

## **ANÁLISIS Y PERSPECTIVAS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE TECNOLOGÍAS LIMPIAS PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA EN COLOMBIA**

ANALYSIS AND PROSPECTS FOR THE IMPLEMENTATION OF CLEAN TECHNOLOGIES  
FOR POWER GENERATION IN COLOMBIA

**MARÍA CAMILA RAMOS-CÁRDENAS**

Estudiante de ingeniería ambiental  
Universidad de Boyacá, Colombia  
mcramos@uniboyaca.edu.co

**DIANA CAMILA HERNÁNDEZ-CIPAMOCHA**

Estudiante de ingeniería ambiental  
Universidad de Boyacá, Colombia  
diacamhernandez@uniboyaca.edu.co

**HENRY YUSMÁN PÉREZ-ARENAS**

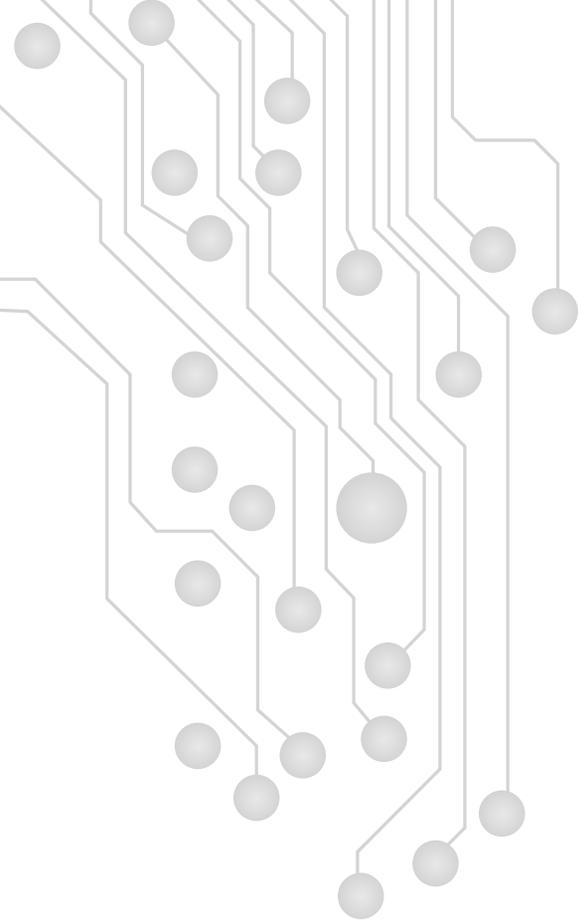
Estudiante de ingeniería ambiental  
Universidad de Boyacá, Colombia  
hyperez@uniboyaca.edu.co

**ERIKA SIERRA-CÁRDENAS**

Docente de ingeniería ambiental  
Universidad de Boyacá, Colombia  
efsierra@uniboyaca.edu.co

Recibido: 18/04/2019

Aceptado: 20/12/2019



## RESUMEN

En el presente artículo se hace un análisis de los aspectos más relevantes de la matriz energética de Colombia y una indagación de las estrategias de producción, desarrollo y adaptación de las energías renovables en el país y su impacto en cuanto a la disminución de emisiones de Gases Efecto Invernadero (GEI). El desarrollo de este documento parte del Plan Nacional Colombia, Diario energético 2050, elaborado por La Unidad de Planeación Minero-Energética UPME. En él se establecen las metas propuestas frente al marco energético del país. Así mismo, en este artículo se hace una revisión de los aspectos generales de energías alternativas como eólica, solar, geotérmica, hidráulica y biomasa, que permite establecer el potencial de Colombia en este tipo de energías. La investigación realizada permitió concluir que existen leyes e incentivos, principalmente de carácter tributario, que promueven el desarrollo de las energías renovables. Sin embargo, son necesarios mayores esfuerzos por parte de las entidades gubernamentales para establecer políticas que permitan desarrollar un mercado potencial para este tipo de energías y que cumplan con los requerimientos de sostenibilidad ambiental, social y económica para el desarrollo energético del país.

**Palabras clave:** energías renovables, matriz energética, fuentes no convencionales de energía, regulación e incentivos en energías renovables.

## ABSTRACT

This article analyzes the most relevant aspects of Colombia's energy matrix and examines the strategies for production, development and adaptation of renewable energies in the country and their impact on the reduction of Greenhouse Gas (GHG) emissions. The development of this document is based on the National Plan Colombia, Energy Diary 2050, prepared by the Mining-Energy Planning Unit UPME. It establishes the proposed goals for the country's energy framework. Likewise, this article reviews the general aspects of alternative energies such as wind, solar, geothermal, hydraulic and biomass, which allows establishing Colombia's potential in this type of energies. The research carried out allowed concluding that there are laws and incentives, mainly of a tax nature, that promote the development of renewable energies. However, greater efforts are needed by government entities to establish policies

Citar este artículo así: Ramos M., Hernández D., Pérez H., Sierra E. Análisis y perspectivas de la implementación de tecnologías limpias para la generación de energía en Colombia. Revista I3+, 4(2), 23 - 42 p.p

that allow the development of a potential market for this type of energy and that meet the requirements of environmental, social and economic sustainability for the country's energy development.

**Keywords:** renewable energy, energy matrix, unconventional sources of energy, regulation and incentives in renewable energy.

