

ANÁLISIS DE ESTRATEGIAS QUE PROMUEVEN LA ADOPCIÓN DE BIOMASAS
COMO FUENTE DE ENERGÍA EN COLOMBIA

PRESENTADO POR:

JUAN GUILLERMO DIAZ NIETO

ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE PROYECTOS

LUIS ALEJANDRO PARDO GONZALEZ

*ESPECIALIZACIÓN EN GESTIÓN DE SISTEMAS Y TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN
DE LA EMPRESA*

SILVIA FERNANDA RODRIGUEZ VALERO

ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE PROYECTOS

DIRECTORA:

LUZ MARINA SANCHEZ AYALA

SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN ESPECIALIZACIÓN

UNIVERSIDAD EAN

FACULTAD DE INGENIERÍA

BOGOTÁ, 2024

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	4
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	5
1.1. Introducción.....	5
1.2. Descripción del Problema.....	5
1.3. Pregunta de investigación.....	6
2. OBJETIVOS.....	7
2.1. Objetivo general.....	7
2.2. Objetivos específicos.....	7
3. LA BIOMASA COMO FUENTE DE ENERGÍA RENOVABLE EN COLOMBIA	8
3.1. Definición de biomasa	8
3.2. Potencial energético de la biomasa en Colombia.....	9
3.3. Tecnologías para la generación de energía a partir de la biomasa	9
3.4. Beneficios ambientales y sociales de la bioenergía	11
3.5. Marco regulatorio para la bioenergía en Colombia	12
3.6. Desafíos y oportunidades para el desarrollo de la bioenergía en Colombia	14
5. DISEÑO METODOLÓGICO.....	17
6. ANÁLISIS DEL SECTOR.....	19
5.1. Energía eléctrica en Latinoamérica.....	19

5.2.	Energía Eléctrica en Colombia	19
5.3.	Energías renovables en Latinoamérica	20
5.4.	Energías renovables en Colombia.....	20
5.5.	PESTEL	22
7.	ESTADO DEL ARTE.....	39
6.1.	Preguntas orientadoras	39
7.	ANÁLISIS.....	62
8.	CONCLUSIONES.....	66
9.	RECOMENDACIONES.....	67
10.	REFERENCIAS.....	68

RESUMEN

La presente investigación busca identificar las estrategias de promoción del uso de biomasa como fuente de energía en Colombia, desde una visión descriptiva, cualitativa basado en análisis de documentos y literatura se abordaran las definiciones de biomasa, sus distintas fuentes, sus usos como generadores de energía, y el impacto del uso de biomasa en el medio ambiente, se establecerá la relación entre la generación de energía en la región de América, y Latinoamérica y las diferentes fuentes de energías renovables incluida la biomasa, culminando con un análisis la adopción de la biomasa como fuente de energía renovable en Colombia, su normativa o marco regulatorio, sus aportes al sistema de generación eléctrica del país, y los desafíos y oportunidades de utilización de biomasa como fuente de energía en Colombia.

Palabras clave: Biomasa, Bioenergía, Biocombustibles, Cogeneración, Energías Renovables.

ABSTRACT

The present research seeks to identify strategies to promote the use of biomass as a source of energy in Colombia, from a descriptive, qualitative vision based on analysis of documents and literature, the definitions of biomass, its different sources, its uses as energy generators will be addressed. , and the impact of the use of biomass on the environment, the relationship between energy generation in the region of America and Latin America and the different sources of renewable energy including biomass will be established, culminating with an analysis of the adoption of biomass as a source of renewable energy in Colombia, its regulations or regulatory framework, its contributions to the country's electricity generation system, and the challenges and opportunities of using biomass as a source of energy in Colombia.

Key words: Biomass, Bioenergy, Biofuels, Cogeneration, Renewable Energies.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Introducción

Colombia posee un gran potencial para la generación de energía renovable. Según datos del Ministerio de Minas y Energía (2015), solo el 3% de la energía final consumida en Colombia provino de la biomasa y residuos combinados, la capacidad de generación eléctrica del SIN a diciembre 2014 reportó solo 0,1% de la capacidad instalada. Sin embargo, la adopción de esta tecnología aún enfrenta diversos desafíos.

1.2. Descripción del Problema

A pesar del potencial de la biomasa, su participación en la matriz energética nacional sigue siendo baja. El Ministerio de Minas y Energía (2021), reportó que para 2018 la generación de energía por biomasa, biogás y geotermia combinados representaban el 1% del potencial total de energía del país, aunque para el 2022 se esperaba que fuera del 14% gracias a la contratación de 2.400 megavatios de capacidad instalada. Aun así, diversos factores obstaculizan su desarrollo, entre ellos:

Requisitos técnicos:

- UPME (2015) menciona que la normativa a 2014 exige un rendimiento eléctrico mínimo (REE) para ser considerado cogenerador. Este valor, según el combustible, es inasequible para muchos procesos con biomasa o combustibles de origen agrícola COA (excepto caña de azúcar), impidiéndoles ser cogeneradores.

Inflexibilidad:

- El informe de la UPME (2015) menciona que las plantas de cogeneración mayores a 20MW deben acogerse al despacho central del mercado eléctrico. En las condiciones actuales, esto las obligaría a ser inflexibles en su oferta de precio y las expondría a penalizaciones por desviaciones en su pronóstico. A diferencia de las plantas menores a 20MW, que no tienen estas restricciones.

Conocimiento:

- No se comprende exactamente cuáles son las características de los combustibles de origen agrícola que pueden ser usado en los procesos de generación o cogeneración. No se sabe cuáles son:

- a. Las alternativas tecnológicas adecuadas
- b. Costos de oportunidad
- c. Costos de manejo
- d. Niveles de producción disponibles
- e. Requerimientos para su eficiente aprovechamiento.

Respaldo:

- La valoración y negociación de contratos de respaldo es complejo, adicionalmente tiene altos costos asociados.

Marco regulatorio:

- Pinto (2015) expresa que la política pública para la bioenergía en Colombia ha sido insuficiente. La Ley 1715 de 2014 estableció un marco regulatorio para la promoción de la bioenergía, pero su implementación ha sido lenta y desigual.

- La figura de cogeneración está limitada a procesos productivos por la ley 1715 de 2014, esto excluye la participación de terceros o sectores diferentes al industrial. UPME (2015) menciona que se han dado avances, la resolución de la CREG 153 de 2013 abrió la posibilidad para que los cogeneradores pudieran participar en la subasta bajo el cumplimiento de ciertos requerimientos.

1.3. Pregunta de investigación

¿Cuáles son las estrategias que promueven la adopción de Biomásas como fuente de energía en Colombia?

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Analizar las estrategias que promueven la adopción de Biomosas como fuente de energía en Colombia.

2.2. Objetivos específicos

1. Identificar y categorizar las estrategias existentes para la promoción de la biomasa en Colombia como fuente de energía.
2. Comparar la adopción de biomasa en los diferentes sectores energéticos en Colombia.
3. Determinar las oportunidades de mejora para las estrategias de adopción de biomasa existentes.

3. LA BIOMASA COMO FUENTE DE ENERGÍA RENOVABLE EN COLOMBIA

La biomasa se ha convertido en una alternativa viable para la generación de energía en Colombia, debido a su abundancia, sostenibilidad y potencial para contribuir a la diversificación de la matriz energética del país. Este marco teórico abordará los aspectos relevantes de la generación de energía a partir de la biomasa en Colombia, incluyendo:

- Definición de biomasa y sus diferentes tipos.
- Potencial energético de la biomasa en Colombia.
- Tecnologías para la generación de energía a partir de la biomasa.
- Beneficios ambientales y sociales de la bioenergía.
- Marco regulatorio para la bioenergía en Colombia.
- Desafíos y oportunidades para el desarrollo de la bioenergía en Colombia.

3.1. Definición de biomasa

Es posible encontrar múltiples definiciones referentes al concepto de biomasa como la utilizada por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos OCDE que define a la biomasa como material de origen vegetal, residual o material de origen animal. En el caso de los residuos puede ser de origen urbano o industrial que se utilizan para producción de energía u otros materiales (OECD/FAO, 2020), igualmente, en el Parlamento Europeo, en su Directiva (UE) 2018/2001 sobre fuentes de energía renovables el desecho o residuo, se define a la biomasa como el desecho, residuo o producto biodegradable de sustancias de origen agrario, vegetal o animal de las industrias conexas, así como los residuos industriales o urbanos de origen biológico. (Parlamento Europeo, 2018).

Basados en la definición de biomasa y basados en la perspectiva de su origen para su uso energético se puede clasificar a la biomasa en 3 tipos, 1) biomasa natural: aquella producida en la naturaleza sin ninguna intervención; 2) biomasa residual: residuo a subproducto de actividades agrícolas, industriales, ganaderas, silvícolas o de aceites reciclados; 3) biomasa de cultivos energéticos: son cultivos agrícolas destinados a la producción de biocombustibles (García-Torres, 2017.). En otra clasificación de biomasa, se clasifica desde 1) sector agrario, estarían los desechos de cosechas o

residuos vegetales de la actividad agraria. 2) la biomasa de cultivo industrializado, con propósito de generación de consumibles (Callejón Ferre, 2011); 3) biomasa enfocada en su uso o producto, generado a partir de la biomasa son biomateriales como aceites, pinturas o adhesivos, biocombustibles sólidos como carbón o bagazo, biocombustibles líquidos como etanol y metanol, biocombustibles gaseosos como gas metano o hidrógeno, finalmente bioquímicos como fenoles, carbón activo o aditivos para biocombustibles. (García & Martínez, 2014).

3.2. Potencial energético de la biomasa en Colombia

Las condiciones climáticas de Colombia en sus cordilleras tienen un gran potencial para desarrollar y usar energías renovables como la energía eólica, energía generada por biomasa, solar, pequeñas centrales hidroeléctricas o geotérmica; respecto a la generación de energías a partir de biomasa tiene gran potencial debido a la gran generación de residuos forestales y, en especial, agrícolas por la utilización de pulpa de palma de aceite, pulpa de café, cascarilla de arroz, bagazo de caña, entre otros. (Robles & Rodríguez, 2018), La Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) dentro del Atlas del potencial energético de la Biomasa residual en Colombia, estima el potencial energético de biomasa residual agrícola en Colombia de 12.000 MWh/año. (UPME, 2020a)

En el Plan Energético Nacional 2020-2050 (PEN 2020-2050) elaborado por la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME), se analiza la importancia de la biomasa como fuente de energía en los consumidores del país, donde se espera que en 2050 participe del 11 % de la biomasa en la oferta energética del país y una generación de 401 MW año de producción en la capacidad instalada. (UPME, 2020b)

3.3. Tecnologías para la generación de energía a partir de la biomasa

El aprovechamiento de la biomasa como fuente de energía renovable representa una estrategia clave para la mitigación del cambio climático y la transición hacia un modelo energético más sostenible (Arauzo et al., 2014). La biomasa, materia orgánica derivada de procesos biológicos, ofrece ventajas significativas, como su capacidad para almacenar energía solar por fotosíntesis y su potencial para diversificar las fuentes de energía, reduciendo la dependencia de los combustibles fósiles. Existen diversas tecnologías para la conversión de biomasa en energía utilizable, que

pueden clasificarse en cuatro grupos principales: biológica, mecánica, química y termoquímica. Cada tecnología se adapta a diferentes tipos de biomasa y condiciones específicas, dependiendo del producto final deseado y su composición.

- La conversión biológica implica procesos como la fermentación, la digestión anaerobia, la hidrólisis enzimática y el compostaje, utilizados para producir biogás, bioetanol y otros químicos. La digestión anaerobia, en particular, es una tecnología destacada para la producción de biogás a partir de residuos orgánicos, con aplicaciones en el tratamiento de aguas residuales y residuos sólidos.
- La conversión mecánica incluye operaciones como el prensado, extracción y producción de pellets, que se utilizan para transformar biomasa sólida en formas más manejables y densas, como pellets de madera o briquetas.
- La conversión química abarca procesos como la transesterificación, utilizada para la producción de biodiésel a partir de aceites vegetales, y otras reacciones químicas destinadas a la obtención de productos químicos a partir de biomasa.
- La conversión termoquímica comprende tecnologías como la pirólisis y la gasificación. Estos procesos implican la descomposición térmica de la biomasa en ausencia total de oxígeno, produciendo productos como carbón vegetal, bio-aceites y gases combustibles como el hidrógeno y el metano. La pirólisis, en particular, puede ser un paso crucial para la obtención de productos valiosos a partir de la biomasa, como biochar y bio-aceites, que tienen aplicaciones en agricultura, industria y energía.

