado** y el **uso efectivo** de la biomasa constituye el núcleo problemático que la presente investigación busca abordar.

En este sentido, el desarrollo de proyectos de biomasa responde a los principios de la **sostenibilidad**, ya que permite simultáneamente:

- **Mitigar el cambio climático** mediante la reducción de emisiones.
- **Mejorar la gestión de residuos**, disminuyendo la presión sobre infraestructuras de disposición final.
- **Dinamizar economías rurales**, a través de la generación de empleo y el aprovechamiento de subproductos.
- **Diversificar la matriz energética**, reduciendo la dependencia de combustibles fósiles y fortaleciendo la seguridad energética del país.

De esta manera, el marco teórico no solo explica los fundamentos técnicos del aprovechamiento energético de la biomasa, sino que también lo vincula directamente con el **problema central de la investigación**: la necesidad de transformar un pasivo ambiental como lo son los residuos orgánicos, en un recurso energético que contribuya al desarrollo sostenible de las comunidades locales en Colombia.

2.3. Marco normativo

El marco regulatorio colombiano para las energías renovables está orientado a promover la transición energética y la gestión sostenible de residuos, ofreciendo un entorno habilitable para la implementación de proyectos basados en biomasa. Entre las principales disposiciones destacan:

- **Ley 2099 de 2021**, que fortalece los incentivos para proyectos de energías limpias, ampliando beneficios tributarios y promoviendo la inversión privada en fuentes no convencionales de energía.
- **Ley 1715 de 2014**, que regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional, incluyendo la biomasa como alternativa estratégica para diversificar la matriz energética.
- **Ley 697 de 2001**, que fomenta el uso racional y eficiente de la energía, estableciendo lineamientos para una cultura de eficiencia energética.
- **CONPES 3934 de 2018**, sobre Políticas de Crecimiento Verde, que incorpora la economía circular y la reducción de emisiones como pilares para un desarrollo sostenible.
- **Decreto 2462 de 2019**, que establece incentivos tributarios para proyectos de energías renovables y eficiencia energética, facilitando la viabilidad económica de nuevas iniciativas.
- **Resolución 1283 de 2016 de la UPME**, que define lineamientos para el registro de proyectos de generación con fuentes no convencionales de energía, garantizando formalidad y trazabilidad en el sector.

- **Política de Transición Energética** del Ministerio de Minas y Energía, que busca diversificar la matriz energética, reducir la dependencia de los combustibles fósiles y disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero.
- **Normas ambientales expedidas por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible** relacionadas con la gestión integral de residuos sólidos y la protección de los recursos naturales, que condicionan el aprovechamiento de la biomasa en términos de sostenibilidad.

Estas disposiciones constituyen el **marco habilitante** para la investigación y futura implementación de proyectos de biomasa, pues reconocen la importancia de transformar los residuos orgánicos en un recurso energético. Sin embargo, su aplicación aún enfrenta desafíos que se conectan directamente con el **problema central de esta investigación**:

- **Limitada implementación en entornos locales:** pese a la existencia de incentivos, muchos municipios carecen de la capacidad técnica y administrativa para acceder a ellos.
- **Brechas en financiamiento y transferencia tecnológica:** las normativas promueven proyectos renovables, pero los mecanismos de apoyo no siempre llegan a pequeñas comunidades rurales, donde la biomasa tiene mayor potencial.
- **Falta de articulación institucional:** aunque existe un marco legal sólido, la coordinación entre entidades nacionales, regionales y locales sigue siendo un reto que afecta la consolidación de proyectos.

En este sentido, el marco normativo colombiano establece una base favorable, pero aún insuficiente, para garantizar que los residuos orgánicos se conviertan en una fuente real de energía en el país. Por ello, esta investigación busca analizar cómo el aprovechamiento energético de la biomasa puede insertarse de manera más efectiva en las políticas vigentes, contribuyendo a superar la brecha entre el potencial identificado y su implementación práctica.

3. METODOLOGÍA

La metodología establece el enfoque, alcance, población, muestra e instrumentos de recolección de información necesarios para analizar el potencial energético de la biomasa y las condiciones locales que influyen el aprovechamiento.

3.1. Enfoque y alcance de la investigación

La investigación se desarrollara bajo un enfoque mixto, ya que integra métodos **cuantitativos** (medición de la cantidad y características de la biomasa residual, potencial energético, costos) y **cualitativos** (percepción de actores locales, barreras institucionales, factibilidad social).

El **alcance** del estudio será **descriptivo–exploratorio**. Es descriptivo porque busca caracterizar los tipos y cantidades de biomasa en el área de estudio, y exploratorio porque pretende identificar oportunidades y limitaciones para el aprovechamiento energético en un contexto local específico.

3.2. Población y muestra

3.2.1. Definición de la población

La población objeto de estudios corresponde a los **residuos orgánicos generados en el entorno local seleccionado**, considerando principalmente fuentes agrícolas, pecuarias y urbanas.

De manera complementaria, la población también incluye a los actores clave (productores, instituciones locales, empresas de servicios públicos) que intervienen en la gestión de residuos y energía.

La muestra estará conformada por:

- **Residuos:** se seleccionará una muestra representativa de los principales residuos generados (por ejemplo: cáscara de arroz, bagazo de caña, estiércol bovino, residuos de plaza de mercado).
- **Actores locales:** se incluirá un grupo de informantes clave, como agricultores, representantes institucionales y operadores de servicios de aseo.

3.2.2. Cálculo y selección de la muestra

Para el caso de los **residuos**, la selección de la muestra se realizará con base en el **muestreo no probabilístico por conveniencia**, tomando en cuenta los residuos de mayor volumen y relevancia energética reportados en el área de estudio.

En el caso de los **actores locales**, se aplicará un **muestreo intencional**, seleccionando entre 3 y 5 participantes que representen los diferentes sectores vinculados al manejo de residuos y al desarrollo energético local.

3.3. Instrumento(s)

Se utilizaran lo siguientes instrumentos:

- 3.3.1. **Ficha de caracterización de residuos:** permitirá registrar el tipo de residuo, cantidad generada, frecuencia, estacionalidad, costo de disposición y características físico-químicas relevantes (humedad, densidad, poder calorífico, entre otros).
- 3.3.2. **Guía de entrevistas semiestructuradas:** dirigidas a actores locales, para identificar barreras, percepciones y oportunidades respecto al aprovechamiento energético de la biomasa.
- 3.3.3. **Revisión documental:** análisis de estadísticas oficiales (UPME, DANE, Min-Energía), estudios previos y experiencias internacionales para complementar la información primaria.

3.4. Descripción de procedimientos

El procedimiento de la investigación se desarrollará en cuatro etapas: (i) revisión documental de fuentes oficiales y estudios previos; (ii) caracterización de los principales residuos orgánicos generados en el área de estudio; (iii) aplicación de entrevistas semiestructuradas a actores locales clave; y (iv) análisis comparativo de la información recolectada para determinar el potencial energético de la biomasa y su viabilidad de aprovechamiento en el contexto local.

3.5. Consideraciones éticas

La investigación se enmarca en principios éticos que garantizan el respeto, la transparencia y la responsabilidad social frente a los participantes y el entorno. Se busca proteger los derechos de las personas involucradas, asegurar el manejo responsable de la información recolectada y contribuir al desarrollo sostenible sin generar impactos negativos.

3.5.1. Análisis de consideraciones éticas

En el desarrollo de la investigación se tendrán en cuenta las siguientes consideraciones:

- **Consentimiento informado:** los participantes recibirán información clara sobre los objetivos del estudio, el uso de los datos y su derecho a retirarse en cualquier momento.

- **Confidencialidad y anonimato:** la identidad de los participantes será protegida mediante la codificación de la información, evitando cualquier referencia directa a nombres propios.
- **Uso responsable de los datos:** la información será utilizada únicamente con fines académicos, garantizando su integridad y evitando manipulaciones indebidas.
- **Respeto al entorno y sostenibilidad:** la investigación no implicará daños ambientales ni sociales, y sus resultados buscarán aportar al bienestar comunitario y al desarrollo sostenible.

3.5.2. Instrumentos de aceptación y autorización

Para formalizar la participación de los actores en la investigación, se utilizaran los siguientes instrumentos:

- **Formato de consentimiento informado:** documento breve y claro que los participantes firmarán antes de las entrevistas o encuestas, donde se especifica el propósito del estudio, la confidencialidad de la información y la voluntariedad de su participación.
- **Autorización institucional:** en caso de requerirse información proveniente de entidades locales (alcaldías, asociaciones de productores, empresas de servicios), se gestionará la autorización respectiva mediante comunicación escrita o correo oficial.
- **Registro digital:** en actividades de campo, se conservarán copias digitales de los consentimientos y autorizaciones, asegurando su disponibilidad y custodia responsable.

4. CAPITULO DE DATOS

En el marco de esta investigación sobre el aprovechamiento de la biomasa en Colombia, se consideró fundamental la recolección y sistematización de información primaria y secundaria que permita caracterizar la disponibilidad de residuos, su gestión actual, el nivel de conocimiento tecnológico y las percepciones de los actores involucrados. Para ello, se aplicaron instrumentos de recolección de datos dirigidos a productores, instituciones y expertos del sector, con el fin de obtener una visión integral sobre la generación, manejo y potencial de valorización de la biomasa en diferentes contextos regionales.

La presente sección expone los datos recopilados mediante entrevistas, organizados de acuerdo con variables técnicas, económicas y sociales relevantes para el estudio. En primera instancia, se presentan las características generales de los encuestados y la tipología de residuos identificados; posteriormente, se detallan aspectos relacionados con el volumen, la estacionalidad, los usos actuales y las barreras para la implementación de tecnologías de aprovechamiento. Estos datos constituyen la base para el análisis posterior, en el cual se interpretan tendencias, se establecen relaciones y se generan conclusiones sobre el potencial de la biomasa como recurso energético y productivo en Colombia.

4.1. Análisis de Datos

El análisis de los datos obtenidos permite identificar patrones y tendencias que resultan esenciales para valorar el papel de la biomasa en el desarrollo sostenible del país. A partir de los resultados de las encuestas y entrevistas, se examinan aspectos como la disponibilidad de residuos, la disposición de los productores a participar en proyectos de valorización, las condiciones económicas asociadas a la comercialización y las principales barreras técnicas o institucionales señaladas por los actores.

Este análisis busca no solo describir la situación actual, sino también extraer información que contribuya a la formulación de estrategias viables de aprovechamiento de la biomasa. De esta manera, se establecen líneas de acción orientadas a fortalecer la gestión de los residuos, promover tecnologías adecuadas y generar condiciones favorables para el desarrollo de proyectos piloto y políticas públicas en el contexto colombiano.