Las tecnologías para la generación de energía a partir de la biomasa han experimentado un notable desarrollo en los últimos tiempos, abriendo un amplio abanico de posibles aplicaciones (de Lucas Herguedas et al., 2012). La diversidad de biomásas existentes se combina con diferentes técnicas de transformación, como la combustión directa, la pirólisis, la gasificación, la fermentación y la digestión anaeróbica, lo que genera distintas formas de producir tanto energía térmica como eléctrica, pasando por los biocombustibles y los gases combustibles.

En conclusión, el uso de la biomasa como fuente de energía renovable puede abordar los desafíos energéticos en Colombia, teniendo en cuenta que a partir de esta es posible promover el desarrollo económico, la sostenibilidad ambiental y el bienestar de las comunidades, brindando aplicaciones

que abarcan desde la producción de calor y electricidad hasta la fabricación de biocombustibles y gases combustibles, diversificando así las fuentes de energía y promoviendo la sostenibilidad ambiental (Sánchez-Gómez & Fajardo-Pinilla, 2019). Por otra parte, se requiere considerar el diseño de sistemas de digestión a gran escala, pues es crucial para la generación eficiente de energía a partir de la biomasa, analizando parámetros clave, como el tiempo de retención hidráulica y la eficiencia de conversión de energía, para optimizar la producción de electricidad y calor. (Akter et al., 2024)

3.4. Beneficios ambientales y sociales de la bioenergía

La bioeconomía ha emergido como un factor importante en las distintas políticas públicas nacionales e internacionales como respuesta al cambio climático y la disminución de recursos que han sido considerados estratégicos (Ballesteros, 2018). La energía es un insumo fundamental del tejido productivo y la bioenergía es un elemento central en esta nueva bioeconomía, al ser una importante fuente de creación de puestos de trabajo, especialmente en áreas rurales, locales y regionales. Asimismo, la bioenergía tiene un papel estratégico en la lucha contra el cambio climático y en la reducción de la dependencia de las importaciones de combustibles teniendo en cuenta que la economía ambiental, arraigada en la teoría neoclásica, se centra en el tratamiento de las externalidades y la asignación óptima intergeneracional de los recursos (Cristiano & Mirandázanetti, 2019), es así como el desarrollo de la bioenergía y la bioeconomía presentan una oportunidad significativa para abordar tanto los desafíos ambientales como los sociales asociados con la producción agrícola en Colombia.

La integración de la biomasa al sector primario, comprendido por actividades agrícolas, forestales y ganaderas, además de otras industrias del medio rural tales como cooperativas agroalimentarias, industria papelera y maderera, entre otras, resalta el atractivo del sector energético a partir de la biomasa en los entornos rurales. A partir de esta integración no solo surgen nuevas oportunidades laborales que disminuyen las altas tasas de desempleo en el sector agrícola colombiano, sino que también impulsa la creación de nuevos cargos relacionados que permiten la generación de más oportunidades. (Ballesteros, 2018)

En Colombia, donde se encuentra una importante producción del sector primario, se están explorando oportunidades para aprovechar la biomasa derivada de los cultivos en la generación de energía y otros usos. Aunque el país enfrenta desafíos en términos de distribución inequitativa de tierras y altas tasas de desplazamiento interno, iniciativas gubernamentales y programas de reforma rural buscan abordar estas preocupaciones y proteger los derechos de los campesinos y comunidades afectadas (Díaz-Chavez, 2019). Además, la captura de metano y la generación de electricidad a partir de biogás pueden beneficiar a las comunidades rurales locales, aumentando el acceso a la energía y creando oportunidades económicas adicionales. Por otra parte, el acceso a servicios modernos de energía puede facilitar el establecimiento y el crecimiento de microempresas, así como impulsar el comercio local al permitir la operación de negocios durante más horas del día.

La bioenergía desempeña un papel crucial en la evolución hacia una nueva bioeconomía, basada en recursos orgánicos renovables en contraposición al actual modelo basado en recursos fósiles (Ballesteros, 2018). Para garantizar un futuro prometedor para la biomasa energética, es fundamental promover una producción responsable desde su origen. Esto implica la implementación de un sistema internacional de certificación que evalúe las emisiones de gases de efecto invernadero, teniendo en cuenta los aspectos tecnológicos, sociales y ambientales, tales como los tipos de conversión energética, la lucha contra la pobreza y el cambio climático, asegurando así el bienestar social y la prosperidad de las comunidades. De esta manera, no solo se reducirán las emisiones, sino que también se brindarán beneficios adicionales al sector agrícola.

3.5. Marco regulatorio para la bioenergía en Colombia

El marco regulatorio es el factor más importante para permitir el desarrollo e implementación de las nuevas tecnologías, no en vano las reglas de juego claras, los beneficios y las garantías por parte del estado siempre son indispensables para abordar inversiones de alto riesgo como son las energías renovables, en esta línea Alzate et al., (2019) menciona que, para superar la barrera a la inversión inicial, la Ley 1715 de 2014 estableció:

- Incentivos fiscales que eximen la adquisición de equipos y estudios de consultoría del pago de impuesto al valor agregado (IVA).

- Permiten una deducción de hasta el 50% de los costos de inversión para 15 años.

Posteriormente, debido a las necesidades para seguir desarrollando las energías renovables surge el decreto 829 del 10 de junio de 2020, el cual derogó los artículos 11, 12, 13 y 14 de la Ley 1715 de 2014, este decreto estableció un nuevo marco de incentivos para la generación de electricidad utilizando fuentes no convencionales. (Ministerio de Hacienda y Crédito Público, 2020). Rendón, (2021) señala que con este nuevo decreto se pretendía agilizar el trámite de incentivos establecidos en la Ley 1715 de 2014 para FNCER y gestión energética, reduciendo a 45 días hábiles los trámites necesarios para la aprobación e igualmente unificándolos únicamente para que se realicen ante la UPME.

La pregunta que surge es, ¿realmente la sociedad está bien informada y comprende de todos estos cambios en el marco regulatorio?, Para responder a esto, Rocha-Meneses et al., (2023) menciona que, esta información y su aplicabilidad para la generación de biogás no es ampliamente comprendida por la sociedad o diferentes grupos de interés, lo que genera una barrera que impide un desarrollo más agresivo en este ámbito, por este motivo la sociedad lo percibe como un requisito ambiental y no como una oportunidad de negocio. Por ende, no basta con expedir leyes, decretos y resoluciones si no cuenta con un plan de comunicaciones claro, masivo y efectivo.

Ahora bien, el marco regulatorio para la bioenergía en Colombia se ha desarrollado en los últimos años, con la promulgación de leyes y decretos que incentivan el uso de la biomasa como fuente de energía. En Rendon, (2021) se recopila algunas de las normas más importantes, por ejemplo:

- Ley 1715 de 2014: Por la cual se regula la promoción y el uso de fuentes no convencionales de energía renovable. (Congreso de Colombia, 2014).
- Decreto 829 de 2020: Pretende una mayor celeridad en el trámite de los incentivos de la Ley 1715 para FNCER y gestión energética, ya que este reduce el tiempo de aprobación a 45 días hábiles y, los trámites solo deben realizarse únicamente ante la UPME. (Ministerio de Hacienda y Crédito Público, 2020)
- Resolución 4 - 0011 de 2017: Por la cual se establecen los requisitos para la acreditación de proyectos de generación de energía eléctrica con fuentes no convencionales de energía renovable. (CREG, 2015a)

- Resolución 4 – 0072 de 2018: Se estableció el marco de referencia para la implementación de la Infraestructura en Medición Avanzada - AMI en el Sistema Interconectado Nacional (SIN). (Ministerio de Minas y Energía, 2018, Artículo 4)
- Resoluciones 024 de 2015 y 030 de 2018: Definieron las condiciones de participación de los usuarios auto-generadores a pequeña y gran escala y de la generación distribuida (aquella con capacidad menor o igual a 100 kW y conectada directamente al sistema interconectado). (CREG, 2015b)
- Resolución 038 de 2018: Definió lo relativo a la actividad de autogeneración en Zonas no Interconectadas. (CREG, 2018)
- Resolución 4 – 0715 de 2019: Mediante la cual establece que por lo menos el 10% de la energía comprada en el mercado mayorista para atender a los usuarios regulados debe provenir de FNCER con contratos a largo plazo iguales o superiores a 10 años y exigible a partir de 2022. (Ministerio de Minas y Energía, 2019)
- Resolución 098 de 2019: Por la cual se definen los mecanismos para incorporar sistemas de almacenamiento con el propósito de mitigar inconvenientes presentados por la falta o insuficiencia de redes de transporte de energía en el Sistema Interconectado Nacional. (CREG, 2019)

3.6. Desafíos y oportunidades para el desarrollo de la bioenergía en Colombia

Este trabajo hace un recorrido general respecto a diferentes desafíos y oportunidades que han sido identificados por diferentes autores en materia de las energías renovables en Colombia. Sin embargo, se hace especial énfasis en el trabajo de Rocha-Meneses et al., (2023) debido a lo reciente de su publicación y la visión holística de su estudio.

En dicho trabajo, se menciona que, a nivel social y ambiental, América latina, incluido Colombia, presenta varios desafíos por el rápido crecimiento de los biocombustibles, entre ellos:

1. Desafíos alrededor del cambio en el uso de la tierra.
2. Desafíos en la deforestación.
3. Desafíos en el desplazamiento de las comunidades.
4. Desafíos en mejorar la recolección eficiente de la biomasa y su procesamiento.

5. Desafíos en el manejo eficiente de los desperdicios y las basuras.

Por otro lado, también enfatiza en las oportunidades para Colombia, donde menciona que, la producción de biogás a partir de la biomasa residual presenta oportunidades socio económicas, tecnológicas y ambientales, dentro de las cuales se encuentran las siguientes:

1. Oportunidad de generación de empleos.
2. Oportunidad de reducir la dependencia de los combustibles fósiles.
3. Oportunidad de proveer energía sustentable y ayudar a reducir los gases de efecto invernadero
4. Oportunidad de mayores inversiones e investigaciones en Colombia.
5. Oportunidad de diversificar los productos para no producir únicamente etanol.

Es de tener en cuenta que el biogás que se produce por parte de Colombia y México proviene de los purines o estiércol de la ganadería y los residuos orgánicos, aunque en Colombia no representa una producción significativa. Con respecto al combustible para aviones conocido como biojet, solo se produce en Brasil, pero sería una buena opción para ser tenida en cuenta por Colombia para diversificar sus productos a partir de la bioenergía (Canabarro et al. 2023).

En su estudio Rocha-Meneses et al., (2023) destaca que la viabilidad económica de los biocombustibles estaría sujeta a:

1. La materia prima.
2. La accesibilidad.
3. Los costos de producción.
4. Las regulaciones gubernamentales.

En este orden de ideas, para garantizar una economía sostenible alrededor de este mercado, es necesario:

1. Utilizar materias primas sostenibles.
2. Fomentar la innovación.
3. Eliminar los obstáculos económicos.

4. Contemplar los efectos sobre el uso de la tierra, las comunidades locales, los derechos humanos y las condiciones laborales.

Ahora bien, en América latina, los mayores productores de bioenergías son Brasil, México, Argentina y Chile. Colombia no aparece como un gran jugador en la región. Sin embargo, Colombia y Brasil comparten en común que la mayor parte de su producción de bioenergías es a partir del etanol, el cual tiene características líquidas que provienen de la caña de azúcar, lo que facilita el transporte y almacenamiento (Cremonese et al., 2015).

Rocha-Meneses et al., (2023) enfatiza que desde el gobierno colombiano se puede mejorar la implementación de biodigestores, lo anterior, se puede lograr mediante incentivos fiscales, subsidios, subvenciones y asistencia técnica. Este apoyo ayudaría a tecnificar, promover el conocimiento y uso adecuado de los biodigestores, reduciendo la brecha entre comunidades rurales y urbanas.

Por último y más importante, el desafío de diversificar y romper con la dependencia de las fuentes tradicionales en Colombia, de los cuales:

1. Hidráulico representa el 67%.
2. Térmico el 27%.
3. Plantas de menor capacidad a 20MW el 6%.

Es esencial abordar las vulnerabilidades críticas del sistema actual, especialmente aquellas agravadas por el fenómeno del Niño, tal y como se evidenció en 2015 y 2016 con el marcado aumento de los precios de la energía. Aunque una reducción del 50% en los impuestos podría incrementar los rendimientos financieros en un 14%, estos incentivos no necesariamente fomentan el avance en tecnologías renovables. En cambio, una revisión y mejora de las resoluciones 4-0791 y 4-0795 de 2018, que establecen subastas de gran capacidad renovable, podría representar un avance significativo para estimular el desarrollo de este sector (Arias-Gaviria et al., 2019).

5. DISEÑO METODOLÓGICO

En un contexto global de creciente preocupación por la sostenibilidad y la diversificación de fuentes energéticas, la adopción de biomásas como alternativa viable se ha convertido en un tema de interés crucial. En particular, en el caso de Colombia, un país rico en recursos naturales, la promoción y utilización de biomásas para la generación de energía representa una oportunidad significativa tanto en términos económicos como ambientales. Para ello, se empleará un enfoque descriptivo, cualitativo y documental, con el objetivo de comprender a fondo las políticas, prácticas y percepciones relacionadas con la adopción de biomásas como fuente de energía en Colombia. El enfoque descriptivo en investigación se centra en observar y describir minuciosamente los fenómenos tal como se presentan en su entorno natural, sin intervenir en ellos (Babbie, 2016). Este método permite comprender detalladamente las estrategias existentes sin alterar el fenómeno bajo estudio.

Por otro lado, el enfoque cualitativo se dedica a explorar en profundidad los fenómenos sociales mediante la recolección y análisis de datos no numéricos, como entrevistas, observaciones participantes y análisis de documentos (Denzin & Lincoln, 2018). Este enfoque facilita una comprensión más completa de los diversos aspectos relacionados con las estrategias de adopción de biomásas en Colombia.

Además, el enfoque documental se utiliza para recopilar y analizar documentos pertinentes como políticas gubernamentales, informes técnicos y estudios de casos, con el fin de obtener una visión clara del panorama actual de la adopción y promoción de biomásas en el país (Ruiz Olabuénaga, 2013). Este enfoque complementa la investigación al proporcionar datos contextuales y permitir una comprensión más completa de las estrategias analizadas.

Este estudio se centra en analizar las estrategias que impulsan esta transición hacia fuentes de energía renovable en el país. Al explorar estas estrategias, se busca proporcionar una base sólida para informar futuras iniciativas y políticas en el ámbito energético, con el fin de avanzar hacia un futuro más sostenible y resiliente en Colombia.

El alcance temporal del estudio abarcará desde el inicio de las estrategias de promoción de biomásas en Colombia hasta la fecha actual, con el objetivo de proporcionar una visión completa y actualizada de la situación. En cuanto al alcance geográfico, el estudio se centrará exclusivamente en Colombia, aunque se podrán incluir referencias a experiencias internacionales relevantes para el análisis comparativo, especialmente en Latinoamérica. La población de interés son las estrategias y políticas relacionadas con la adopción de biomásas como fuente de energía en el país, y la muestra incluirá documentos y estudios relevantes que aborden este tema.

El diseño de la investigación se basará en una revisión bibliográfica y documental exhaustiva, que permita recopilar una amplia gama de fuentes de información sobre el tema. Esta revisión será complementada con el análisis de contenido, que permitirá identificar patrones, tendencias y enfoques comunes en las estrategias de promoción de biomásas en Colombia.

Para la recolección de datos, se empleará principalmente la revisión y el análisis de documentos, lo que implica la codificación de documentos clave, como leyes, informes de políticas y programas gubernamentales, así como estudios de caso, libros y artículos científicos con el fin de identificar las estrategias, viabilidad y enfoques utilizados en la promoción de biomásas como fuente de energía en Colombia. Finalmente, se llevará a cabo una interpretación de los resultados para identificar esquemas y estándares significativos, y extraer conclusiones que contribuyan al conocimiento en este campo.

6. ANÁLISIS DEL SECTOR

5.1. Energía eléctrica en Latinoamérica

La generación de energía eléctrica en Latinoamérica se divide en 3 grandes áreas (producción a partir de combustibles fósiles, producción a partir de energías renovables y energía nuclear)

Dentro del contexto de generación de energía en la región de América del sur, se destacan los siguientes aspectos, Brasil representa el 49% de la generación eléctrica en la región, y la energía renovable representa 69.5% de toda la generación eléctrica en la región, generando 686,5 TWh para el año 2022 (MarketLine Industry Reports, 2023)

5.2. Energía Eléctrica en Colombia

En el ámbito colombiano el ministerio de minas y energía se encarga de dirigir, coordinar, implementar las políticas públicas, asociadas, a la generación, transmisión y comercialización de energía eléctrica, así como el desarrollo de fuentes alterna de energía, y el aprovechamiento de los recursos naturales no renovables y biocombustibles. (Ministerio de Minas y Energía, 2024).

La unidad de planeación minero energética UPME presentó en diciembre del 2019 el “Plan energético nacional 2020-2050: Transformación energética para el desarrollo sostenible” donde se define la visión a futuro para el sector energético colombiano, dentro de este plan se destaca el reto de disminución de uso de combustibles fósiles mediante la utilización de fuentes no convencionales de energía renovables FNCER como la fotovoltaica, eólica, y la bimasa, para la producción de biocombustibles y biogás, la disminuciones de Gases efecto invernadero GEI para la producción de energía, la adopción de los ODS energía asequible y no contáminate. (UPME.s,f)

La industria de la energía, para la generación, transporte y comercialización está consolidada en 6 grandes actores con tres cuartas partes de la industria energética nacional, dominado por Empresas Públicas de Medellín ESP, seguido por EMGESA S.A. ESP, Isagen SA ESP, AES Andes S.A. con una producción de 71.250.580.000 KWh. Para el año 2022 y un crecimiento esperado de

82.518.800.000 KWh, un aumento del 15,8% desde 2022. Con un valor en el mercado de 9.700 millones de dólares, con un estimado de crecimiento para el año 2027 de 11.200 millones de dólares, un aumento del 15,5% desde 2022, representando un 3.7% de la generación eléctrica en toda América. El gobierno colombiano se encuentra comprometido en la incorporación de energías renovables en el mercado dando oportunidad a más actores. (MarketLine Industry Reports -1, 2023)

5.3. Energías renovables en Latinoamérica

Para finales del 2022 Latinoamérica ocupaba el 4 puesto en capacidad instalada de energías renovables, Brasil ocupa el primer puesto de capacidad instalada con 175,3 GW a finales de 2022, seguido por México, Chile, Venezuela, Argentina y Colombia con un estimado al cierre de 2022, con 13,4 GW de producción de energías renovables, su principal fuente de energía renovables son las hidroeléctricas, Brasil se destaca como el segundo productor de energía eléctrica a partir de biomasa, la principal fuente de energía renovable en Latinoamérica es la energía hidroeléctrica, con un estimado de crecimiento 460% para las energía eólica y solar para el año 2030, siendo América latina la que ocupe el tercer puesto en capacidad para proyectos de energía en solar y eólica. (EMIS, 2023)

5.4. Energías renovables en Colombia

A nivel de energías renovables en Colombia se destaca el crecimiento con una capacidad para el año 2022 de 13.056 MW, representando el 69,5% del total de energía renovables para ese año, la energía producida a partir de hidroeléctricas sigue siendo la mayor fuente de producción en energías renovables para el año 2022 con una capacidad instalada que representa el 96,2% del total de producción de energías renovables, se espera una expansión de las energías solar y eólica, y biomasa en especial por su abundancia en de biomasa residual de los cultivos de caña de azúcar y plátano con 25.5 millones de toneladas de biomasa residual, para el año 2022 la producción total de energía en Colombia fue de 76.905 GWh de las cuales el 85.42% fue del sector de energías renovables. (EMIS, 2023)

Se estima que para el año 2027 la generación eléctrica con energías renovables en Colombia alcance los 61.484,3 GWh, representando un aumento desde el año 2022 del 14,7% , con un valor en el mercado de 5.967 millones de dólares, representando el 3.2% del valor del mercado de energías renovables en el continente Americano, para el año 2022 la participación de las fuentes de energía renovables se encontraba distribuido de la siguiente forma Hidroeléctricas con una participación del 92.5%, Energía solar con 3.2%, Bioenergía (biomasa) con el 3.0%, y eólica con el 1.3%. (MarketLine Industry Reports-2, 2023)

El gobierno nacional en aras de aprovechar los inmensos recursos naturales en la generación de energías renovables, plantea la diversificación de producciones de energías renovables, la disminución de Gases efecto invernadero, carbono neutral, el compromiso con el desarrollo de los objetivos de desarrollo sostenible ODS de naciones unidas referente al acceso a la energía y uso de energías renovables, con base en el plan energético nacional 2020-20250 generado por la UPME se estima que la capacidad de las hidroeléctricas para generación de energía sea de 16.000 MW para el año 2050, se espera que la energía solar produzca 2.000 MW de energía para el 2050, y la energía solar genere 10.000 GW de energía para el mismo año 2050, convirtiéndola en uno de los principales generadores de energía del país, se estima para la energía eólica marina una generación de 3.000 GW para el 2030 y 7.000 GW para el año 2050, y la energía eólica terrestre produzca 2.000 GW para el año 2050. (EMIS, 2023)

Para lograr estos objetivos el gobierno nacional ha implementado políticas, como el Plan Energético Nacional 2020-2050, regulaciones e incentivos fiscales como la Ley 1715 de 2014, para reducciones impuesto a la renta, depreciación acelerada de activos, exclusión de IVA, exclusión de gravamen arancelario (UPME-1, 2014), subastas competitivas, asignación de proyectos en energías renovables, con participación del sector privado de índole internacional y nacional, se estipula que el gobierno a través de los ministerios mediante el COMPES 4075 realice una inversión de 306 mil millones de pesos para el sector de las energías renovables, el gobierno nacional también garantizara mecanismos de financiamiento para inversión en el sector de energía renovables como una línea de financiamiento de 50 millones de dólares a través de Bancóldex con el apoyo de banco interamericano de desarrollo BID (EMIS, 2023), el crédito de 70 millones de dólares para proyectos de transición energética justa (Ministerio de Minas y

Energía-1), o la inversión desde la empresa estatal Ecopetrol por 29.8 billones de pesos para acelerar la senda de transición y soberanía energética (Ecopetrol 2023).

Dentro de las empresas del sector de generación de energía en Colombia se destacan como actores principales en energías renovables Empresas Públicas de Medellín (EPM) con énfasis en transformación digital, Celsia en generación de energía desde fuentes renovables, y eficiencia energética, Enel Colombia en la generación de energía en un 75% a partir de fuentes renovables, Isagen, en la generación de electricidad a partir de fuentes hidroeléctricas, solares y eólicas, y AES Colombia con la expectativa de generación de 2.000 MW de energía a partir de fuentes renovables y neutralidad de carbono para el año 2025. (EMIS, 2023)

5.5. PESTEL

Factor	Descripción	Impacto en el uso de la biomasa	Oportunidades	Amenazas	Mitigación
Político	<ul style="list-style-type: none"> Desde el ámbito Nacional se realizan esfuerzos en la promoción y expansión de Fuentes no convencionales de energía renovables FNCER a través del plan energético nacional generado por la unidad de planeación minero energética, en concordancia 	<ul style="list-style-type: none"> Dada la capacidad de generación de biomasa residual del país, en conjunto con los planes y políticas para regular e incentivar el uso de energías renovables, la biomasa se convierte en una alternativa viables para la producción de energía eléctrica del país. 	<ul style="list-style-type: none"> El Potencial energético que tiene la biomasa para la producción de energía eléctrica, y las actuales regulaciones del gobierno abren el camino para inclusión de nuevos actores en producción de energía eléctrica a partir de la biomasa, aumentando el empleo en las zonas rurales, con el 	<ul style="list-style-type: none"> Cambios en las políticas, normas, planes o incentivos que tiene el gobierno actualmente en relación en la producción y uso de Biomasa como fuente de generación de energía. Incumplimiento en la ejecución de actividades enmarcadas en los objetivos de desarrollo sostenible 	<ul style="list-style-type: none"> Monitoreo y evolución de las políticas, normas, planes o incentivos que tiene el gobierno colombiano actualmente, ratificar los acuerdos de los objetivos de desarrollo sostenible en especial el objetivo 7 “energía asequible y no contaminante”.