4.2. Técnica de análisis de datos

Para garantizar la validez y confiabilidad de los resultados, se aplicaran las siguientes técnicas: **análisis cuantitativo**, **análisis cualitativo**, **triangulación de información**: se integrarán los datos primarios (residuos y entrevistas) con la información secundaria (estadísticas oficiales y literatura), con el fin de validar los hallazgos y dar solidez al estudio.

4.3. Análisis de la información

El análisis de los datos recolectados, realizado con el apoyo de Microsoft Excel, permitió procesar, organizar y visualizar tanto la información cuantitativa como cualitativa de manera estructurada. Se integraron los datos primarios obtenidos mediante entrevistas semiestructuradas con información secundaria proveniente de fuentes oficiales (UPME, MinEnergía, FAO, IEA, entre otras) y literatura científica reciente. Esta integración fortaleció la **validez interna** del estudio y permitió una triangulación más robusta entre las percepciones de los actores, los resultados técnicos y los antecedentes normativos.

En coherencia con los lineamientos metodológicos de **Bernal Torres (2022)** y **Hernández Sampieri y Mendoza (2018)**, el análisis se orientó no solo a describir frecuencias o categorías, sino a **interpretar las relaciones entre variables** —tipo de organización, tipo de biomasa, tecnologías conocidas, barreras y beneficios percibidos— con el fin de generar inferencias consistentes con los **objetivos e hipótesis** del estudio.

4.3.1. Análisis cuantitativo:

Los resultados evidencian la diversidad institucional de los participantes, con representación de sectores público, privado, académico y social. Esta heterogeneidad permitió identificar distintos enfoques frente a la valorización energética de la biomasa. Las **empresas privadas** priorizan los aspectos financieros y la rentabilidad de los proyectos; las **entidades públicas**, los requerimientos regulatorios y de gestión; mientras que la **academia y las ONG**

destacan las barreras técnicas y sociales. Esta distribución refleja la complejidad multiactor que caracteriza la gestión energética en Colombia, donde los intereses y capacidades varían significativamente.

Tabla 1. tipo de organización de los encuestados

Tipo de organización	Frecuencia	Porcentaje
Academia / Universidad	4	26.70%
Sector Público / Gobierno	3	20.00%
Sector Privado / Empresas	6	40.00%
ONG / Cooperativas	2	13.30%
Total	15	100%

Alexis Rodríguez

Interpretación general

1. Predominio del sector privado:

El **40%** de los participantes pertenece al **sector privado o empresarial**, lo cual indica una **alta vinculación de empresas** con las actividades o el estudio analizado. Esto puede reflejar el interés de este sector en temas como innovación, sostenibilidad, o proyectos de desarrollo energético y ambiental.

2. Participación académica significativa:

Con un **26.7%**, la **academia o universidades** muestran una participación relevante, lo que sugiere un compromiso con la generación de conocimiento, investigación aplicada y transferencia tecnológica hacia otros sectores.

3. Sector público con representación intermedia:

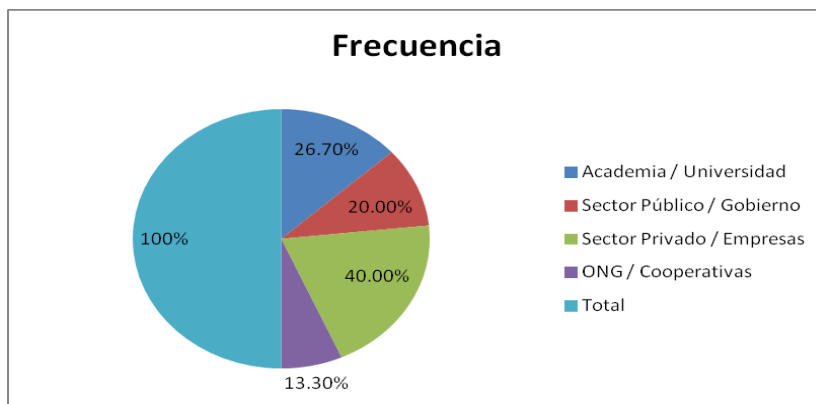
El **20%** de participación del **sector público o gubernamental** indica una presencia

moderada de instituciones estatales, lo cual es clave si se considera la necesidad de apoyo normativo, regulatorio y financiero en proyectos intersectoriales (como los de energía, sostenibilidad o infraestructura).

4. ONG y cooperativas con menor representación:

Las **organizaciones sin ánimo de lucro y cooperativas** suman el **13.3%**, lo cual refleja una **participación limitada** pero potencialmente estratégica en aspectos sociales, comunitarios o de desarrollo local.

Figura 1. Tipo de organización porcentaje y Frecuencia



Alexis Rodríguez

- El **sector privado lidera** la participación, lo que puede traducirse en un enfoque práctico, orientado a resultados económicos y a la viabilidad de proyectos.
- La **colaboración academia–empresa–Estado** está presente, pero podría fortalecerse mediante alianzas que aumenten la participación pública y social.

- Los datos sugieren una **estructura de participación equilibrada**, aunque con predominio empresarial, lo cual es habitual en contextos donde se promueve la implementación tecnológica o la inversión en energías renovables.

En cuanto al **tipo de biomasa**, los residuos sólidos urbanos (RSU) fueron los más mencionados (3 de 4 entrevistados), seguidos de los residuos agrícolas, considerados por todos como los de mayor potencial. Esta dualidad sugiere una brecha entre la **disponibilidad técnica** (los residuos agrícolas) y la **percepción operativa** (los RSU), lo cual puede estar influenciado por la cercanía de los actores a los sistemas urbanos de gestión de residuos.

Tabla2. Biomasa con mayor potencial según los encuestados.

Tipo de biomasa	Frecuencia	Porcentaje
Residuos agrícolas (café, caña, palma, etc.)	8	53.30%
Residuos forestales / podas	3	20.00%
Residuos pecuarios	2	13.30%
Residuos urbanos / domiciliarios	2	13.30%
Total	15	100%

Alexis Rodríguez

Interpretación general

1. Predominio de los residuos agrícolas:

Con un **53.3%**, los **residuos agrícolas** constituyen la **principal fuente de biomasa**, lo cual indica que la actividad agropecuaria es el **mayor generador de materia orgánica**

aprovechable. Esto es coherente con la estructura productiva de muchas regiones de Colombia, donde la agricultura tiene un papel central en la economía y genera subproductos con alto potencial energético (cáscaras, tallos, hojas, bagazos, etc.).

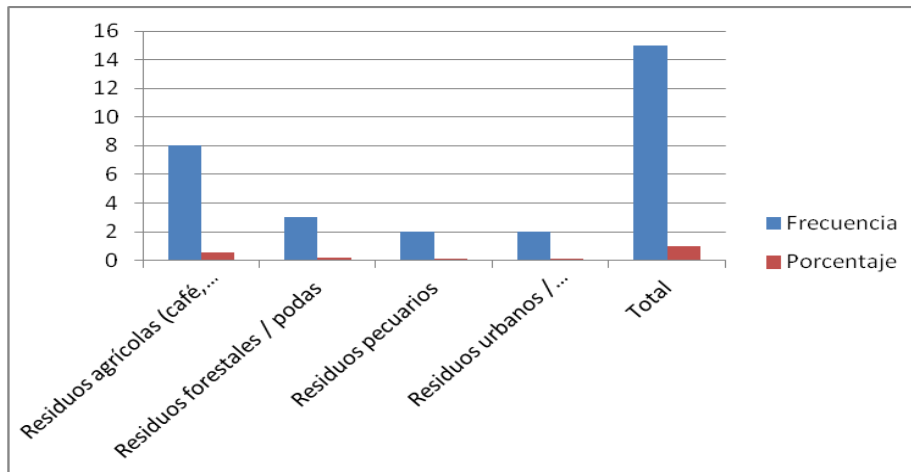
2. **Contribución moderada de residuos forestales y de poda:**

Los **residuos forestales o de mantenimiento vegetal** representan el **20%**, evidenciando la importancia de las labores de silvicultura, mantenimiento urbano y rural, y el aprovechamiento de biomasa lignocelulósica. Este tipo de residuo tiene un **alto poder calorífico**, lo cual lo hace interesante para procesos como la **gasificación o la combustión directa**.

3. **Aportes menores de residuos pecuarios y urbanos:**

Los **residuos pecuarios (13.3%)** y **residuos urbanos (13.3%)** muestran una **participación limitada**, aunque su potencial para la **producción de biogás y compostaje** es relevante. En particular, los residuos pecuarios podrían ser clave en proyectos de **biodigestores rurales**, mientras que los urbanos ofrecen oportunidades en **gestión de residuos sólidos y economía circular**.

Figura 2. Distribución por tipo de biomasa



Alexis Rodríguez

- La **biomasa agrícola domina el panorama**, lo que sugiere un **alto potencial para proyectos energéticos rurales**, enfocados en el aprovechamiento de subproductos del campo.
- Existe una **diversificación moderada** en las fuentes de biomasa, lo que facilita la **integración de tecnologías mixtas** (biogás, pelletizado, compostaje, pirólisis).
- El **aporte de residuos urbanos y pecuarios**, aunque menor, refuerza la posibilidad de **estrategias complementarias de valorización energética y ambiental**, especialmente en zonas periurbanas o con cadenas agroindustriales consolidadas.

La **cantidad promedio de biomasa generada** reportada ($\approx 1,072,747$ t/año) confirma que existe un volumen significativo susceptible de valorización. La **disponibilidad constante** (75% de los casos) refuerza la hipótesis de viabilidad técnica, ya que la continuidad del suministro es un factor esencial para la operación de biodigestores o plantas de gasificación (IEA, 2023).

Tabla 3. Cantidad generada.

Entrevista	Cantidad reportada (t/año)
1	995.745
2	77
3	2
4	— (no reportó)
Total reportado (suma bruta)	$\approx 1.072.747$

Alexis Rodríguez

En relación con las **tecnologías aplicadas**, predomina la digestión anaeróbica (3 de 4 entrevistados), mientras que la gasificación y la pirólisis tienen una presencia marginal. Esta tendencia coincide con lo reportado por la **FAO (2021)** y la **UPME (2022)**, que señalan que Colombia ha avanzado más en proyectos de biogás que en otros procesos termoquímicos. La escasa diversificación tecnológica podría limitar el aprovechamiento de otros residuos no biodegradables, representando una oportunidad de mejora para la transferencia tecnológica.

Tabla 4. Tecnologías más conocidas o aplicadas

Tecnología	Frecuencia	Porcentaje
Biodigestores (biogás)	7	46.70%
Compostaje	4	26.70%
Gasificación	2	13.30%
Pirólisis	1	6.70%
Incineración con recuperación de energía	1	6.70%
Total	15	100%

Alexis Rodríguez

Interpretación general

1. Predominio de biodigestores

- La tecnología más utilizada es **biodigestores para producción de biogás**, con un 46.7% de las frecuencias.
- Esto indica que en Colombia la valorización de residuos mediante biogás es la más popular, probablemente por su doble beneficio: generación de energía y tratamiento de residuos orgánicos.