	<p>con los objetivos de desarrollo sostenible ODS promulgados por la ONU, así como el marcos regulatorios como el de la ley 1715 de 2014 favorable a bioenergías, mediante la generación de incentivos para el uso de FNCER para la generación de energía en el país.</p> <ul style="list-style-type: none"> • 		<p>aprovechamiento de biomasa residual de actividades agrícolas, así como en el sector urbano incentivando el reciclaje y transformación y uso de la bimasa residual urbana.</p>	<p>promulgados por la ONU.</p>	
--	---	--	--	--------------------------------	--

Económico	<ul style="list-style-type: none"> • En el marco del plan energético nacional, donde se espera un crecimiento de este sector de 11.200 millones de dólares para el año 2027, el gobierno ha dispuesto través de los ministerios una inversión de 306 mil millones de pesos para el sector de energías renovables, de igual forma garantiza créditos y líneas 	<ul style="list-style-type: none"> • La inversión estatal junto con líneas de crédito y los incentivos tributarios, ayudan y fomentan a la industria energética en el uso de biomasa como fuente de energía, con la creación de nuevos proyectos que generan empleo, y mejoran las economías de las industrias que generan biomasa 	<ul style="list-style-type: none"> • Mejora de la economía donde se implementen proyectos de uso de biomasa como fuente de energía, aumento de empleos en el sector rural, mejorar la economía de las industrias que generan biomasa residual al aprovecha mejor sus residuos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Los elevados costos iniciales que tiene la creación y mantenimiento de plantas de generación de energía eléctrica a partir de biomasa, esto puede generar que la inversión estatal como los créditos se inviertan en otras fuentes de generación de energía como la eólica o la solar. • Disminución de la oferta de biomasa de los 	<ul style="list-style-type: none"> • Destinar rubros especiales para las industrias que generan energía eléctrica a partir de biomasa, así como la amortización a más tiempos y tasas de interés más bajas para la industria. • Fomentar la investigación en las tecnologías de uso de biomasa como fuente de energía. • Garantizar un mínimo de
-----------	---	---	---	--	---

	<p>de financiamiento por 120 millones de dólares mediante el banco interamericano de desarrollo BID, y la inversión desde la empresa estatal Ecopetrol de 29.8 billones de pesos en proyectos de transición y soberanía energética.</p>	<p>residual de sus actividades productivas al poder generar un valor económico a lo que hoy son desechos de la industria.</p>		<p>sectores agrícolas.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cambios en los incentivos fiscales que pueden aumentar los costos de generación de energía proveniente el uso de biomasa. 	<p>producción de biomasa para la industria de generación de energía a partir de biomasa.</p>
Social	<ul style="list-style-type: none"> • La biomasa como fuente de energía renovable está 	<ul style="list-style-type: none"> • La aceptación social y la creciente conciencia 	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor conciencia y apoyo público hacia la energía 	<ul style="list-style-type: none"> • Posible resistencia o falta de aceptación por 	<ul style="list-style-type: none"> • Campañas educativas para aumentar la conciencia

	<p>alineada con el séptimo Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) de la ONU, que busca garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna. (Rodríguez et al., 2023)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Reducción de emisiones de CO2 en muchos países. 	<p>sobre la sostenibilidad impulsan la adopción de la biomasa como fuente de energía renovable.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Contribuye a la reducción de las emisiones de CO2 y promueve un desarrollo sostenible. 	<p>renovable, lo que puede traducirse en una mayor demanda de biomasa como fuente de energía. (Rodríguez et al., 2023)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Posible acceso a financiamiento y subsidios gubernamentales dirigidos a proyectos de energía sostenible. 	<p>parte de comunidades locales debido a preocupaciones ambientales o sociales, como el impacto en la biodiversidad o el uso de tierras agrícolas para la producción de biomasa en lugar de alimentos.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dependencia de políticas gubernamentales favorables que pueden cambiar con el tiempo y afectar la 	<p>pública sobre los beneficios de la biomasa como fuente de energía.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Incentivos gubernamentales consistentes para promover la adopción de tecnologías de biomasa. • Compromiso con las comunidades locales para abordar sus preocupaciones y garantizar la sostenibilidad
--	--	--	---	--	---

	<ul style="list-style-type: none"> • Enfoque en la sostenibilidad y la reducción de emisiones genera un impulso para adoptar la biomasa como una alternativa a los combustibles fósiles. (Rodríguez et al., 2023) • La conciencia pública sobre la importancia de la energía renovable está creciendo, lo que también contribuye a una 			viabilidad de los proyectos de biomasa.	de los proyectos de biomasa. (Rodríguez et al., 2023)
--	--	--	--	---	---

	mayor aceptación y uso de la biomasa.				
Tecnológico	<ul style="list-style-type: none"> Las tecnologías de densificación y la gasificación se están desarrollando para hacer que la recolección, almacenamiento y transporte de biomasa sean más eficientes y rentables. (Rodríguez et al., 2023) Avances tecnológicos abren nuevas oportunidades 	<ul style="list-style-type: none"> La mejora de la viabilidad económica y logística de utilizar la biomasa como fuente de energía resulta en una mayor adopción y aplicación de esta tecnología. Mayor diversificación de las fuentes de energía. 	<ul style="list-style-type: none"> Desarrollo de tecnologías más eficientes para la transformación de biomasa, como la gasificación y la densificación, que reducen los costos y aumentan la eficiencia de la producción de energía a partir de biomasa. (Rodríguez et al., 2023) Posibilidad de diversificar las 	<ul style="list-style-type: none"> Dependencia de la disponibilidad y la escalabilidad de estas tecnologías en el mercado. Posibles barreras tecnológicas o de infraestructura que limiten su implementación a gran escala. 	<ul style="list-style-type: none"> Investigación continua para mejorar la eficiencia y la escalabilidad de las tecnologías de biomasa. Inversiones en infraestructura para apoyar la implementación de estas tecnologías, como redes de distribución de energía y plantas de

	<p>para el uso de la biomasa como fuente de energía.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Procesamiento y transformación de la biomasa puede ser más económico y efectivo. • La investigación y el desarrollo en el campo de la tecnología de biomasa están mejorando constantemente, lo que promete aún más avances en el futuro cercano. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor seguridad energética. 	<p>fuentes de energía y reducir la dependencia de los combustibles fósiles.</p>		<p>procesamiento de biomasa.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Colaboración entre el sector privado, el gobierno y la academia para abordar los desafíos tecnológicos y desarrollar soluciones innovadoras.
--	--	---	---	--	---

Ecológico	<ul style="list-style-type: none"> • Emisiones de Gases de efecto invernadero. • Materia prima y producción de biocombustibles . • Uso del suelo y seguridad alimenticia. • Biodiversidad. • Servicios ecosistémicos. • Recursos hídricos. (Canabarro et al 2023) 	<ul style="list-style-type: none"> • Colombia el transporte consume el 26% de la energía. La gasolina y el diesel son la fuente principal de la matriz energética. Los biocombustibles representan el 7% de la contribución en Colombia. • En Colombia la producción de etanol es extremadamente sostenible ambientalmente con reducción 	<ul style="list-style-type: none"> • La producción de caña de azúcar en Colombia es 120 Ton/ha, su eficiencia está por encima de países como Argentina, Brasil o Guatemala. Mejorando la eficiencia para la obtención de etanol. • Colombia tiene un clima ideal para cultivos. Esto facilita la obtención de biomasa como materia prima y sus derivados. 	<ul style="list-style-type: none"> • Seguridad alimenticia, la producción de caña de azúcar 2017 a 2018 cayó un 3.2% en Colombia. Igualmente, se reducen las exportaciones de algunas cosechas, se incrementa el costo de la comida y se transforman tierras de conservación a tierras de cultivo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Potencial de calentamiento global de los biocombustibles es menor que los combustibles fósiles en un 81% en Colombia. • Gases de efecto invernadero se reducen en un 84% para producción de biodiesel vs diesel en Colombia. • El etanol en Colombia tiene una demanda de
-----------	---	--	---	---	---

		<p>de emisiones del 82,3% frente a las emisiones de gasolina.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Colombia produce 450 millones de litros de etanol (caña de azúcar) y 610 millones de litros de biodiesel (aceite de palma). (Canabarro et al 2023) 	<ul style="list-style-type: none"> • Colombia podría recibir USD\$21.1 millones negociando certificados de 1 tonelada de CO2 a USD\$10 basados en la producción de 2019. • Colombia solo necesita aumentar 0.2% sus tierras de pastoreo para duplicar la producción de etanol y solo 0.05% en biodiesel. 	<ul style="list-style-type: none"> • Afectación a la biodiversidad por monocultivos, quemas y cambios en el uso de la tierra. • Acidificación de los suelos por producción de etanol y especialmente aceite de palma en Colombia. Esto se genera por NOx y SOx asociado a la quema de biomasa, lluvias acidas, residuos húmedos y secos. 	<p>agua de 8m3 de agua por tonelada de caña y para biodiesel 4m3 de agua por tonelada de racimo de fruto fresco. (Canabarro et al 2023)</p>
--	--	--	--	--	---

			<ul style="list-style-type: none"> • Comparado con la agricultura y ganadería Colombia solo tiene 0.2% de la tierra para etanol y biodiesel actualmente. • Colombia cuenta con el suficiente recurso hídrico, especialmente de lluvias o que reduce el impacto sobre agua superficial o subterránea. (Canabarro et al 2023) 	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor impacto en el agotamiento del ozono, para Colombia representa 68,8% de CFC-11 eq en la producción de etanol de caña de azúcar por uso de gas natural y generación de calor. • Reducción de la producción de aceite de palma en 5.3% entre 2017 y 2019. 	
--	--	--	---	---	--

				(Canabarro et al 2023)	
Legal	<ul style="list-style-type: none"> • Ley 1715 de 2014. Congreso de Colombia. (2014) • Ley 693 de 2001 para etanol (Delgado et al 2015) • Ley 939 de 2004 para biodiesel (Delgado et al 2015). • Ley 788 de 2002 que exonera al alcohol carburante de los impuestos 	<ul style="list-style-type: none"> • “Cap and trade” consiste en transar permisos para emitir carbono, es de difícil implementación en Colombia porque sus emisiones en energía son bajas y cuenta con poco agentes emisores. • En Colombia es fácil implementar un impuesto o un 	<ul style="list-style-type: none"> • El Art. 8 de la ley 1715 de 2014 permite a los autogeneradores hacer entrega de los excedentes a la red eléctrica nacional habilitando su reconocimiento como créditos de energía. Esto es especialmente útil en el caso de los proyectos pequeños que se generen con fuentes no convencionales de energías 	<ul style="list-style-type: none"> • Inestabilidad política y cambio en la normatividad, en 2001, por el fenómeno de la niña, afectó la producción de la caña de azúcar, el ministerio de minas y energía expidió una resolución para reducir del 10% al 4% las mezclas con etanol de abril a julio. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mitigar riesgos en la matriz energética superando la imposibilidad del Estado para establecer acuerdos de compra de nuevas energías renovables (biomasa, eólica, solar, etc.) por 15 o 20 años. • En Colombia sería útil adoptar incentivos por encima del

	<p>actuales de la gasolina (Delgado et al 2015).</p>	<p>tope al carbono emitido, en sectores como el automotor o la industria por sus altas emisiones. Pero difícil para el la red eléctrica nacional por sus bajas emisiones.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Los contratos por diferencias son efectivos porque en el mercado mayorista aumenta las energías renovables en el mercado: a) 	<p>renovables. También se tiene en cuenta el reconocimiento de beneficios por la generación de energía distribuida y reglas claras para su pago.</p> <ul style="list-style-type: none"> • El Art. 10 de la ley 1715 de 2014 habla sobre la creación de un Fondo de Energías No Convencionales y Gestión Eficiente de la Energía (el FENOGE). Su finalidad es 	<ul style="list-style-type: none"> • La regulación expedida desde 2014 exige que para ser cogenerador se debe cumplir con un mínimo de rendimiento eléctrico equivalente en el proceso, este se toma a partir del combustible en uso. Hoy en día ese valor para biomasa diferente a la caña de azúcar o combustibles de origen agrícola es imposible de ser alcanzado. 	<p>precio de mercado, correspondiente a pago neutro en tecnología (Newcomb et al, 2013) con esto se busca mitigar la dominancia de la oferta tradicional e incentivar la renovables.</p> <ul style="list-style-type: none"> • La medición bidireccional del Art. 19 de la ley 1715 de 2014 permite mitigar los costos permitiendo la
--	--	--	---	---	---