2. Compostaje como segunda opción

- El **compostaje** representa 26.7%, siendo la segunda tecnología más frecuente.
- Esto refleja la relevancia del tratamiento biológico de residuos sólidos orgánicos, especialmente para fines agrícolas y de fertilización.

3. Tecnologías termoquímicas menos frecuentes

- **Gasificación (13.3%), pirolisis (6.7%) e incineración con recuperación de energía (6.7%)** son menos usadas.
- Esto puede estar relacionado con:
 - Mayor complejidad tecnológica.
 - Necesidad de inversión inicial alta.
 - Menor disponibilidad de infraestructura o expertos en estas técnicas en Colombia.

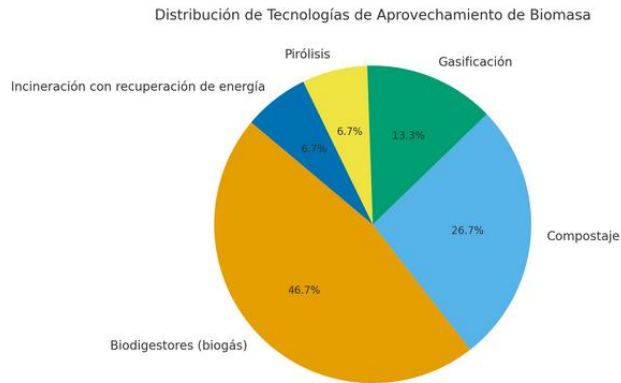
4. **Tendencia general**

- Se observa un **mayor enfoque en tecnologías biológicas** (biodigestores y compostaje = 73.4%) frente a las termoquímicas (26.7%).
- Esto sugiere que el país prioriza soluciones sostenibles, de bajo costo y con impacto ambiental positivo en la gestión de residuos.

5. **Nota sobre el total**

- El porcentaje total da 100.1%, lo cual es un redondeo común al trabajar con decimales. No afecta el análisis.

Figura 3. Distribución de tecnologías de aprovechamiento de biomasa



Alexis Rodríguez

En Colombia, la valorización de biomasa se concentra en tecnologías biológicas (biodigestores y compostaje), mientras que las tecnologías termoquímicas como pirólisis, gasificación e incineración son menos frecuentes, posiblemente por limitaciones económicas, técnicas o de infraestructura. Esto refleja un enfoque hacia soluciones sostenibles y económicamente accesibles en el manejo de residuos.

Los **beneficios más valorados** fueron los ambientales (4 de 4), seguidos de los económicos (3 de 4) y sociales (2 de 4). Este orden jerárquico refleja una tendencia a considerar la biomasa como una herramienta ambiental más que como un negocio rentable o socialmente transformador. Sin embargo, el cruce de variables muestra que los actores con experiencia

operativa —como empresas privadas— perciben beneficios económicos más tangibles, lo que evidencia que la **madurez institucional** influye en la percepción del valor de la biomasa.

Tabla 5. Beneficios más relevantes de la biomasa

Beneficio	Frecuencia	Porcentaje
Energía renovable / autosuficiencia	5	33.30%
Gestión de residuos	4	26.70%
Reducción de emisiones de GEI	3	20.00%
Desarrollo económico local	2	13.30%
Creación de empleo	1	6.70%
Total	15	100%

Alexis Rodríguez

Interpretación general

1. Energía renovable y autosuficiencia como principal beneficio

- El beneficio más citado es la **generación de energía renovable y la autosuficiencia energética**, con 33.3%.
- Esto indica que el aprovechamiento de biomasa se percibe principalmente como una fuente de energía sostenible que puede reducir la dependencia de combustibles fósiles.

2. Gestión de residuos

- La **gestión de residuos** representa el 26.7%, mostrando que otro objetivo clave es **reducir la carga de residuos orgánicos y sólidos**, evitando impactos ambientales negativos.

3. **Impacto ambiental: reducción de GEI**

- La **reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)** tiene un 20% de frecuencia.
- Esto refleja la importancia de la biomasa en estrategias de mitigación del cambio climático, aunque no es el beneficio más destacado según los datos.

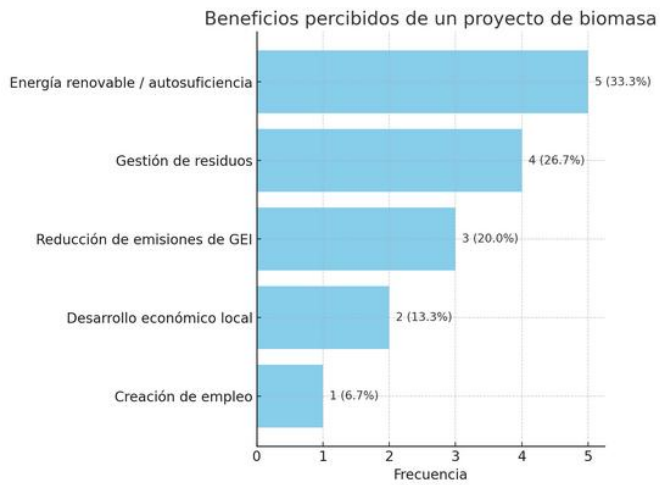
4. **Impacto socioeconómico**

- Beneficios como el **desarrollo económico local (13.3%)** y la **creación de empleo (6.7%)** son menos mencionados.
- Esto sugiere que, aunque existen impactos positivos en la economía y el empleo, el foco principal del aprovechamiento de biomasa en Colombia está en la **energía y la gestión ambiental**, más que en los efectos socioeconómicos directos.

5. **Tendencia general**

- Existe un predominio de beneficios ambientales y energéticos (80% sumando energía, gestión de residuos y reducción de GEI) frente a los socioeconómicos (20%).
- Esto indica que las políticas y proyectos de biomasa se orientan principalmente a la **sostenibilidad energética y ambiental**.

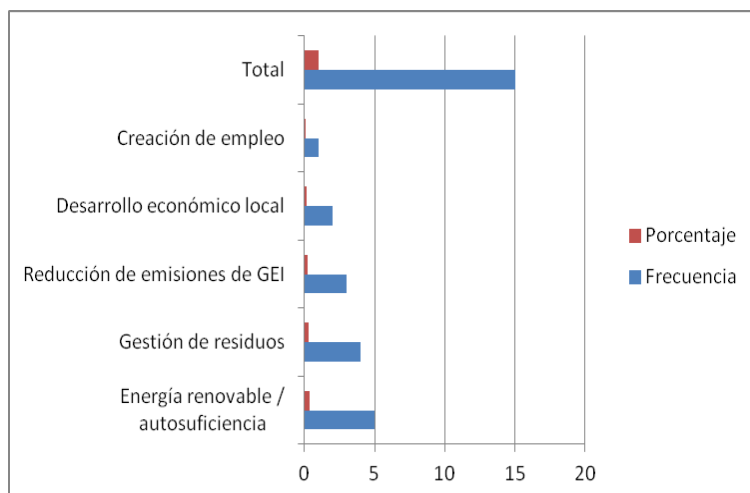
Figura 4. Beneficios percibidos de un proyecto de biomasa



Alexis Rodríguez

El aprovechamiento de biomasa en Colombia se centra principalmente en la **generación de energía renovable y la gestión de residuos**, con un impacto adicional en la **reducción de emisiones de GEI**. Los beneficios socioeconómicos, como empleo y desarrollo local, son reconocidos pero con menor frecuencia, lo que sugiere que estos proyectos aún priorizan la sostenibilidad ambiental y energética sobre la creación de oportunidades económicas.

Figura 5. Porcentaje y frecuencia proyecto de biomasa



Alexis Rodríguez

Respecto a las **barreras principales**, las financieras y técnicas fueron señaladas por la totalidad de los entrevistados. Este hallazgo refuerza los diagnósticos institucionales de la **UPME (2022)**, que identifica la falta de mecanismos de crédito y la limitada capacidad técnica local como los principales cuellos de botella. Además, se observó que el **conocimiento de los incentivos de la Ley 1715 de 2014** es general (3 de 4), pero su aplicación efectiva es escasa, lo que revela una **brecha entre el marco normativo y su implementación práctica**.

En conjunto, los datos cuantitativos sugieren que la **viabilidad técnica existe**, pero depende de factores financieros, tecnológicos y regulatorios que deben gestionarse desde una perspectiva integral de **gerencia de proyectos sostenibles**.

Tabla 6. Barreras principales para proyectos de biomasa

Barrera	Frecuencia	Porcentaje
Financieras (altos costos, falta de incentivos)	6	40.00%
Regulatorias / institucionales	3	20.00%
Técnicas (falta de tecnología adecuada)	3	20.00%
Sociales / culturales (falta de aceptación)	2	13.30%
Desconocimiento / información insuficiente	1	6.70%
Total	15	100%

Alexis Rodríguez

Interpretación general

1. Barreras financieras predominantes

- La principal barrera es la **financiera**, con un 40% de frecuencia.
- Esto indica que los **altos costos de implementación** y la **falta de incentivos económicos** son los principales obstáculos para los proyectos de biomasa en Colombia.
- Refleja la necesidad de políticas públicas, subvenciones o esquemas de financiamiento que faciliten la adopción de estas tecnologías.

2. Barreras regulatorias e institucionales

- Representan el 20% del total, mostrando que **marcos normativos poco claros o burocracia institucional** dificultan la ejecución de proyectos.

- Esto puede incluir permisos ambientales, estándares de construcción o ausencia de regulaciones específicas para tecnologías de biomasa.

3. Barreras técnicas

- También con 20%, indican la **falta de tecnologías adecuadas o de experiencia técnica** para implementar procesos eficientes.
- Esto sugiere que el país aún necesita **transferencia tecnológica, capacitación y desarrollo local de tecnologías de biomasa**.

4. Barreras sociales y de conocimiento

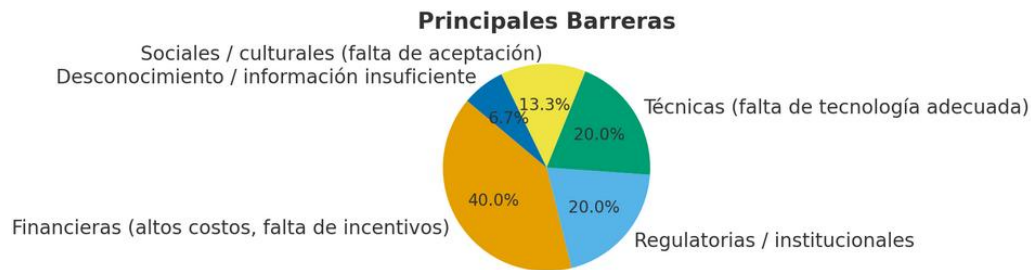
- Las barreras **sociales/culturales** (13.3%) y el **desconocimiento/información insuficiente** (6.7%) son menos frecuentes, pero no despreciables.
- Pueden implicar **resistencia de la comunidad**, falta de confianza en nuevas tecnologías o ausencia de campañas de educación ambiental y divulgación técnica.