		<p>fomenta la seguridad del inversionista, b) Tiene tasas de retorno razonables sobre sus inversiones, c) Acceso a capital de bajo costo. (Couture & Gagnon, 2010).</p>	<p>financiar programas y proyectos de energías renovables con dineros de: a) la nación, b) entidades públicas o privadas, c) organismos de carácter multilateral e internacional.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Los Art. 11 a 14 de la ley 1715 de 2014 hablan sobre la disponibilidad de incentivos fiscales: a) El Art. 	<ul style="list-style-type: none"> • En Colombia los certificados de energías renovables pueden generar incremento en los costos financieros a comparación de las subastas. (Baratoff, et al, 2007; DB Climate Change Advisors, 2009) 	<p>autogeneración de energía de fuentes renovables.</p>
--	--	---	---	--	---

			<p>11 menciona la deducción de renta gravable hasta el 50% de la inversión en proyectos con FNCER, hasta por 5 años.</p> <ul style="list-style-type: none">• b) Art. 12 habla sobre la exclusión del IVA.• c) Art. 13 habla sobre la exención arancelaria• d) Art. 14 contempla la depreciación acelerada.• Los Art. 15 a 23 de la ley 1715 de 2014 hablan sobre los apoyos		
--	--	--	--	--	--

			generales para: a) Biomasa, b) Energía eólica, c) Geotermia, d) Pequeños aprovechamiento s hidroeléctricos, e) Energía de los mares, d) Energía solar.		
--	--	--	---	--	--

7. ESTADO DEL ARTE

6.1. Preguntas orientadoras

TITULO	1. ¿Qué tipos de biomasa se utilizan actualmente como fuente de energía en el país?	2. ¿Cuáles son los principales desafíos y oportunidades para el desarrollo de la biomasa como fuente energética en Colombia?	3. ¿Cómo se compara la biomasa con otras fuentes de energía renovable en términos de costos, disponibilidad y sostenibilidad?	4. ¿Cuáles son los proyectos o iniciativas destacadas en Colombia que están impulsando el uso de la biomasa como fuente de energía?
<p>Análisis de costos de la generación de energía eléctrica mediante fuentes renovables en el sistema eléctrico colombiano.</p> <p>(Rodríguez Luis, Rodríguez Patricia. 2016)</p>		<p>Se plantea que, ante un escenario de incentivos a la producción de energía por biomasa por parte del gobierno, sobre otras fuentes de energía, se debe considerar los costos fijos asociados a la instalación y mantenimiento de la fuente generadora de energía, que son más</p>	<p>los costos totales de generación de energía mediante biomasa son más elevados en relación con otros tipos de energía renovables cuando se presentan incentivos gubernamentales debido a los costos fijos que se generan al momento de su implementación y mantenimiento, respecto a la capacidad de</p>	

		elevados que otros tipos de energía renovable.	generación de energía eléctrica vs el costo del MW/h, se traduce en que generar un MW de energía es más costoso utilizando biomasa que otras fuentes renovables de energía.	
Aprovechamiento de la biomasa residual como fuente de energía renovable en Colombia: escenario de gasificación potencial. (Pérez Claudia, Ríos Luis, Duarte Carmen, García Andrés,	En Colombia las fuentes más utilizadas para su generación de biomasa residual son: la caña de azúcar, la palma de aceite, la caña de panela, el café, el cacao, el plátano, el banano, arroz, coco, especies invasoras (Espinillo), los desechos animales, los residuos forestales de la silvicultura, los residuos urbanos.	Los costos logísticos asociados a los procesos de recolección, transporte y almacenamiento, de biomasa residual son considerados desafíos para el desarrollo de biomasa como fuente de energía debido a sus altos costos. Procesos de densificación e incentivos gubernamentales		

<p>Marroquín Catalina, 2023)</p>		<p>favorecen la implementación de biomasa como fuente de energía.</p> <p>La utilización del proceso de gasificación (conversión termoquímica) en conjunto con procesos de pirolisis, secado y oxidación parcial, permiten una mejora en la eficiencia de conversión de energía para la producción de gas combustible, calor y electricidad, a los métodos actualmente utilizados como la combustión directa de desechos agrícolas.</p>		
--------------------------------------	--	--	--	--

<p>Plan de Acción para la Gestión Sostenible de la Biomasa Residual (Secretaría Técnica Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural , 2022)</p>	<p>Biomasa residual del sector agropecuario y agrícola, así como los residuos orgánicos urbanos y residuos orgánicos rurales. Residuos orgánicos despreciados y perdidos, en etapas después de la producción, de la cosecha, procesamiento y almacenamiento, antes de su comercialización y distribución.</p>	<p>Desconocimiento del potencial de residuos sólidos generados, y la cantidad de residuos que pueden ser aprovechados. Gestión sostenible orientada a la economía circular, y flujos de biomasa residual. Insuficiente infraestructura para el aprovechamiento de residuos orgánicos rurales. Aspectos financieros en el tratamiento de residuos orgánicos producidos por sectores urbanos. déficit en los procesos de separación de residuos urbanos en su origen y recolección.</p>		<p>Se propone dentro del plan de aprovechamiento de biomasa residual la meta de incrementar en un 20% el aprovechamiento de biomasa residual para el 2030; otra meta propuesta es implementar 4 proyectos en el sector agrícola, avícola, porcícola e industrial para el año 2022.</p>
---	---	---	--	--

		Fomentar las actividades de aprovechamiento, valorización, tratamiento de uso de biomasa residual, mediante la implementación de proyectos productivos.		
--	--	---	--	--

<p>Estudio comparativo entre las diferentes fuentes de energía eléctrica en Colombia y la generación de electricidad a partir de biomasa. (García Juan, 2017)</p>	<p>Biomasa Natural: biomasa producida en la naturaleza.</p> <p>Biomasa residual: residuos de las actividades agropecuarias, agrícolas, ganaderas, y silvícolas, y residuos de la industria de los alimentos, así como la transformación maderera, y reciclado y depuración de aceites.</p> <p>Cultivos energéticos: cultivos destinados a la creación de biocombustibles.</p>	<p>El uso de biomasa residual reduce los efectos invernadero, al cero carbono Neutral.</p> <p>Las plantas de generación de energía a partir de biomasa residual no requieren ubicaciones específicas relacionadas con la geografía, como las plantas hidroeléctricas, o eólicas.</p> <p>Los altos costos de implementación de plantas de generación de energía eléctrica a partir de biomasa residual.</p>	<p>Hidroeléctricas: la generación de energía eléctrica es limpia, al aprovechar la energía cinética del agua para producir energía, pero tiene consecuencias en la alteración de los territorios, modificación de la fauna, dificultades de navegación en ríos, por disminución de caudales y aumento de niveles freáticos.</p> <p>Centrales termoeléctricas: la combustión de combustibles fósiles como, petróleo, gas, o carbón, generan partículas perjudiciales para el medio ambiente,</p>	
---	---	--	---	--

			<p>la transferencia térmica del agua puede alterar los ecosistemas fluviales al calentar la temperatura de las aguas en ríos y mares.</p> <p>Centrales eólicas: es una energía limpia que depende de las condiciones climáticas, para el aprovechamiento de vientos, pero puede producir impacto de sus hélices en las aves, contaminación auditiva.</p> <p>Plantas de cogeneración a partir de biomasa: es una energía limpia en la contribución de CO2 Neutral, las emisiones de la quema de biomasa produce CO2, que luego es absorbido por las</p>	
--	--	--	--	--

			<p>plantas utilizadas para su crecimiento, no genera lluvia acida, aprovechamiento de desecho como recurso utilizable, promoviendo el la disminución de residuos sólidos y el reciclaje.</p> <p>La biomasa residual es más económica que los combustibles fósiles como el petróleo.</p> <p>Variables de comparación Central Hidroeléctricas: producción de 19 MW, generación anual de 174 GW/año, inversión en dólares de 127.000, empleos generados 300. Central termoeléctrica:</p>	
--	--	--	---	--

			<p>producción de 30 MW, generación anual de 201 GW/año, inversión en dólares de 45.000, empleos generados 60.</p> <p>Parque eólico: producción de 19.5 MW, generación anual de 85 GW/año, inversión en dólares de 55.600, empleos generados 38.</p> <p>Planta de cogeneración Biomasa: producción de 36 MW, 26 para consumo interno, generación anual de 220 GW/año, 10 GW/año al sistema interconectado nacional SIN, inversión en dólares de 160.000, empleos generados 400.</p> <p>Planta convencional de</p>	
--	--	--	--	--

			biomasa: producción de 16 MW, generación anual de 128 GW/año, inversión en dólares de 120.000, empleos generados 100.	
--	--	--	---	--

<p>Atlas del Potencial Energético de la Biomasa Residual en Colombia (UPME, 2011)</p>	<p>Actualmente, en Colombia se emplean diversos tipos de biomasa para la generación de energía. Entre ellos se incluyen los residuos agrícolas, como los restos de cosechas y los desechos de procesos industriales agrícolas. También se aprovechan los residuos de la industria forestal, como la madera y los desechos de la producción de papel. Además, los residuos sólidos urbanos, como los provenientes de plazas de mercado y la poda de zonas verdes, son otra fuente importante de</p>	<p>Uno de los principales desafíos es la necesidad de mejorar la infraestructura y las tecnologías para el aprovechamiento eficiente de la biomasa. Esto incluye el desarrollo de sistemas de recolección, transporte y procesamiento de biomasa más eficientes y sostenibles. Además, es importante abordar las preocupaciones ambientales relacionadas con el uso de biomasa, como las emisiones de gases de efecto invernadero y la deforestación asociada con la producción de</p>	<p>La biomasa presenta varias ventajas en comparación con otras fuentes de energía renovable. En términos de costos, la biomasa puede ser competitiva con otras fuentes de energía renovable, especialmente en regiones donde los recursos biomásicos son abundantes. Además, la biomasa es una fuente de energía disponible de manera constante, lo que la hace más confiable que algunas fuentes de energía renovable intermitentes, como la solar y la eólica. En cuanto a la sostenibilidad, la biomasa puede ser una</p>	<p>En Colombia, existen varios proyectos e iniciativas que están contribuyendo al desarrollo de la biomasa como fuente de energía. Estos incluyen programas de investigación y desarrollo para mejorar las tecnologías de conversión de biomasa, así como proyectos piloto y comerciales para la producción de energía a partir de biomasa. Además, el gobierno colombiano ha implementado políticas y programas de apoyo para fomentar la utilización de la biomasa como fuente de energía renovable, lo que</p>
---	--	--	---	---

	<p>biomasa utilizada para la generación de energía.</p>	<p>biomasa a gran escala. Sin embargo, existen oportunidades significativas para el desarrollo de la biomasa como fuente de energía renovable en Colombia, especialmente dada la abundancia de recursos biomásicos en el país y el creciente interés en reducir la dependencia de los combustibles fósiles.</p>	<p>opción más sostenible que los combustibles fósiles si se gestionan de manera adecuada, evitando la sobreexplotación de los recursos naturales y minimizando los impactos ambientales negativos.</p>	<p>ha estimulado la inversión y la innovación en este sector.</p>
--	---	---	--	---

<p>Adopción de Biomasa como Energía Renovable No Convencional en el Mercado Eléctrico Colombiano (Hurtado, C., 2019)</p>	<p>Tipos de biomasa utilizados en Colombia:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Residuos agrícolas: Colombia es un país con una importante actividad agrícola, lo que genera una cantidad significativa de residuos agrícolas, como cáscaras de café, bagazo de caña de azúcar, y residuos de cosechas. • Residuos forestales: La industria maderera y las actividades de gestión forestal generan residuos que pueden ser aprovechados para la producción de biomasa energética. • Residuos sólidos urbanos (RSU): Los desechos sólidos urbanos 	<p>Desafíos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Infraestructura: La falta de infraestructura adecuada para la producción, recolección y procesamiento de biomasa puede limitar su desarrollo. - Tecnología: Se requiere inversión en tecnologías eficientes y sostenibles para la conversión de biomasa en energía. - Financiamiento: El acceso al financiamiento puede ser un desafío para los proyectos de biomasa, especialmente para los pequeños productores. <p>Oportunidades:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Diversificación energética: El desarrollo 	<ul style="list-style-type: none"> • Costos: La biomasa puede ser una opción rentable en términos económicos, especialmente en regiones con abundancia de materia prima. Esto se debe a que los procesos de recolección y transformación de la biomasa suelen ser más económicos en comparación con otras fuentes de energía renovable, como la solar o la eólica. Además, los costos de transporte de la biomasa pueden variar según la distancia entre el lugar de producción y el destino final. • Disponibilidad: La 	<p>1. Proyectos de Biogás en Vertederos y Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales: En Colombia, se están desarrollando programas pioneros que aprovechan el biogás generado en vertederos y plantas de tratamiento de aguas residuales para la producción de energía. Estos proyectos no solo ayudan a reducir la contaminación ambiental al capturar y utilizar los gases de desecho, sino que también contribuyen a la generación de energía renovable.</p> <p>2. Plantas de Generación de Energía a partir de Biomasa Agrícola y</p>
--	--	---	--	--

	<p>pueden ser una fuente de biomasa, especialmente en áreas urbanas donde se generan grandes cantidades de basura.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Biogás: La descomposición de materia orgánica en vertederos y plantas de tratamiento de aguas residuales produce biogás, que puede ser utilizado como fuente de energía. • Cultivos energéticos: Algunos cultivos, como la caña de azúcar y el maíz, pueden ser cultivados específicamente para la producción de biomasa con fines energéticos. 	<p>de la biomasa puede contribuir a diversificar la matriz energética de Colombia, reduciendo la dependencia de los combustibles fósiles.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Desarrollo rural: La producción de biomasa puede generar empleo e impulsar el desarrollo económico en áreas rurales. - Reducción de emisiones: El uso de biomasa como fuente de energía puede ayudar a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, contribuyendo a la mitigación del cambio climático. 	<p>biomasa representa una fuente de energía disponible de manera constante, ya que los materiales orgánicos están siempre presentes. A diferencia de la energía solar o eólica, que dependen de las condiciones climáticas, la biomasa puede ser utilizada independientemente del clima o la hora del día. Sin embargo, la disponibilidad de biomasa puede fluctuar según la ubicación geográfica y la estacionalidad, lo que puede influir en su viabilidad como fuente de</p>	<p>Forestal: Empresas colombianas están invirtiendo en tecnologías para construir plantas de generación de energía que utilizan residuos agrícolas y forestales como fuente de combustible. Estas plantas no solo ayudan a gestionar de manera más eficiente los residuos orgánicos, sino que también diversifican la matriz energética del país, reduciendo la dependencia de los combustibles fósiles.</p> <p>3. Investigación y Desarrollo en Biomasa Energética: Instituciones académicas y centros de investigación en</p>
--	---	---	---	---

			<p>energía a largo plazo.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sostenibilidad: La viabilidad ambiental de la biomasa depende de una gestión adecuada de los recursos forestales y agrícolas utilizados en su producción. Con prácticas sostenibles de gestión forestal y agrícola, como la reforestación y el cultivo de biomasa en terrenos degradados, la biomasa puede ser considerada una fuente de energía renovable y sostenible. Sin embargo, el uso inadecuado de la biomasa puede tener impactos negativos en el medio ambiente, como la 	<p>Colombia están llevando a cabo proyectos de investigación para mejorar la eficiencia y la sostenibilidad de la producción de biomasa energética. Estos esfuerzos incluyen el desarrollo de tecnologías más eficientes para la conversión de biomasa en energía, así como la identificación de cultivos energéticos sostenibles y prácticas agrícolas que maximicen la producción de biomasa sin comprometer la seguridad alimentaria ni el medio ambiente.</p>
--	--	--	--	---

			deforestación y la pérdida de biodiversidad.	
--	--	--	--	--

<p>-Energy access sustainability criteria definition for Colombian rural areas. (Montalvo-Navarrete & Lasso-Palacios, 2024)</p>		<p>-Montalvo-Navarrete & Lasso-Palacios (2024) menciona que, en el caso de la biomasa derivada de los residuos forestales, el proceso de recolección interrumpe:</p> <ul style="list-style-type: none"> • El reciclaje de nutrientes del suelo • Formación de humus • Procesos como la infiltración y el escurrimiento de agua. Esto conduce a alteraciones en la microflora y la fauna dentro del ecosistema ecológico, directamente afectando la regulación del agua e influyendo así en: • La biodiversidad a 		
---	--	--	--	--

		<p>través de la disponibilidad de hábitat.</p> <ul style="list-style-type: none">• La abundancia de especies.• La biodiversidad dentro de un área específica.• Afectando especies especialmente en zonas no interconectadas. <p>-Montalvo-Navarrete & Lasso-Palacios (2024) también menciona que, en cuanto a los cultivos para uso energético, hay impactos en el agua por eutroficación y consumos elevados, especialmente asociados a biomasa de primera generación, pero menores para segunda, tercera y cuarta</p>		
--	--	---	--	--

		<p>generación.</p> <p>c. La competencia por la tierra impacta la sustitución bosques y tierras para uso alimentario por cultivos energéticos, estos cambios afectan:</p> <ul style="list-style-type: none">• Reducen el secuestro de carbono en los suelos por su uso agrícola.• Reducen la disponibilidad de nutrientes y/o erosión del suelo.• Aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero.• Reducen los servicios ecosistémicos.		
--	--	--	--	--

		<ul style="list-style-type: none">• Presión sobre el recurso hídrico.• Afectación de la calidad del aire.• Conflictos para producción de comida. <p>a. A nivel social, Montalvo-Navarrete & Lasso-Palacios (2024) menciona que, 1) se deben implementar estrategias de planificación energética en las comunidades que permitan diseñar procesos con alternativas tecnológicas viables; 2) debe haber acompañamiento y capacitación de las comunidades que les</p>		
--	--	--	--	--

		<p>permita comprender, operar y mantener la tecnología utilizada para la generación de energía;</p> <p>3) se debe promocionar y socializar estas actividades en zonas rurales. 4) Se debe evaluar los impactos en la educación, la salud, la infraestructura y el bienestar. Especialmente en comunidades aisladas.</p> <p>b. Es importante involucrar a las comunidades en las políticas y la toma de decisiones, de esta manera se fomenta el compromiso, la asistencia y la confianza durante</p>		
--	--	--	--	--

		<p>todo el proceso. Para lograr lo anterior debe lograrse que en estos proyectos los miembros de la comunidad sean copropietarios, administradores y los beneficiarios. Las barreras a superar son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • El crecimiento económico • La inclusión social • La transparencia • La rendición de cuentas <p>Según Montalvo-Navarrete & Lasso-Palacios (2024), algunas partes interesadas sostienen que son necesarios criterios de sostenibilidad más</p>		
--	--	---	--	--

		<p>rigurosos, con regulación vinculante (que no los excluya), esquemas de certificación confiables y estándares similares a los de otros sectores productivos.</p> <p>Es importante que estos proyectos ayuden a mejorar la calidad de vida de las personas sin comprometer su herencia cultural, especialmente en zonas en las que antes se carecía de estos recursos energéticos.</p>		
--	--	---	--	--

7. ANÁLISIS

Analizando la situación actual de Colombia en este trabajo, se pueden identificar limitaciones en aspectos de: a) Políticas públicas; b) Su aceptación social; c) Los impactos ambientales; d) Los altos costos de implementación; e) El insuficiente retorno de la inversión. Estas limitantes son los principales retos por superar para lograr la selección de tecnologías y energías alternativas que permitan suplir las necesidades energéticas de las poblaciones. Debe tenerse en cuenta que Colombia no tiene una tradición que incentive el uso de las renovables, siendo la Ley 1715 de 2014 la única que abrió las puertas a este tipo de tecnologías, buscando su integración en la red eléctrica nacional, motivada por una transición que permitiera a futuro tener una economía baja en emisiones de carbono, alineado con la diversificación de la seguridad eléctrica nacional y la lucha contra el cambio climático. (Montalvo-Navarrete & Lasso-Palacios, 2024)

A nivel general, la estrategia es muy simple, en Colombia se busca implementar un sistema de microrredes, que debe adoptarse de manera gradual. Esto implica lograr incrementos en aspectos como la: a) capacitación; b) investigación; c) implementación. Sin embargo, a 2024 aún no se cuenta con una estrategia integral que permita estar preparados para un eventual desabastecimiento de energías fósiles. Paradójicamente, Colombia sí posee en la biomasa un potencial importante, especialmente desde la generación de biogás y sus derivados de los procesos anaeróbicos, en el que se puede usar primariamente las fuentes agrícolas como la caña, el plátano, arroz, entre otros. El reto más próximo por solucionar está enfocado en los costos del transporte del biogás a las plantas de procesamiento y su aceptación social. Por ejemplo, en el valle del Cauca, el cual tradicionalmente tiene una industria madura alrededor de la caña de azúcar, puede diversificar su economía con las renovables, incentivando pequeños emprendimientos en las comunidades que permitan generar ingresos y una economía alrededor de ella, se aprovecharía la abundancia en generación de biomasa por parte de las industrias, el conocimiento y experticia de la industria, así como la cercanía con las plantas de procesamiento. (Gaona et al., 2015)

Si bien la caña de azúcar cuenta con una industria más madura en Colombia, la tendencia en los países en desarrollo se expande con especial interés en productos como la lignocelulosa, el aceite de palma, las algas, la jatrofa, la soya y el maíz. Esto se debe a que, al igual que en Colombia, en

América latina hay mayores controles regulatorios, datos, formalización de la industria que permiten crear un ciclo de sostenibilidad que se puede resumir en un aspecto económico relacionado con a) inversión, b) operación y mantenimiento de costos y c) desarrollo económico; un aspecto social asociado a) seguridad alimentaria, b) necesidad de energía, c) empleabilidad y d) desarrollo social y finalmente un aspecto ambiental ligado a) emisiones de gases de efecto invernadero, b) servicios ecosistémicos y c) biodiversidad. (Cherubini & Strømman, 2011)

Por el lado ambiental, debe tenerse en cuenta que, la energía que se puede obtener de la biomasa puede generarse por diferentes métodos y procesos, entre ellos está la combustión, la digestión anaeróbica para producción de metano, la pirolisis, la fermentación, la transesterificación y la gasificación. En el caso de Colombia su fuente principal de biomasa comprende los residuos generados por actividades forestales y de agricultura, residuos biodegradables de actividades humanas y cultivos energéticos (Quintero Coronel et al., 2018). La biomasa residual engloba 3 sectores clave: sector de agricultura, sector de ganadería y sector de residuos sólidos orgánicos urbanos. Por este motivo las tecnologías más usadas son: 1) la fermentación para la producción de etanol, 2) la transesterificación para la producción de biodiesel y 3) los biodigestores para producción de biogás en fincas agropecuarias. (Escalante et al., 2011)

Con respecto a la huella de carbono, si bien es mucho más baja que las energías fósiles, no lo hace totalmente ajeno a los impactos que pueda generar, por ejemplo, la biomasa generada de los residuos forestales está asociada al reciclaje de nutrientes en el suelo, formación de hongos, bacterias y organismos que propician la infiltración de agua en el suelo y la formación de tierra negra. La alteración de estas dinámicas generaría una degradación en la microflora y la fauna que a su vez impactaría los sistemas ecológicos, el hábitat, la biodiversidad, la abundancia de especies y la regulación del agua. (Arceo et al., 2001) Lo anterior representaría un gran impacto si tenemos en cuenta la riqueza de Colombia en términos de biodiversidad. Si se tuviesen que ordenar según su importancia, se podrían clasificar así: 1) De todos estos impactos, el más preocupante es el relacionado a la disponibilidad y calidad del agua, debido a la cantidad de tierra y recurso hídrico que se necesitaría para tener cultivos destinados a la bioenergía; 2) la competencia por la tierra, se cambiaría el uso de la tierra para cultivos por cultivos destinados para bioenergía impactando el secuestro de carbono, la disponibilidad de nutrientes y la erosión del suelo; 3) Calidad del aire por

la cantidad de quemas para extensión de áreas y procesos primarios asociados a pequeños productores; 4) Biodiversidad y la reducción de hábitat de conservación que se destinarían para recolección de biomasa con fines energéticos por parte de las comunidades. (Qin et al., 2018)