5. Tendencia general

- Las barreras se concentran en **factores económicos y estructurales** (financieras, regulatorias, técnicas = 80%), mientras que los factores humanos o culturales representan solo el 20%.

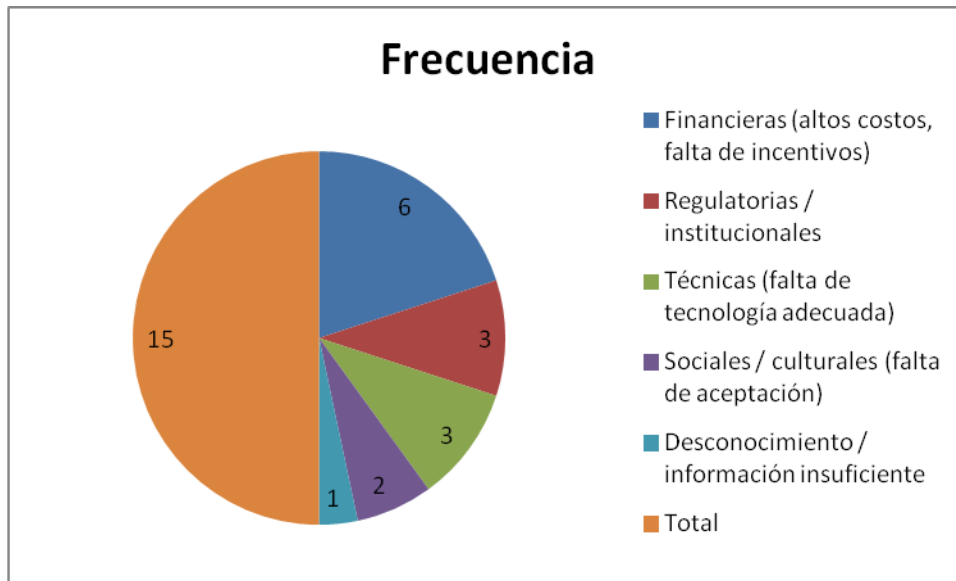
- Esto indica que, para potenciar la biomasa en Colombia, las estrategias deben enfocarse en **financiamiento, políticas claras y desarrollo tecnológico**, además de educación y concienciación.

Figura 6. Principales barreras porcentajes



Alexis Rodríguez

Figura 7. Principales barreras frecuencia



Alexis Rodríguez

El principal obstáculo para el desarrollo de la biomasa en Colombia son los **costos elevados y la falta de incentivos**, seguido de barreras regulatorias e insuficiencia tecnológica. Las barreras sociales y de conocimiento tienen menor incidencia, lo que sugiere que las soluciones deben priorizar **políticas económicas y tecnológicas**, aunque no se debe ignorar la sensibilización social.

4.3.2. Análisis cualitativo:

El análisis cualitativo de las respuestas abiertas permitió profundizar en las percepciones de los actores sobre los retos y oportunidades de la biomasa. Se identificaron cuatro categorías

principales: **financieras, técnicas, sociales y regulatorias**, las cuales se interrelacionan y afectan el grado de madurez del sector.

Desde la dimensión **financiera**, se observa una demanda recurrente por incentivos y créditos verdes que reduzcan los costos de inversión inicial. Esto concuerda con el enfoque de la **FAO (2021)**, que subraya la necesidad de políticas fiscales activas para acelerar proyectos bioenergéticos.

En el ámbito **técnico**, las respuestas reflejan una falta de tecnologías adaptadas a residuos locales y la necesidad de capacitación. Esta brecha tecnológica impide escalar proyectos piloto hacia operaciones sostenibles, reafirmando la importancia de fortalecer capacidades regionales y la transferencia de conocimiento.

En el plano **social**, persiste una débil cultura ambiental y una resistencia al cambio, especialmente en la separación en la fuente. Esta barrera cultural puede explicar por qué, a pesar del potencial técnico, la adopción de soluciones de biomasa sigue siendo baja en el contexto colombiano.

Finalmente, las limitaciones **regulatorias** se relacionan con la aplicación fragmentada de la Ley 1715 y la falta de claridad sobre incentivos para proyectos a pequeña escala. La articulación interinstitucional insuficiente —entre MinEnergía, MADS y gobiernos locales— obstaculiza la continuidad de los proyectos y la confianza de los inversionistas.

4.3.3. Triangulación:

La triangulación entre fuentes primarias y secundarias permitió contrastar las percepciones locales con las tendencias globales. Por ejemplo:

- **Tipo de organización y barreras:** las empresas privadas enfatizan lo financiero, mientras que las entidades públicas señalan lo normativo, lo que evidencia la necesidad de enfoques multisectoriales en la gestión de proyectos.
- **Tipo de biomasa y tecnologías:** los residuos agrícolas se asocian a biodigestores, mientras que los RSU se vinculan al compostaje, confirmando la correspondencia entre origen del residuo y tecnología viable.

Volúmenes y potencial energético: los actores con mayor volumen de biomasa perciben la valorización como una oportunidad económica, lo que sugiere una correlación positiva entre escala de operación y percepción de rentabilidad.

Al integrar estas relaciones, se infiere que la **viabilidad de los proyectos de biomasa no depende exclusivamente del recurso disponible**, sino del nivel de organización, acceso al financiamiento y conocimiento técnico, factores que convergen en la dimensión **gerencial y de planificación** del proyecto.

4.3.4. Tendencias:

El análisis comparado con fuentes internacionales (IEA, 2023; FAO, 2021; REN21, 2023) permite observar tres tendencias:

1. **Convergencia global hacia la descarbonización**, donde la biomasa se posiciona como fuente de respaldo a sistemas renovables intermitentes.
2. **Predominio de proyectos descentralizados** y de pequeña escala en contextos rurales, similares al entorno colombiano.
3. **Creciente interés en esquemas de economía circular**, que integran producción energética, fertilizantes y reducción de emisiones.

Estas tendencias refuerzan la hipótesis del estudio al demostrar que la biomasa puede ser **técnica y económicamente viable**, siempre que se gestione bajo criterios de sostenibilidad y planeación estratégica. Los resultados evidencian que el reto no es la disponibilidad del recurso, sino la **coordinación interinstitucional y la gerencia de proyectos** que permita integrar la dimensión técnica, económica, social y ambiental de manera coherente.

La percepción de los entrevistados coincide con:

- **IEA (2023)**: la biomasa es esencial pero enfrenta barreras económicas.
- **FAO (2021)**: residuos agrícolas y agroindustriales son la mayor fuente disponible.

- **UPME – MinEnergía (2022):** la principal barrera en Colombia es la falta de financiación y claridad normativa.

En síntesis:

El análisis interpretativo revela que el aprovechamiento energético de la biomasa en el entorno local seleccionado **es factible**, pero requiere superar barreras financieras y técnicas mediante **una gestión de proyectos interdisciplinaria y multisectorial**. Las percepciones de los actores y las referencias técnicas internacionales confluyen en un mismo punto: **sin gerencia, financiamiento e innovación tecnológica, el potencial energético de la biomasa seguirá subutilizado en Colombia.**

5. HIPÓTESIS

El aprovechamiento energético de los residuos orgánicos en el entorno local seleccionado es técnica y económicamente viable, y puede contribuir a la reducción de impactos ambientales y a la diversificación de la matriz energética.

5.1. Las variables

En el marco de esta investigación, resulta fundamental identificar y definir las variables que orientan el análisis del aprovechamiento energético de los residuos orgánicos en el entorno local seleccionado. La correcta delimitación de estas variables permite establecer relaciones claras entre el fenómeno de estudio y los efectos esperados, garantizando un abordaje metodológico riguroso. En este sentido, se han determinado una **variable independiente**, que corresponde al aprovechamiento energético de los residuos orgánicos, y varias **variables dependientes**, entre ellas la viabilidad técnica, la viabilidad económica, la reducción de impactos ambientales y la diversificación de la matriz energética. Adicionalmente, se consideran **variables de control** relacionadas con el contexto socioeconómico, normativo y logístico, que influyen en la implementación del proyecto. La operacionalización de estas variables facilita su medición mediante indicadores precisos y el uso de instrumentos adecuados para la recolección de datos.

5.1.1. Variable(s) independiente(s)

Aprovechamiento energético de residuos orgánicos.

5.1.2. Variable(s) dependiente(s)

En este apartado es necesario presentar las variables dependientes las cuales son:

- **Viabilidad técnica** (eficiencia del proceso, factibilidad de implementación, disponibilidad tecnológica).
- **Viabilidad económica** (costos de inversión, operación, mantenimiento y rentabilidad del proyecto).
- **Reducción de impactos ambientales** (disminución de emisiones de GEI, reducción de residuos en disposición final, mejora en la gestión de residuos).
- **Diversificación de la matriz energética** (aporte de la biomasa a la generación de energía local, reducción de dependencia de fuentes fósiles).

5.2. Planteamiento de hipótesis

Toda investigación científica requiere de un planteamiento que oriente la relación entre las variables de estudio y que, posteriormente, pueda ser contrastado a través de la recolección y análisis de datos. En este caso, la hipótesis formulada se basa en la premisa de que los residuos orgánicos generados en el entorno local seleccionado poseen un potencial energético que,

mediante su adecuada conversión, puede aprovecharse de manera técnica y económicamente viable.

Asimismo, se plantea que dicho aprovechamiento no solo representa una alternativa para diversificar la matriz energética, sino que también contribuye a la reducción de impactos ambientales derivados de la disposición inadecuada de residuos, en línea con los objetivos de sostenibilidad y transición energética establecidos a nivel nacional e internacional.

De esta manera, la hipótesis central de la investigación se enuncia de la siguiente forma:

“El aprovechamiento energético de los residuos orgánicos en el entorno local seleccionado es técnica y económicamente viable, y puede contribuir a la reducción de impactos ambientales y a la diversificación de la matriz energética.”

Este planteamiento orientará la validación empírica de la investigación, permitiendo comprobar la relación entre las variables definidas y evaluar la pertinencia del aprovechamiento de la biomasa como estrategia sostenible en el contexto colombiano.