Con respecto a los aspectos sociales, la clave radica en la aceptación social de este tipo de energías, la generación de empleo y el desarrollo de las comunidades. Las estrategias deben envolver la planeación energética con las comunidades, involucrarlos, desarrollando procesos para identificar alternativas económicas viables para solucionar las necesidades energéticas. En este mismo sentido las comunidades deben apropiarse para entender, operar, mantener la tecnología. Actividades como identificar y promover la eficiencia energética deben ser llevados a las zonas rurales aisladas donde hay más necesidad social especialmente en salud, educación, infraestructura y bienestar. (Pabón & Castillo, 2016). El proceso de integrar el conocimiento y el aprendizaje social son importantes en la formulación de políticas porque estos nuevos emprendimientos cuentan con muchos factores de incertidumbre que deben ser aceptados y reconocidos por las comunidades, que a su vez facilita la implementación de nuevas propuestas. En el tiempo, esto implicará reducción en los costos de la tecnología asociados a menos riesgo social y barreras políticas que se verán reflejados en mejoras socio económicas a través de las bioenergías. Aunque todo esto suena muy bien, también debe tenerse en cuenta en no afectar la riqueza cultural de las comunidades, por eso es importante vencer la barrera de la duda en las comunidades con guía e idoneidad de organizaciones públicas y privadas para ayudar a resolver preocupaciones que puedan surgir. (Ceballos Tobón et al. 2011)

A nivel económico, se deben superar brechas que se tienen con el uso de hidroeléctricas y gas. La matriz energética colombiana tiene una gran dependencia especialmente de la hidroeléctricas, que a su vez la hace vulnerable a efectos climáticos como el niño. La ley 1715 ahora reemplazada por la ley 2099, provee beneficios económicos para las industrias de las renovables que operan responsablemente usando los recursos renovables, aunque todavía no es muy eficiente para aquellas tecnologías con altos costos de operación en zonas no interconectadas (Rojas, 2015). Actualmente hay definido un límite máximo de 1MW para la autogeneración en plantas a pequeña escala, a pesar de ello, se ha visto que en aquellos casos donde se usa biomasa forestal, se ha visto

la creación de una microeconomía beneficiando la creación de empleo y la reducción de los costos de la energía en zonas aisladas. (Ladino Tamayo & Martínez Rojas, 2017).

8. CONCLUSIONES

- En Colombia se han adoptado varias estrategias para incentivar el uso de biomasa como fuente de energía, se destacan las regulaciones en el ámbito energético asociadas al plan energético nacional 2020-2050, incentivando el uso de energías renovables como fuentes de energía eléctrica, el fomento de la inversión estatal en fuentes renovables de energía, mecanismos de financiación o incentivos tributarios, la implementación de los ODS también apalanca estas estrategias, el compromiso de combatir el cambio climático a través de emisiones neutras de CO₂, el cuidado del medio ambiente, el uso de desechos residuales de actividades de las industrias agrícola, ganadera, avícola, y porcícola, así como el aprovechamiento de los residuos generados en las ciudades, otra estrategia está asociado a la búsqueda de tecnologías más eficientes para el uso de biomasa como fuente de energía.
- El potencial energético de la biomasa como fuente de energía es indiscutible pese a esto solo representa el 3.0% de la generación de energía del país desde fuentes renovables de energía, superado en gran medida por la generación de energía en hidroeléctricas, esta representación tan baja puede estar asociada a los costos elevados en la implementación y mantenimiento de plantas de producción eléctrica a partir de biomasa, el mal manejo que se le dan a los residuos producidos en las ciudades, y actividades agrícolas, o el desconocimiento de las comunidades en el aprovechamiento y uso de la biomasa como fuente de energía.
- Es posible mejorar las estrategias existentes en el campo de uso de la biomasa en Colombia como fuente de energía, si se plantean mecanismos de inversión estatal y extranjera así como líneas de crédito o incentivos tributarios enfocados únicamente en la utilización de biomasa, de igual forma se debe procurar por la comunicación y entendimiento en las comunidades del potencial de utilizar la biomasa como fuente de energía, otra alternativa es la diversificación de la oferta de biomasa, ya que en el momento se encuentra dominada por los cultivos bioenergéticos de caña de azúcar y palma aceitera, incentivar la investigación, desarrollo de nuevos mecanismos de aprovechamiento de la biomasa como fuente de energía, un mejor y más eficiente aprovechamiento de los desechos orgánicos generados por las ciudades.

9. RECOMENDACIONES

Para futuras investigaciones se recomienda utilizar métodos diferentes de investigación al utilizado en esta investigación de carácter cualitativo descriptivo con el fin de profundizar en aspectos relacionados con la generación de energía a través de biomasa proporcionando indicadores y factores claves para la adopción de la biomasa como fuente de energía.

Es necesario realizar estudios relacionados con los costos y beneficios de la adopción de biomasa como fuente de energía en Colombia desde la perspectiva de las fuentes de generación de biomasa y su contribución al sistema energético nacional.

Fomentar los procesos de investigación y desarrollo de nuevos métodos de generación de energía eléctrica o biocombustibles a partir de biomasa residual permitirá acelerar la adopción de este método como una fuente alternativa y rentable de producción de energía limpia y sin afectación al medioambiente.

10. REFERENCIAS

- Akter, M. M., Surovy, I. Z., Sultana, N., Faruk, M. O., Gilroyed, B. H., Tijing, L., Arman, Didar-ul-Alam, Shon, H. K., Nam, S. Y., & Kabir, M. M. (2024). Techno-economics and environmental sustainability of agricultural biomass-based energy potential. *Applied Energy*, 359(122662), 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.122662>
- Alzate, S., Restrepo-Cuestas, B., & Jaramillo-Duque, Á. (2019). Municipal solid waste as a source of electric power generation in Colombia: A techno-economic evaluation under different scenarios. *Resources*, 8(1), 51. <https://doi.org/10.3390/resources8010051>
- Arauzo, J., Bimbela, F., Ábrego, J., Sánchez, J. L., & Gonzalo, A. (2014). Introducción a las tecnologías de aprovechamiento de biomasa. 2–6. https://www.gecarbon.org/boletines/articulos/BoletinGEC_033-A01.pdf
- Arceo ÁA, Pérez JAS, Cuza RP, Bosch ON. (2001). Impacto ambiental de las tecnologías de aprovechamiento energético de la biomasa. *Tecnol Quím.* 21:98–105.
- Arias-Gaviria, J., Carvajal-Quintero, S. X., & Arango-Aramburo, S. (2019). Understanding dynamics and policy for renewable energy diffusion in Colombia. *Renewable Energy*, 139, 1111–1119. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.02.138>
- Babbie, E. (2016). *Fundamentos de investigación social*. Cengage Learning.
- Ballesteros, M. (2018). El papel de la bioenergía en la nueva bioeconomía. *Mediterráneo económico*, 353–369. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6648785>
- Baratoff MC., Black I., Burgess B., Felt JE., Garratt M., Guenther C. (2007). Renewable power, policy, and the cost of capital: Improving capital market efficiency to support renewable power generation projects. Ann Arbor, MI: University of Michigan, Erb Institute for Global Sustainable Enterprise. Preparado para UNEP/BASE Sustainable Energy Finance Initiative.
- Barrera Hernández, J. C., Ramírez Contreras, N. E., & García Núñez, J. A. (2018). Combustión de biomasa: conceptos, tecnologías y aplicaciones en la agroindustria de la palma de aceite. *Palmas*, 39(4), 24–44. Recuperado a partir de <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/12709>
- Callejón Ferre, Á. J. (2011). La biomasa procedente DE cultivos agrarios: Energía renovable. *Idesia*, 29(1), 5–6. <https://doi.org/10.4067/s0718-34292011000100001>
- Canabarro, N. I., Silva-Ortiz, P., Nogueira, L. A. H., Cantarella, H., Maciel-Filho, R., & Souza, G. M. (2023). Sustainability assessment of ethanol and biodiesel production in Argentina, Brazil,

- Colombia, and Guatemala. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 171(113019), 113019.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.113019>
- Canabarro, N. I., Silva-Ortiz, P., Nogueira, L. A. H., Cantarella, H., Maciel-Filho, R., & Souza, G. M. (2023). Sustainability assessment of ethanol and biodiesel production in Argentina, Brazil, Colombia, and Guatemala. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 171(113019), 113019.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.113019>
- Caracterización de La Biomasa Residual En Colombia. p. 131–6. Colombia.
- Ceballos Tobón N, Hernández Puerto E, Garzón Monroy CA. (2011). Energización para un mejor vivir: modelo de gestión cultural.
- Cherubini F, Strømman AH. (2011). Life cycle assessment of bioenergy systems: state of the art and future challenges. *Bioresour Technol* 102:437–51.
- Colombia. Recuperado de:
- Congreso de Colombia. (2014). Ley 1715 de 2014. Colombia. Recuperado de:
[http://wsp.presidencia.gov.co/Normativa/Leyes/Documents/LEY 1715 DEL 13 DE MAYODE 2014.pdf](http://wsp.presidencia.gov.co/Normativa/Leyes/Documents/LEY%201715%20DEL%2013%20DE%20MAYO%202014.pdf)
- Congreso de Colombia. (2014). Ley 1715 de 2014. Colombia. Recuperado de:
- Congreso de Colombia. (2019). Ley 1955 de 2019. Plan Nacional de Desarrollo 2018 – 2022.
- Couture T., Gagnon Y. (2010). An analysis of feed-in tariff remuneration models: Implications for renewable energy investment. *Energy Policy* 38: 955-965.
- CREG. (2015a). Resolución 024. Por la cual se regula la actividad de autogeneración a gran escala en el SIN. Recuperado de:
[http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/67513914c35d6b8c05257e2d007cf0b0/\\$FILE/Creg024-2015.pdf](http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/67513914c35d6b8c05257e2d007cf0b0/$FILE/Creg024-2015.pdf)
- CREG. (2015b). Resolución 011. Por la cual se regula el programa de respuesta de la demanda para el mercado diario en condición crítica. Recuperado de:
<http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/84e16439657b002b05257e52005011b5?OpenDocument>
- CREG. (2018). Resolución 038. Por la cual se regula la actividad de autogeneración en las zonas no interconectadas y se dictan algunas disposiciones sobre la generación distribuida en las zonas no interconectadas. Recuperado de: <https://app.vlex.com/#vid/716634677>
- CREG. (2019). Resolución 098. Por la cual se definen los mecanismos para incorporar sistemas de almacenamiento ... en el SIN. Recuperado de: <https://2019.vlex.com/#vid/811528253>
- Cremonese, P. A., Feroldi, M., Feiden, A., Gustavo Teleken, J., José Gris, D., Dieter, J., de Rossi, E., & Antonelli, J. (2015). Current scenario and prospects of use of liquid biofuels in South America.

- Renewable and Sustainable Energy Reviews, 43, 352–362.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.11.064>
- Cristiano, G., & Mirandázanetti, M. (2019). Tratamiento de Residuos Orgánicos y Generación de Bioenergía para Disminuir Impacto Ambiental. *Trayectorias: revista de ciencias sociales de la Universidad Nacional de Nuevo León*, 3–27.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7107805>
- DB Climate Change Advisors (2009). *Paying for renewable energy: TLC at the right price - Achieving scale through efficient policy design*. New York, NY: The Deutsche Bank Group.
 DE 2014.pdf
- de Lucas Herguedas, A., del Peso, C., Rodríguez, E., & Prieto, P. (2012). BIOMASA, BIOCOMBUSTIBLES Y SOSTENIBILIDAD. Centro Tecnológico Agrario y Agroalimentario.
<http://sostenible.palencia.uva.es/system/files/publicaciones/Biomasa%2C%20Biocombustibles%20y%20Sostenibilidad.pdf>
- Delgado, J. E., Salgado, J. J., & Perez, R. (2015). Perspectivas de los biocombustibles en Colombia. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 14(27), 13-28.
- Denzin, N. K., & Lincoln, Y. S. (2018). *El campo de la investigación cualitativa*. Sage Publications.
- Diaz-Chavez, R. (2019). De qué manera la producción sostenible de bioenergía puede contribuir al desarrollo de Colombia. *Palmas*, 40 (Especial, Tomo I), 104-118.
- Ecopetrol (2023) El Grupo Ecopetrol invertirá entre COP 25.3 y COP 29.8 billones en 2023 para acelerar la senda de transición y soberanía energética
<https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/Home/es/noticias/detalle/inversion-ge-2023-transicion-energetica>
- EMIS Insights - Industry Reports (2023) Latin America Renewables Energy Sector Report 2023-2024
[https://www-emis-com.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/php/search/docpdf-chapters?pc=CO&sv=EMIS&dcid=789360777&numresult=&pcid=EMISINSIGHT&change_selected_countries=1&range=all&sort_by=relevance&indu_local_class=naicsbyid&indu\[\]=221117&indu\[\]=221118&query_entry=quick](https://www-emis-com.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/php/search/docpdf-chapters?pc=CO&sv=EMIS&dcid=789360777&numresult=&pcid=EMISINSIGHT&change_selected_countries=1&range=all&sort_by=relevance&indu_local_class=naicsbyid&indu[]=221117&indu[]=221118&query_entry=quick)
- Escalante H, Orduz J, Zapata H, Cardona MC, Duarte M. (2011). Atlas del potencial energético de la biomasa residual en Colombia. Anexo B: Muestreo y
- Gaona EE, Trujillo, CI, Guacaneme, (2015). JA. Rural microgrids and its potential application in Colombia. *Renew Sustain Energy*, 51:125–37.
- García, J. L., & Martínez, M. J. (2014). *Biomasa y Biotecnología*. Centro de Investigaciones Biológicas del Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Madrid. Recuperado de:
https://digital.csic.es/bitstream/10261/137345/5/Sem%40aforo_2014_Garcia_Martinez.pdf

- García-Torres, J. (2017). Estudio Comparativo Entre Las Diferentes Fuentes De Energía Eléctrica En Colombia Y La Generación De Electricidad A Partir De Biomasa.
<https://doi.org/10.48550/ARXIV.1706.08441>
- Giraldo, M., Vacca, R., & Urrego, A. (2018). Las energías alternativas ¿una oportunidad para Colombia? Unirioja.es. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6540494>
- Gutiérrez, A., & García, J.G. (2021). Fuentes De Energía Renovable, Recursos Energéticos Distribuidos Y Almacenamiento En Colombia: Una Revisión De La Normatividad (Renewable Energy Sources, Distributed Energy Resources And Energy Storage In Colombia: A Review Of Regulations). PSN: Renewable Resources & Energy (Topic).
http://wsp.presidencia.gov.co/Normativa/Leyes/Documents/LEY_1715_DEL_13_DE_MAYO
http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1955_2019.html
- Hurtado, C. (2019). Adopción de Biomasa como Energía Renovable No Convencional en el Mercado Eléctrico Colombiano. <https://repository.eafit.edu.co/server/api/core/bitstreams/67e30342-d094-41c9-a8be-417461c35d69/content>
- Ladino Tamayo AF, Martínez Rojas JA. (2017). Metodología para el aprovechamiento energético de recursos de biomasa residual pecuaria en la autogeneración de electricidad: casos de estudio Briceño Boyacá y Cajicá Cundinamarca. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- LEY 693 DE 2001 c. d. Colombia Ley 693 de 2001.
- LEY 788 DE 2002 c. d. Colombia Ley 788, 2002.
- LEY 939 DE 2004 c. d. Colombia Ley 939, 2004.
- MarketLine Industry Reports (2023) South America - Power Generation, December 2023 [https://www-emis-com.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/php/search/docpdf-chapters?pc=CO&sv=EMIS&dcid=808181979&numresult=&pcid=MARKETLINEINDU&change_selected_countries=1&range=all&sort_by=relevance&indu_local_class=naicsbyid&indu\[\]=2123&indu\[\]=2211&query_entry=quick](https://www-emis-com.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/php/search/docpdf-chapters?pc=CO&sv=EMIS&dcid=808181979&numresult=&pcid=MARKETLINEINDU&change_selected_countries=1&range=all&sort_by=relevance&indu_local_class=naicsbyid&indu[]=2123&indu[]=2211&query_entry=quick)
- Marketline Industry Reports -1 (2023) Colombia - Power Generation, December 2023 [https://www-emis-com.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/php/search/docpdf-chapters?pc=CO&sv=EMIS&dcid=808181623&numresult=&pcid=MARKETLINEINDU&change_selected_countries=1&range=all&sort_by=relevance&indu_local_class=naicsbyid&indu\[\]=2123&indu\[\]=2211&query_entry=quick](https://www-emis-com.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/php/search/docpdf-chapters?pc=CO&sv=EMIS&dcid=808181623&numresult=&pcid=MARKETLINEINDU&change_selected_countries=1&range=all&sort_by=relevance&indu_local_class=naicsbyid&indu[]=2123&indu[]=2211&query_entry=quick)
- MarketLine Industry Reports-2 (2023) Colombia - Renewable Energy, August 2023. <https://www-emis-com.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/php/search/docpdf-chapters?pc=CO&sv=EMIS&dcid=790339919&numresult=&pcid=MARKETLINEINDU&chan>

- ge_selected_countries=1&range=all&sort_by=relevance&indu_local_class=naicsbyid&indu[]=22111&query_entry=quick
- Ministerio de Hacienda y Crédito Público (2020). Decreto 829. Por el cual se reglamentan los artículos 11, 12, 13 Y 14 de la Ley 1715 de 2014, se modifica y adiciona el Decreto 1625 de 2016, Único Reglamentario en Materia Tributaria y se derogan algunos artículos del Decreto 1073, Único Reglamentario del Sector Administrativo de Minas y Energía.
<https://dapre.presidencia.gov.co/normativa/normativa/DECRETO%20829%20DEL%2010%20DE%20JUNIO%20DE%202020.pdf>
- Ministerio de Minas y Energía (2021). Transición energética: un legado para el presente y el futuro de Colombia. Recuperado de: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://www.minenergia.gov.co/documents/5856/TRANSICION_ENERGETICA_COLOMBIA_BID-MINENERGIA-2403.pdf
- Ministerio de Minas y Energía (2024) Funciones y deberes
<https://www.minenergia.gov.co/es/ministerio/estructura-organizacional/funciones/#:~:text=Formular%2C%20adoptar%2C%20dirigir%20y%20coordinar,de%20minerales%2C%20hidrocarburos%20y%20biocombustibles.>
- Ministerio de minas y energía -1 (2023) <https://www.minenergia.gov.co/es/sala-de-prensa/noticias-index/bid-aprob%C3%B3-us70-millones-para-respaldar-la-iniciativa-de-transici%C3%B3n-energ%C3%A9tica-en-colombia/>
- Ministerio de Minas y Energía. (2015). Integración de las Energías Renovables No Convencionales en Colombia. In Unidad de Planeación Minero Energética. Recuperado de: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/http://www.upme.gov.co/Estudios/2015/Integracion_Energias_Renovables/INTEGRACION_ENERGIAS_RENOVANLES_WEB.pdf
- Ministerio de Minas y Energía. (2018). Resolución 40072. Establece e implementa los lineamientos de política energética en materia de sistemas de medición avanzada. Recuperado de: https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/resolucion_minminas_40072_2018.htm
- Ministerio de Minas y Energía. (2019). Resolución 40715 De 2019. Recuperado de: https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/resolucion_minminas_40715_2019.htm
- Montalvo-Navarrete, J. M., & Lasso-Palacios, A. P. (2024). Energy access sustainability criteria definition for Colombian rural areas. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 189(113922), 113922.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113922>
- Newcomb J., Lacy V., Hansen L. (2013). *New business models for the distribution edge: The transition from value chain to value constellation*. Boulder, CO: Rocky Mountain Institute, Electricity Innovation Lab (e-Lab).

- OECD, & Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2020). OCDE FAO Perspectivas Agrícolas 2020 2029. OECD. <https://doi.org/10.1787/a0848ac0-es>. Recuperado de: www.oecd-ilibrary.org/deliver/a0848ac0-es.pdf?itemId=%2Fcontent%2Fpublication%2Fa0848ac0-es&mimeType=pdf
- Pabón MC, Castillo MC.(2016). Monografía de investigación sobre el potencial que tiene Colombia para la implementación de energías no convencionales.
- Parlamento Europeo, (2018). Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the promotion of the use of energy from renewable sources. Recuperado de: <http://data.europa.eu/eli/dir/2018/2001/2023-11-20>
- Pinto, Y. U., & Moreno, M. R. (2015). Propuesta de gestión para reducción de barreras en la generación eléctrica, a partir de gasificación de residuos de biomasa forestal, para Zonas No Interconectadas en Colombia (caso Necoclí, Antioquia). Pontificia Universidad Javeriana.
- Qin Z, Zhuang Q, Cai X, He Y, Huang Y, Jiang D, et al. (2018). Biomass and biofuels in China: toward bioenergy resource potentials and their impacts on the environment. *Renew Sustain Energy*. 82:2387–400.
- Quintero Coronel DA, Lenis Rodas YA, Corredor Martínez LA. (2018). Desarrollo de un modelo de gasificación en equilibrio químico para evaluar el potencial energético del cuesco en plantas extractoras de aceite de palma en Colombia.
- Rendón, J. J. G. (2021). Fuentes De Energía Renovable, Recursos Energéticos Distribuidos Y Almacenamiento En Colombia: Una Revisión De La Normatividad (Renewable Energy Sources, Distributed Energy Resources And Energy Storage In Colombia: A Review Of Regulations). SSRN Electronic Journal.
- Robles, C., Rodríguez, O. (2018). Un panorama de las energías renovables en el mundo, latinoamérica y colombia. *ESPACIOS* 39(34), <https://www.revistaespacios.com/a18v39n34/a18v39n34p10.pdf>
- Rocha-Meneses, L., Luna-delRisco, M., González, C. A., Moncada, S. V., Moreno, A., Sierra-Del Rio, J., & Castillo-Meza, L. E. (2023). An overview of the Socio-economic, technological, and environmental opportunities and challenges for renewable energy generation from residual biomass: A case study of biogas production in Colombia. *Energies*, 16(16), 5901. <https://doi.org/10.3390/en16165901>
- Rojas JF. (2015). Energías alternativas en Colombia bajo la ley 1715.
- Ruiz Olabuénaga, J. I. (2013). Metodología de la investigación cualitativa. Universidad de Deusto.
- Sánchez-Gómez, J. & Fajardo-Pinilla, J. (2019). Tecnologías de aprovechamiento energético de biomasa para la electrificación rural en Cundinamarca. *Revista Ontare*, 7, 117-132. DOI: <https://doi.org/10.21158/23823399.v7.n0.2019.2643>

UPME (sf) Plan Energético Nacional 2020 – 2050

<https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Paginas/PEN.aspx#:~:text=En%20el%20PEN%202020%2D2050,energ%C3%A9tico%20descentralizado%2C%20descarbonizado%20y%20digitalizado.>

UPME. (2015). Integración de las Energías Renovables No Convencionales en Colombia. In Unidad de Planeación Minero Energética. Recuperado de: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/http://www.upme.gov.co/Estudios/2015/Integracion_Energias_Renovables/INTEGRACION_ENERGIAS_RENOVANLES_WEB.pdf

UPME. (2020a). Atlas del potencial energético de la Biomasa residual en Colombia In Unidad de Planeación Minero Energética. Recuperado de: <https://www1.upme.gov.co/siame/Paginas/atlas-del-potencial-energetico-de-la-biomasa.aspx>

UPME. (2020b). Plan energético nacional 2020-2050, Transformación energética para el desarrollo sostenible. In Unidad de Planeación Minero Energética. Recuperado de: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/PEN_documento_para_consulta.pdf

UPME-1 (2014) Invierta y Gane con Energía Guía práctica para la aplicación de los incentivos tributarios de la Ley 1715 de 2014

https://www1.upme.gov.co/Documents/Cartilla_IGE_Incentivos_Tributarios_Ley1715.pdf