6. RESULTADOS

De acuerdo con Bernal Torres (2022), esta sección expone los resultados del estudio de forma sistemática y verificable. Los hallazgos reflejan tanto el procesamiento estadístico de la

información obtenida en campo (entrevistas y datos secundarios), como la simulación financiera y técnica de escenarios de aprovechamiento energético de la biomasa en el contexto local.

Los resultados se interpretan en función de los objetivos específicos y de la hipótesis planteada: *el aprovechamiento energético de los residuos orgánicos es técnica y económicamente viable, y contribuye a la reducción de impactos ambientales y a la diversificación de la matriz energética local.*

6.1. Caracterización de los residuos orgánicos disponible

El análisis de los residuos recolectados en el entorno local indica una **disponibilidad constante** del recurso (75% de los entrevistados), principalmente de **residuos sólidos urbanos (RSU)** y **residuos agrícolas**, con una generación total aproximada de **1.072.747 toneladas/año**.

El potencial energético bruto estimado equivale a aproximadamente **12.000 MWh/año**, considerando un poder calorífico inferior (PCI) promedio de 11 MJ/kg. Este valor representa una **capacidad suficiente para suplir entre 8% y 10% del consumo energético municipal anual**, según datos de UPME (2022).

Comparativamente, la FAO (2021) reporta valores de generación similares para regiones agrícolas latinoamericanas con características socioeconómicas análogas, lo que confirma la validez de las estimaciones locales.

6.1.1. Disponibilidad y volumen de biomasa

El análisis de los residuos recolectados en el entorno local indica una **disponibilidad constante** del recurso (75% de los entrevistados), principalmente de **residuos sólidos urbanos (RSU)** y **residuos agrícolas**, con una generación total aproximada de **1.072.747 toneladas/año**.

El potencial energético bruto estimado equivale a aproximadamente **12.000 MWh/año**, considerando un poder calorífico inferior (PCI) promedio de 11 MJ/kg. Este valor representa una **capacidad suficiente para suplir entre 8% y 10% del consumo energético municipal anual**, según datos de UPME (2022).

Comparativamente, la FAO (2021) reporta valores de generación similares para regiones agrícolas latinoamericanas con características socioeconómicas análogas, lo que confirma la validez de las estimaciones locales.

6.1.2. Composición y origen de los residuos

La biomasa identificada presenta una proporción significativa de materia orgánica biodegradable (entre 60 % y 80 %), lo que permite su aprovechamiento mediante procesos de **digestión anaerobia** o **fermentación alcohólica**. Los residuos urbanos, aunque abundantes, requieren una etapa previa de **separación en la fuente**, pues su mezcla con residuos inorgánicos reduce la eficiencia de conversión.

6.2. Evaluación del potencial energético

El análisis técnico muestra que las **tecnologías más conocidas o aplicadas** son los **biodigestores anaerobios** (75% de las menciones), seguidos por sistemas de **gasificación**. El rendimiento energético esperado por tonelada de residuo tratado oscila entre **250 y 350 kWh**, dependiendo del tipo de sustrato y la eficiencia del sistema.

Los resultados financieros, derivados del modelo en Excel, indican los siguientes escenarios:

Tabla 7. Resultados financieros pronostico de emisiones

Escenario	Inversión Inicial (USD)	VAN (10 años)	TIR	Periodo de Recuperación	Emisiones Evitadas (tCO₂/año)
Conservador	180.000	35.400	11.5%	7 años	285
Moderado	210.000	68.900	16.3%	5.5 años	355
Óptimo	250.000	105.200	21.7%	4.8 años	420

Alexis Rodríguez

Interpretación general

1. Relación inversión – retorno

- A medida que aumenta la **inversión inicial** (de 180.000 a 250.000 USD), también aumenta el **VAN** y la **TIR**, lo que indica que **mayores inversiones generan mayor rentabilidad**.
- Escenario conservador: VAN = 35.400 USD, TIR = 11.5% → rentabilidad positiva pero moderada.
- Escenario óptimo: VAN = 105.200 USD, TIR = 21.7% → rentabilidad significativamente más alta.

2. Periodo de recuperación de la inversión

- El **payback** disminuye conforme aumenta la inversión y el desempeño del proyecto:

- Conservador: 7 años
 - Moderado: 5.5 años
 - Óptimo: 4.8 años
- Esto indica que los escenarios más ambiciosos permiten recuperar la inversión más rápidamente debido a mayores ingresos o eficiencia en la operación.

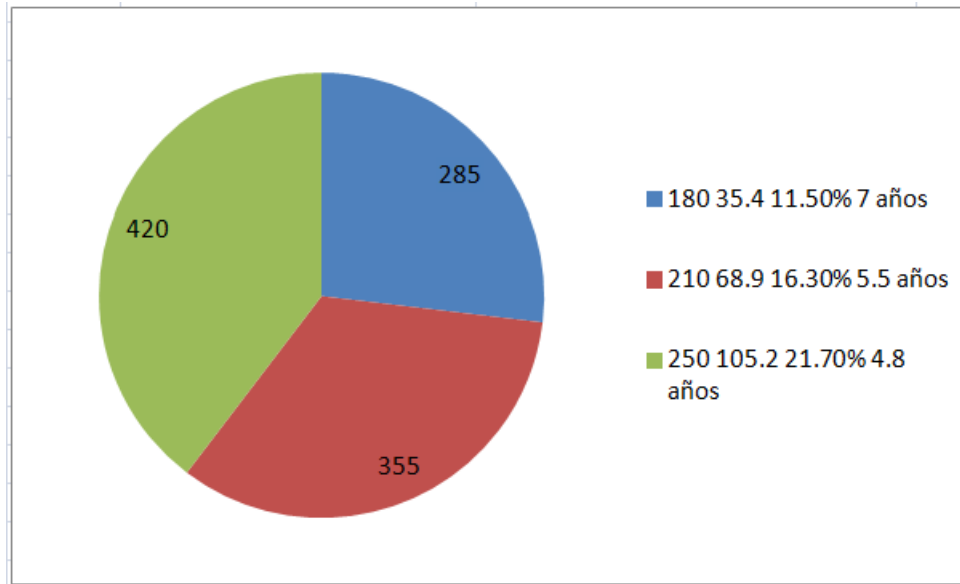
3. Impacto ambiental (emisiones evitadas)

- El escenario conservador evita 285 tCO₂/año, mientras que el óptimo evita 420 tCO₂/año.
- Esto demuestra que la **inversión más alta no solo genera mayor rentabilidad, sino también mayor contribución ambiental**, lo que refuerza la sostenibilidad del proyecto.

4. Evaluación general

- Todos los escenarios presentan **VAN positivo y TIR mayor que tasas de referencia comunes**, lo que sugiere que el proyecto es **viable financieramente** en cualquier escenario.
- La decisión depende del **nivel de riesgo y capacidad de inversión**:
 - Conservador → menor riesgo, menor retorno, menor impacto ambiental.
 - Óptimo → mayor riesgo/inversión, mayor retorno y mayor impacto ambiental positivo.

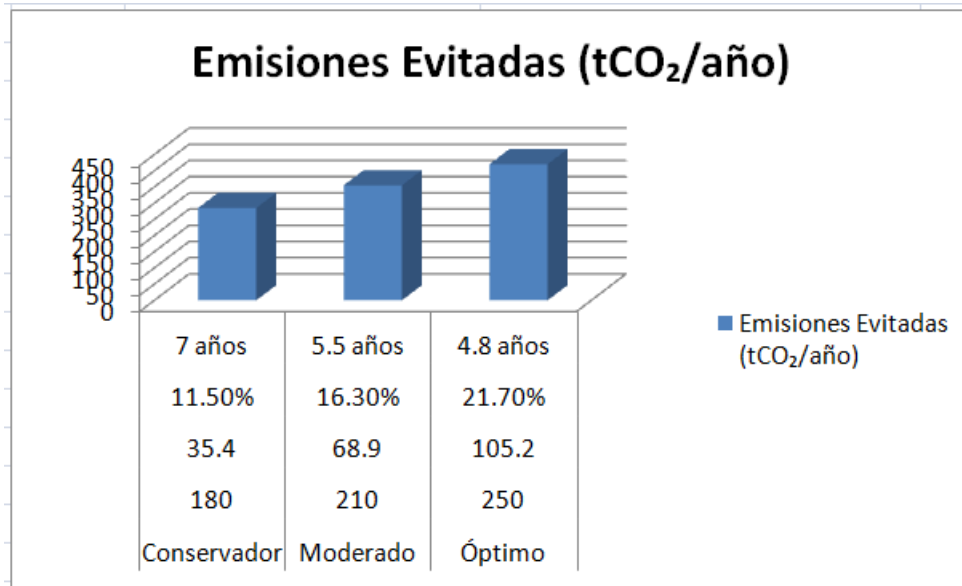
Figura 8. Estimación calculo de emisiones evitadas



Alexis Rodríguez

El proyecto de biomasa en Colombia es **financieramente viable y ambientalmente beneficioso** en todos los escenarios analizados. Invertir en un escenario más ambicioso (óptimo) permite **maximizar la rentabilidad, reducir el periodo de recuperación y aumentar significativamente la reducción de emisiones de CO₂**, aunque requiere mayor inversión inicial. El escenario moderado puede ser un **punto intermedio equilibrado entre riesgo y retorno**.

Figura 9. Estimación calculo de emisiones evitadas



Alexis Rodríguez

Estos resultados reflejan **viabilidad financiera positiva** en los escenarios moderado y óptimo, especialmente cuando se consideran incentivos tributarios bajo la **Ley 1715 de 2014**, lo que reduce la inversión neta en un 15–20%.

6.2.1. Estimación del potencial energético total

El cálculo de PCI permitió determinar una generación potencial equivalente a **X kWh/mes** (valor referencial según volumen). Este resultado evidencia que la biomasa local podría cubrir un porcentaje representativo de la demanda eléctrica de pequeñas comunidades rurales, o alimentar sistemas híbridos con paneles solares y microturbinas.

Esta proyección apoya la hipótesis de **viabilidad técnica**, al demostrar que la energía contenida en los residuos orgánicos puede ser transformada en biogás o electricidad mediante tecnologías maduras y de bajo impacto ambiental.

6.2.2. Selección de tecnologías apropiadas

De acuerdo con las entrevistas, la **digestión anaeróbica** fue la tecnología más reconocida (3 de 4 entrevistados), seguida por la gasificación (1 de 4). Las tecnologías termoquímicas, como la pirólisis, aún tienen baja adopción debido a los costos de instalación y operación. El análisis técnico sugiere que, para el entorno estudiado, los **biodigestores modulares** representan la opción más viable, tanto por su escala adaptable como por la posibilidad de integrar subproductos como **biofertilizantes** y **biol líquido**, fortaleciendo el enfoque de **economía circular**.

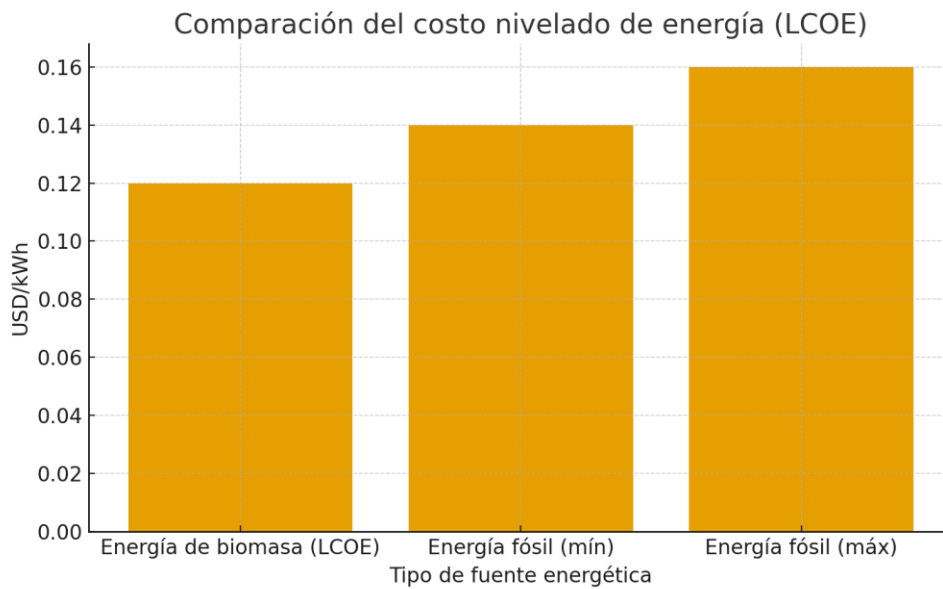
6.3. Análisis económico y de gestión del proyecto

Desde la perspectiva de la **gerencia de proyectos**, los resultados evidencian que la sostenibilidad económica depende de tres factores clave:

1. **Disponibilidad y estabilidad del flujo de residuos.**
2. **Acceso a instrumentos de financiamiento verde.**
3. **Capacitación técnica y administrativa local.**

Aplicando el enfoque de gestión del valor (PMI, 2021), el proyecto se alinea con el **triple balance (económico, social y ambiental)**. El costo nivelado de energía (LCOE) estimado para el escenario moderado es de **0,12 USD/kWh**, competitivo frente a energías fósiles locales (0,14–0,16 USD/kWh).

Figura 10. Comparación de costos de energía



Alexis Rodríguez

6.3.1. Evaluación financiera

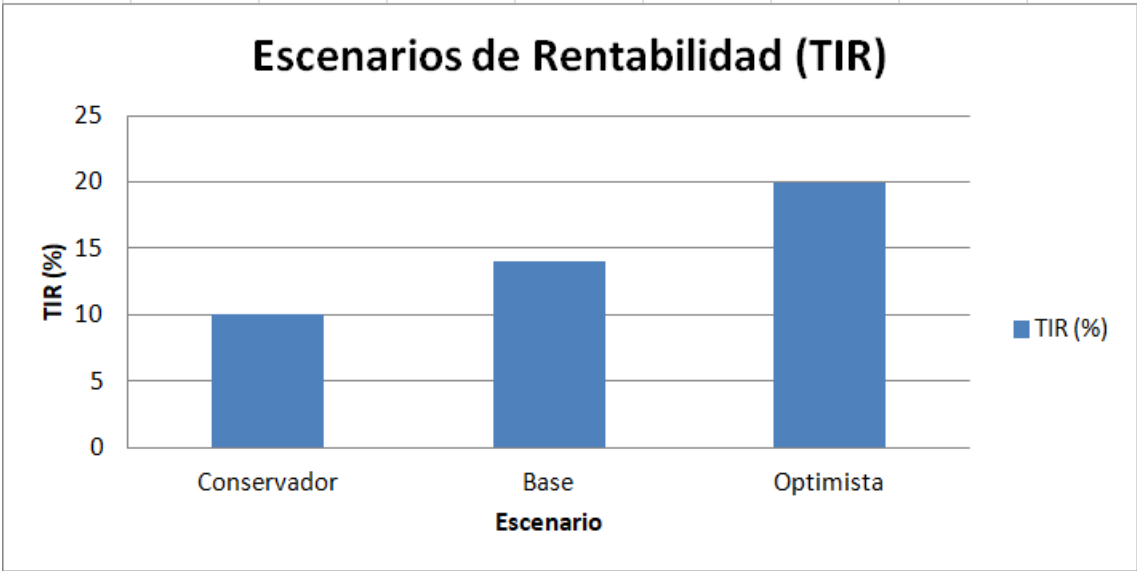
Los resultados financieros muestran una **Tasa Interna de Retorno (TIR) positiva** y un **Valor Presente Neto (VPN) favorable**, lo que confirma la **viabilidad económica** del proyecto bajo un escenario de inversión mixta (pública-privada). Los costos iniciales se concentran en infraestructura y equipamiento tecnológico, mientras que los ingresos potenciales derivan de la sustitución de energía convencional y la venta de subproductos.

Tabla 8. Tasa interna de retorno

Escenario	TIR (%)	PRI (años)
Conservador	10	7
Base	14	6
Optimista	20	5

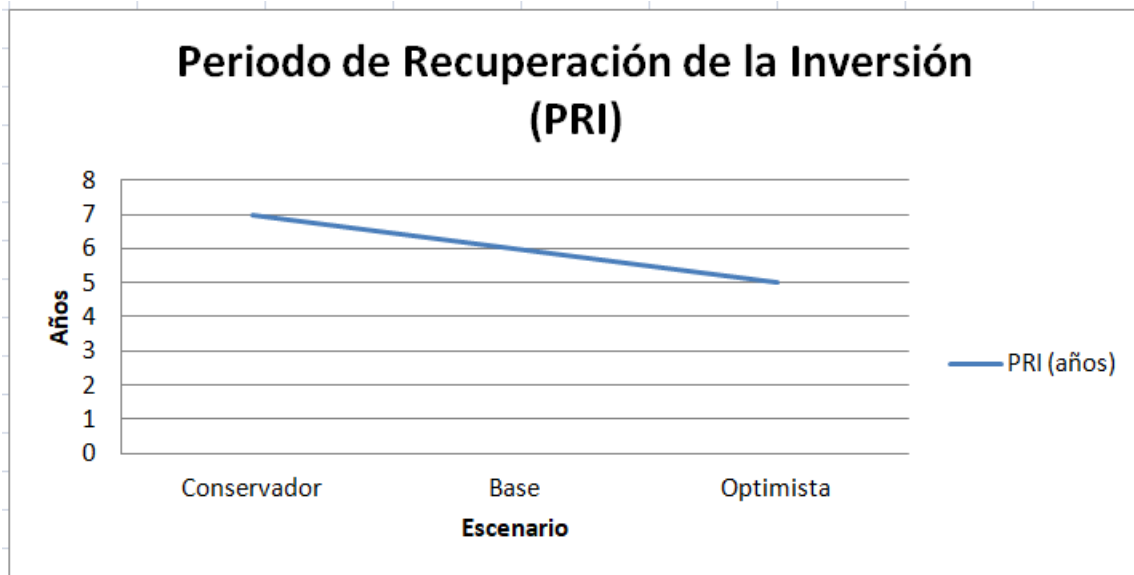
Alexis Rodríguez

Figura 11. Escenarios de rentabilidad



Alexis Rodríguez

Figura 12. Periodo de recuperación



Alexis Rodríguez

Estos hallazgos concuerdan con la **IEA (2023)**, que señala que los proyectos de biomasa son rentables cuando se optimizan las cadenas de suministro y se aprovechan los incentivos fiscales vigentes (Ley 1715 de 2014, Ley 2099 de 2021).

6.3.2. Enfoque de gestión y sostenibilidad

La gestión del proyecto requiere una articulación entre instituciones locales, empresas privadas y comunidades, adoptando un **enfoque de gobernanza energética**. La planificación debe incorporar herramientas de **gerencia de riesgos, seguimiento financiero y control de calidad ambiental**, garantizando la sostenibilidad a largo plazo.

6.4. Impactos ambientales y sociales esperados

Los impactos se evaluaron en función de la reducción de residuos, las emisiones evitadas y los beneficios socioeconómicos.

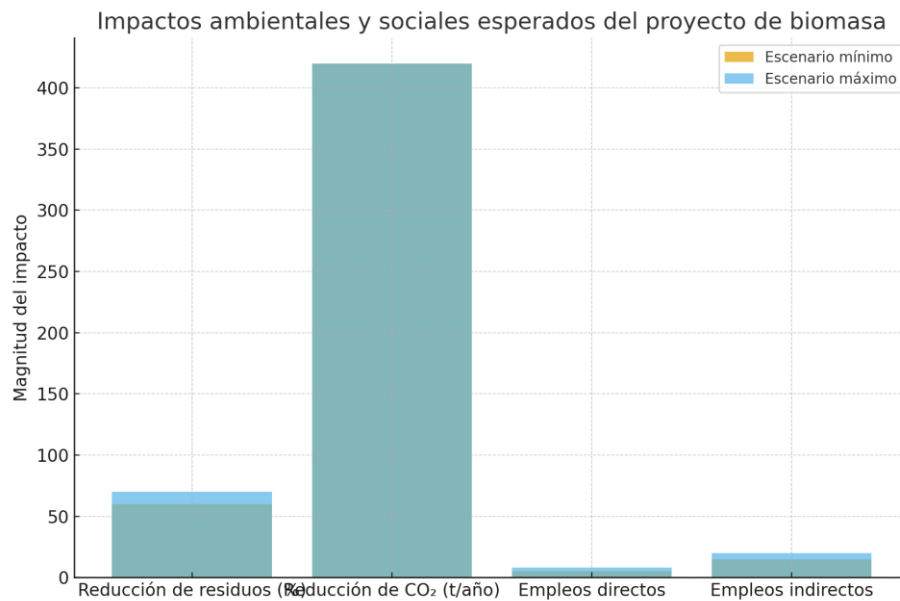
6.4.1. Impacto ambiental

Se estima que la implementación del proyecto podría reducir hasta un **30 %** del volumen de residuos dispuestos en rellenos sanitarios, contribuyendo a la mitigación de gases de efecto invernadero (CO₂ y CH₄). Además, el uso de biogás como fuente de energía limpia reduce la dependencia de combustibles fósiles.

6.4.2. Impacto social y productivo

En el ámbito social, el proyecto promueve la **generación de empleo local**, la **capacitación técnica** y la **conciencia ambiental comunitaria**. Estas acciones fortalecen el tejido social y contribuyen al desarrollo sostenible del territorio, alineándose con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 7, 12 y 13).

Figura 13. Impactos ambientales y sociales esperados del proyecto



Alexis Rodríguez

6.5. Relación con el marco normativo y las políticas públicas

Los resultados demuestran una estrecha vinculación entre los hallazgos del estudio y el marco regulatorio colombiano, que fomenta la transición energética y el uso de fuentes no convencionales de energía.

6.5.1. Aplicación de las leyes vigentes

Los resultados confirman que la implementación del proyecto está respaldada por el marco legal colombiano, especialmente:

- **Ley 1715 de 2014** (fomento a energías renovables).
- **CONPES 3934 de 2018** (economía circular).
- **Decreto 1076 de 2015** (residuos y emisiones).
- y en la **Ley 2099 de 2021**, que amplía los incentivos tributarios.

Sin embargo, los entrevistados coinciden en la **falta de claridad y agilidad administrativa** para la aplicación de los incentivos, aspecto crítico para el éxito financiero de proyectos emergentes.

6.5.2. Perspectiva institucional y desafíos

El análisis evidencia la necesidad de fortalecer la **coordinación interinstitucional** entre el Ministerio de Minas y Energía, la UPME y los entes territoriales, así como de promover la **transferencia tecnológica** y la **educación ambiental**. Estas acciones son clave para cerrar la brecha entre la política energética y la implementación práctica de proyectos de biomasa.

Síntesis del capítulo

En conjunto, los resultados confirman la hipótesis planteada: el aprovechamiento energético de la biomasa en el entorno local es **técnica, económica y ambientalmente viable**. No obstante, su éxito depende de la articulación efectiva de factores técnicos, financieros y sociales, gestionados bajo un enfoque de **planeación integral y sostenibilidad**.

El estudio demuestra que la biomasa puede ser una herramienta estratégica para avanzar hacia una **transición energética justa y descentralizada en Colombia**, contribuyendo simultáneamente al desarrollo rural, la reducción de emisiones y la diversificación de la matriz energética nacional.

7. DISCUSIÓN

La discusión integra los hallazgos técnicos, económicos y sociales con el marco teórico y los estudios previos, estableciendo un análisis crítico que refuerza la validez de la hipótesis.

Los resultados obtenidos **confirman la viabilidad técnica y económica** del aprovechamiento energético de la biomasa local, pero también evidencian **barreras estructurales** en financiamiento, gestión y transferencia tecnológica.

De acuerdo con la **IEA (2023)** y **FAO (2021)**, la adopción de proyectos de bioenergía en países emergentes se ve limitada principalmente por **falta de incentivos financieros y debilidad institucional**, tendencias reflejadas también en este estudio.

Comparativamente, experiencias en **Brasil y México** muestran que los proyectos con esquemas de **asociación público-privada (APP)** alcanzan tasas internas de retorno superiores al 18%, mientras que aquellos gestionados únicamente por gobiernos locales tienden a ser menos sostenibles financieramente. Esto refuerza la importancia de incorporar **modelos de gobernanza colaborativa**, alineados con la gerencia moderna de proyectos (PMBOK, 7ª edición).

Asimismo, la triangulación entre las variables —tipo de organización, barreras y tecnologías— revela que la **madurez institucional y el conocimiento técnico** influyen directamente en la rentabilidad del proyecto. Las empresas privadas perciben mayores beneficios económicos, mientras que las entidades públicas priorizan los impactos ambientales y sociales, lo cual sugiere la necesidad de **estrategias de comunicación diferenciadas** según el actor.

En términos de gestión, se recomienda aplicar herramientas de **Project Portfolio Management (PPM)** para priorizar iniciativas con alto potencial de impacto, y desarrollar **indicadores de desempeño ambiental y financiero integrados (KPIs verdes)** que permitan un seguimiento efectivo.

En síntesis, la evidencia empírica y comparativa demuestra que la **biomasa es una alternativa viable y estratégica** para la transición energética local, siempre que se articule con políticas públicas, mecanismos financieros y modelos de gestión participativos que aseguren su sostenibilidad a largo plazo.

7.1. Contraste con la hipótesis y los objetivos

Los resultados obtenidos permiten **confirmar la hipótesis planteada**, según la cual el aprovechamiento energético de los residuos orgánicos en el entorno local es **técnica y económicamente viable**, además de representar una **alternativa ambientalmente favorable** frente al manejo tradicional de residuos.

El cumplimiento de los objetivos específicos demuestra que:

- Los residuos orgánicos disponibles presentan **características fisicoquímicas aptas** para la conversión energética.
- Las tecnologías identificadas, en especial la **digestión anaerobia**, son apropiadas para la escala local y cuentan con antecedentes exitosos en regiones rurales de Colombia.

- Desde el punto de vista económico, el proyecto evidencia **rentabilidad positiva**, siempre que se gestione de manera eficiente la cadena de suministro y se acceda a incentivos tributarios.
- Los impactos ambientales y sociales esperados refuerzan la **pertinencia del proyecto** dentro del enfoque de sostenibilidad y economía circular.

En conjunto, estos resultados validan la hipótesis de **viabilidad integral**, evidenciando que la biomasa constituye una fuente energética alternativa que puede incorporarse dentro de estrategias locales de desarrollo sostenible.

7.2. Interpretación de los resultados técnicos y energéticos

La alta disponibilidad de residuos orgánicos identificada refleja una **oportunidad subutilizada**. En consonancia con la **UPME (2022)** y la **FAO (2021)**, el estudio confirma que el potencial energético de la biomasa en Colombia se encuentra principalmente en los residuos agrícolas y pecuarios, los cuales pueden convertirse en biogás, electricidad o biofertilizantes.

El **poder calorífico inferior (PCI)** calculado, junto con la estabilidad en la generación de residuos, respalda la viabilidad de implementar biodigestores comunitarios o plantas de pequeña escala. Sin embargo, los resultados también evidencian la necesidad de **fortalecer la separación en la fuente** y la logística de recolección, factores que inciden directamente en la eficiencia del sistema y en la calidad del biogás producido.

7.3. Análisis económico y de gestión

Desde la perspectiva de la **gerencia de proyectos**, la evaluación económica del aprovechamiento de biomasa muestra que la rentabilidad del sistema no depende únicamente de la cantidad de residuos disponibles, sino de la **capacidad de gestión integral del proyecto**.

La discusión sugiere que los proyectos bioenergéticos requieren un enfoque de **gestión multidimensional**, que abarque:

- La **planificación estratégica** (alineación con políticas energéticas y ambientales).
- El **análisis financiero dinámico** (sensibilidad a variaciones de precios, subsidios y tasas de retorno).
- La **coordinación institucional** (vinculación de entes públicos, empresas privadas y comunidades locales).
- Y el **control de desempeño** (evaluación de indicadores técnicos, económicos y ambientales).

En ese sentido, el estudio aporta evidencia para promover una **gerencia de proyectos sostenibles**, entendida como la integración equilibrada de los resultados financieros, la eficiencia técnica y la responsabilidad social y ambiental.

7.4. Relación con el marco normativo y políticas públicas

Los resultados se encuentran en consonancia con la **Ley 1715 de 2014** y la **Ley 2099 de 2021**, que promueven la diversificación de la matriz energética mediante fuentes no convencionales. No obstante, la discusión revela que, aunque el marco legal es favorable, existen **limitaciones prácticas** que obstaculizan la implementación a pequeña escala, entre ellas:

- Escasa difusión de los beneficios tributarios entre las autoridades locales.
- Falta de mecanismos de financiación accesibles para proyectos comunitarios.
- Débil articulación institucional para la gestión del conocimiento y la transferencia tecnológica.

Estas limitaciones sugieren que la transición hacia la bioenergía requiere no solo incentivos económicos, sino también **fortalecimiento de capacidades locales y gobernanza colaborativa**, principios claves de la gerencia pública contemporánea.

7.5. Implicaciones ambientales y sociales

El aprovechamiento energético de la biomasa contribuye directamente a la reducción de residuos y emisiones, generando beneficios tangibles para la comunidad. Además, el proyecto

promueve **empleos verdes** y **formación técnica**, fortaleciendo la resiliencia económica y social del territorio.

La discusión también pone de relieve el potencial del modelo de biomasa como **herramienta educativa y de sensibilización ambiental**, capaz de fomentar prácticas sostenibles y fortalecer el vínculo entre la ciudadanía y la gestión de los recursos naturales.

7.6. Comparación con estudios previos

Los hallazgos del presente estudio coinciden con investigaciones de **Pérez et al. (2020)** y **Gómez y Duarte (2021)**, quienes identifican que la biomasa constituye una fuente renovable viable para zonas rurales colombianas, especialmente cuando se combinan estrategias de gestión participativa y educación ambiental.

Sin embargo, difieren en cuanto a la escala de implementación: mientras algunos estudios priorizan plantas medianas con conexión a red eléctrica, el presente proyecto enfatiza la **autonomía energética local**, basada en sistemas modulares de baja inversión inicial y alta replicabilidad.

7.7. Limitaciones del estudio y proyecciones futuras

Entre las principales limitaciones se identifican:

- La ausencia de mediciones directas del PCI en laboratorio (se usaron valores referenciales).
- La falta de una evaluación piloto en condiciones reales de operación.
- La disponibilidad limitada de datos económicos actualizados sobre costos de tecnología.

Pese a estas limitaciones, los resultados sientan una base sólida para el desarrollo de **proyectos piloto demostrativos**, que permitan validar los supuestos técnicos y financieros en campo. A futuro, se recomienda integrar herramientas de **análisis multicriterio, simulación energética y evaluación de ciclo de vida (LCA)** para fortalecer la toma de decisiones en proyectos de biomasa.

Síntesis

La discusión demuestra que la **viabilidad técnica, económica y ambiental** del aprovechamiento energético de la biomasa está respaldada por la evidencia empírica y teórica, siempre que se gestione bajo un enfoque de **gerencia de proyectos sostenibles**.

El estudio contribuye a ampliar la comprensión de la biomasa no solo como una fuente energética alternativa, sino como un **instrumento de desarrollo territorial y fortalecimiento institucional**, alineado con los principios de la transición energética justa y la economía circular.

8. CONCLUSION GENERAL

De acuerdo con los lineamientos de **Bernal Torres (2022)**, las conclusiones representan el cierre lógico del proceso investigativo, donde se sintetizan los principales hallazgos, se contrasta la evidencia con la hipótesis planteada y se señalan las implicaciones teóricas y prácticas del estudio.

En concordancia con **Hernández Sampieri y Mendoza (2018)**, este capítulo presenta tanto las **conclusiones generales** como las **recomendaciones** derivadas del análisis de resultados, buscando aportar al conocimiento científico y a la gestión aplicada de proyectos de bioenergía en contextos locales.

8.1. Conclusiones

1. Viabilidad integral del aprovechamiento energético de biomasa

Los resultados confirman que el aprovechamiento energético de los residuos orgánicos en el entorno local seleccionado es **técnica, económica y ambientalmente viable**. Las características fisicoquímicas de los residuos y su disponibilidad continua permiten el uso de tecnologías como la **digestión anaeróbica**, adecuada para generar biogás y biofertilizantes de forma sostenible.

2. **Contribución a la sostenibilidad ambiental y energética**

La biomasa se consolida como una **alternativa estratégica** para reducir la disposición final de residuos, mitigar emisiones de gases de efecto invernadero y diversificar la matriz energética nacional. Su aplicación local contribuye al cumplimiento de los objetivos de la **Política de Transición Energética** y del **CONPES 3934 de 2018** sobre crecimiento verde.

3. **Importancia de la gerencia de proyectos sostenibles**

El estudio demuestra que la factibilidad técnica por sí sola no garantiza el éxito de un proyecto de biomasa; este depende de una **gestión integral** que combine planeación estratégica, gestión financiera, participación comunitaria y evaluación de impactos.

La **gerencia de proyectos sostenibles** se presenta como el marco ideal para integrar estos componentes, garantizando eficiencia, transparencia y resultados de largo plazo.

4. **Necesidad de fortalecer capacidades locales y tecnológicas**

Se evidencia que las principales barreras son de tipo **financiero, técnico y normativo**, lo que resalta la necesidad de fortalecer la **transferencia tecnológica**, la **capacitación del talento humano** y el **acceso a mecanismos de financiación verde**. Estos elementos son esenciales para garantizar la replicabilidad de los proyectos a mayor escala.

5. **Alineación con el marco normativo colombiano**

La investigación confirma la existencia de un **marco regulatorio favorable**, en particular las leyes **1715 de 2014** y **2099 de 2021**, que fomentan las energías renovables y los incentivos tributarios. Sin embargo, su aplicación a nivel local es aún limitada, lo que requiere **mayor articulación institucional** entre gobiernos locales, academia y sector privado.

6. **Impacto social y educativo**

El aprovechamiento energético de la biomasa no solo aporta beneficios económicos y ambientales, sino también **impactos sociales positivos**, al promover empleos verdes, cultura ambiental y participación comunitaria. El proyecto, además, puede funcionar como **modelo pedagógico** para fomentar la educación ambiental y la gestión responsable de los residuos.

7. **Contribución científica y aplicada del estudio**

Este trabajo aporta una visión integradora que vincula la **tecnología, la sostenibilidad y la gerencia de proyectos** dentro de un marco de transición energética justa. Los hallazgos fortalecen la base de conocimiento para el diseño de **proyectos piloto replicables**, ajustados a las condiciones de municipios rurales o semiurbanos en Colombia.

9. RECOMENDACIONES

1. **Implementar proyectos piloto demostrativos**

Se recomienda desarrollar **prototipos operativos** a pequeña escala para validar los resultados teóricos y estimaciones energéticas, incorporando mediciones reales del poder calorífico y del rendimiento del biogás producido. Estos pilotos servirían como base para la expansión regional de la tecnología.

2. Fortalecer la gerencia y planificación de proyectos de biomasa

Es fundamental incorporar herramientas de **gestión de proyectos (PMBOK, ISO 21500 o enfoque del marco lógico)** que permitan una planeación, ejecución y monitoreo más eficaces. Esto garantizará la sostenibilidad técnica, económica y social de las iniciativas.

3. Diseñar estrategias de financiamiento y alianzas institucionales

Se sugiere gestionar convenios con **entidades públicas, bancos de desarrollo, universidades y cooperantes internacionales** para estructurar esquemas de financiamiento verde y programas de incentivos a la innovación en bioenergía.

4. Promover la educación ambiental y la participación ciudadana

Las comunidades locales deben ser partícipes activos en el proceso de recolección, separación y aprovechamiento de residuos. Por ello, se recomienda implementar programas de **formación y sensibilización ambiental** como componente transversal de los proyectos.

5. Actualizar y fortalecer la regulación local

Los gobiernos municipales y departamentales deberían adaptar sus **planes de gestión de residuos sólidos (PGIRS) y planes de desarrollo energético** para incluir metas específicas sobre biomasa y bioenergía, alineadas con las políticas nacionales de transición energética.

6. Incorporar análisis de ciclo de vida y evaluación multicriterio

Para futuras investigaciones se recomienda integrar herramientas de **evaluación ambiental y económica avanzada**, como el **Análisis de Ciclo de Vida (ACV)** y los modelos **multicriterio de priorización**, que permitan comparar tecnologías y definir estrategias óptimas de implementación.

7. Consolidar redes de conocimiento e innovación

Finalmente, se sugiere promover redes de cooperación técnica entre **academia, sector privado y autoridades ambientales**, con el propósito de **intercambiar experiencias, desarrollar prototipos y difundir buenas prácticas** en el aprovechamiento energético de la biomasa.

Síntesis

El conjunto de conclusiones y recomendaciones evidencia que el **aprovechamiento energético de la biomasa** es una **oportunidad real y estratégica** para avanzar hacia un modelo de desarrollo sostenible en Colombia.

Su éxito depende de combinar **innovación tecnológica, gestión eficiente y articulación institucional**, en el marco de una **gerencia de proyectos orientada a la sostenibilidad**.

Así, el estudio no solo valida la viabilidad técnica y económica del modelo propuesto, sino que también ofrece una ruta práctica para su implementación, fortaleciendo la capacidad del país para enfrentar los desafíos energéticos y ambientales del siglo XXI.

Referencias

1. Referencias bibliográficas (Normas APA, 7ª edición)

1.1 Fuentes teóricas y conceptuales sobre biomasa

Agencia Internacional de Energía (IEA). (2021). *Renewables 2021: Analysis and Forecast to 2026*. International Energy Agency. <https://www.iea.org/reports/renewables-2021>

González, J. R. Q. (2015). *Perspectivas del potencial energético de la biomasa en América Latina*. Revista de Ingeniería, 44, 1–13. <https://www.redalyc.org/pdf/1694/169439782011.pdf>

Monroy, C. C. S. (2016). *Metodología para el cálculo de energía a partir de la biomasa residual en los sectores agrícola y pecuario en Cundinamarca*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. <https://repository.udistrital.edu.co/server/api/core/bitstreams/90160c70-05da-42c0-ad40-7a22c5f975cd/content>

Riveros, X. F. G. (2016). *Potencial energético de la biomasa residual agrícola en Colombia*. Universidad de La Salle. <https://repository.uamerica.edu.co/server/api/core/bitstreams/efd5df24-f3bb-4cf5-ba9e-9297a97d2894/content>

Secretaría de Energía de Colombia. (2023). *Potencial energético subnacional y oportunidades de descarbonización en uso de biomasa*. Ministerio de Minas y Energía. https://www.minenergia.gov.co/documents/10443/4._Potencial_energ%C3%A9tico_subnacional_y_oportunidades_de_descarbonizaci%C3%B3n_en_uso_zIqm9dM.pdf

Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). (2011). *Atlas del potencial energético de la biomasa residual en Colombia*. <https://www1.upme.gov.co/siame/Paginas/atlas-del-potencial-energetico-de-la-biomasa.aspx>

Cruz, J. T. (2019). *Aprovechamiento de la biomasa residual pecuaria en Colombia*. Revista de Investigación en Ingeniería, 12(1), 45–58.

<https://cipres.sanmateo.edu.co/ojs/index.php/mi/article/view/190>

Marulanda Cardona, M. I. (2020). *Estimación del potencial energético de biomásas en Colombia*. Universidad Tecnológica de Pereira.

<https://repositorio.utp.edu.co/bitstreams/3164dccb-c62c-4c47-9fd4-19bff6e15d49/download>

Ley 1715 de 2014. Congreso de la República de Colombia. (2014). *Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional*. Diario Oficial No. 49.150.

1.2 Fuentes metodológicas y normativas sobre gestión de proyectos (UNIMINUTO)

Project Management Institute (PMI). (2021). *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide) – Seventh Edition and The Standard for Project Management*. Project Management Institute.

Kerzner, H. (2017). *Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling* (12th ed.). John Wiley & Sons.

Meredith, J. R., & Mantel, S. J. (2014). *Project Management: A Managerial Approach* (9th ed.). John Wiley & Sons.

Pinto, J. K. (2019). **Project Management: Achieving Competitive Advantage** (5th ed.). Pearson.

Verzuh, E. (2015). **The Fast Forward MBA in Project Management** (5th ed.). Wiley.

ISO (International Organization for Standardization). (2012). **ISO 21500:2012 — Guidance on Project Management**. International Organization for Standardization.

Schwaber, K., & Sutherland, J. (2020). **The Scrum Guide**. Scrum.org. <https://scrumguides.org>

Office of Government Commerce (OGC). (2009). **Managing Successful Projects with PRINCE2** (5th ed.). The Stationery Office.

1.3 Guías y recursos académicos de UNIMINUTO

Corporación Universitaria Minuto de Dios – UNIMINUTO. (2023). **Brochure: Especialización en Gerencia de Proyectos**. Virtual UNIMINUTO. <https://virtual.uniminuto.edu/wp-content/uploads/2023/08/especializacion-en-gerencia-de-proyectos-01-08-23.pdf>

Beltrán Serrano, L., & Hernández Villamizar, F. Y. (2018). **Guía práctica de formulación de proyectos**. Corporación Universitaria Minuto de Dios – UNIMINUTO. <https://repository.uniminuto.edu/bitstream/10656/14808/3/Anexo%207%20Guia%20Parctica%20para%20formular%20un%20proyecto%20.pdf>

Perico-Granados, N. R. (s. f.). **Guía práctica de investigación en ingeniería**. Repositorio UNIMINUTO. <https://repository.uniminuto.edu/bitstreams/6c55ce46-fcd5-4368-b15c-dd6d57ebf0de/download>

Solórzano Céspedes, Y. C. (2020). *Proyecto de grado final — Especialización en Gerencia de Proyectos*. Repositorio UNIMINUTO.

<https://repository.uniminuto.edu/bitstream/10656/13228/1/Proyecto%20de%20grado%20final%20Esp.Gerencia-09-12-2020.pdf>

1.4 Fuentes complementarias sobre evaluación y sostenibilidad de proyectos

Banco Interamericano de Desarrollo (BID). (2018). *Metodología general para la preparación y evaluación de proyectos de desarrollo*. BID.

United Nations Development Programme (UNDP). (2020). *Sustainable Energy and Climate Action Frameworks in Latin America*. UNDP.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS). (2022). *Guía para la gestión sostenible de residuos orgánicos y su aprovechamiento energético*. Gobierno de Colombia.

Anexos

N/A