## INTRODUCCIÓN

Muchos gobiernos, empresas, corporaciones e individuos de todo el mundo han comenzado a darse cuenta de la necesidad de más energía renovable. Pero ¿cómo debemos mirar el futuro de la energía renovable y sostenible, y qué significará para las generaciones futuras?

En América Latina, la energía renovable ha logrado algunos avances importantes durante la última década y parece estar posicionada para continuar en una dirección positiva gracias a varios factores que incluyen ganancias constantes y un mayor compromiso financiero por parte de actores clave.

Paredes (2017) afirma que

América Latina y el Caribe están enfrentando una serie de cambios en el sector energético. El consumo energético en los países de la región va de la mano del crecimiento económico, presionando a los países a aumentar sus capacidades de generación, transmisión y distribución para asegurar la disponibilidad de energía, es decir, la seguridad energética. Los países están enfrentando desafíos para aumentar su eficiencia energética y la proporción de energía renovable en sus matrices energéticas. La seguridad energética, la eficiencia energética y la energía renovable son centrales para el futuro del sector energético de la región y por lo tanto un pilar fundamental para la competitividad y la productividad. (p. 13)

En Colombia, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM (2015) afirma que las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) generadas en el sector energético presentan una tendencia de aumento. En el periodo 1990-2021 se reportó un incremento promedio anual del 3 %. La categoría con las mayores emisiones es el sector transporte, con un promedio anual para la serie temporal del 38 %, seguida de las industrias de la energía con un porcentaje del 23 %. Eso implica que el sector energético es uno de los sectores con mayor producción de GEI, lo que genera gran preocupación, pues este sector se encuentra dentro de los cuatro grupos principales del panel intergubernamental de cambio climático.

Las emisiones GEI de Colombia corresponden aproximadamente al 0,4 % del total de emisiones mundiales, lo que la ubica en el puesto cinco entre 32 países de Latinoamérica y el Caribe.

Al respecto, Ruiz (2005) destaca que los costos de las energías renovables son el principal obstáculo para su implementación: las inversiones económicas y políticas son inevitables. Estas intervenciones incluyen la legislación, los incentivos a la inversión, las metas de generación de energía, las directrices para la conservación de la energía, las estrategias para estimular la industria de la energía y los impuestos económicos que permitirían un cambio en la matriz energética.

Por su lado, Monterrosa (2018) indica que “Colombia cuenta con diferentes opciones para generar energía, debido a sus recursos naturales, sus condiciones climáticas y geográficas. La mayoría de nuevos proyectos de generación registrados son de energía solar fotovoltaica” (p. 1). Partiendo de lo anterior, Ortiz (2012) indica que es necesario analizar las políticas de regulación existentes y los proyectos propuestos para la generación de energía, con el fin de establecer si existen políticas que garanticen la adecuada promoción, producción, desarrollo o adaptación creativa de las energías renovables en el sector energético colombiano y las barreras a estas alternativas.

Actualmente, según la UPME (2015a),

las energías solar y eólica en Colombia tienen una participación marginal en la canasta de generación eléctrica. En paneles fotovoltaicos se estima que hay entre 9 y 11 MWp instalados en sistemas aislados o aplicaciones profesionales, mientras que en energía eólica se cuenta con 19,5 MW del parque eólico Jepírachi. (p. 96)

Por otra parte, UPME y Corpoema (2010) afirman que, en el campo ambiental, la ejecución y la operación de los proyectos energéticos debe darse de acuerdo con la normatividad vigente en materia de emisiones, disposición de residuos, vertimiento de aguas, etc. Es decir, cada proyecto debe internalizar los costos que le implica desarrollar las acciones exigidas en la licencia ambiental. Pero las externalidades no son valoradas.

Según la Unidad de Planeación Minero-Energética UPME (2015a), “el objetivo general de una política energética debería ser lograr el abastecimiento interno y externo de energía de manera eficiente, con el mínimo impacto ambiental y con valor agregado para las regiones y poblaciones” (p. 81). Si bien Colombia cuenta con una diversidad de recursos que le han permitido satisfacer las demandas de energía de los hogares, el transporte y la industria, es preciso avanzar hacia una diversificación de la canasta energética que permita generar un mayor porcentaje de energías renovables frente a la producción nacional, procurando aprovechar diferentes recursos que no generen impactos negativos en el medio ambiente.

De esta manera, con base en datos de la UPME (2017a), Colombia para el año 2015 se ubicaba en el octavo puesto, respecto a las economías latinoamericanas más representativas, con un consumo per cápita de energía de 1.137 kWh. Actualmente, el país no ha adoptado oficialmente el uso de energías renovables y solamente se ha centrado en el uso de energías convencionales. Por eso, el objetivo de este documento es identificar los desafíos de adoptar energías renovables en Colombia.

## EMISIONES DE GASES EFECTO INVERNADERO (GEI) EN COLOMBIA

Según lo afirmado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM (2015) en el Inventario Nacional de gases efecto invernadero en Colombia, los GEI son compuestos que, aunque están presentes en la atmósfera en concentraciones pequeñas, aumentan significativamente la temperatura de la baja atmósfera. Esto se debe a su capacidad para absorber y emitir radiación infrarroja, y a la rapidez de los procesos fisicoquímicos que remueven cada gas, lo que determina su tiempo de vida (largo/corto). Por consiguiente, los gases de larga vida son CO<sub>2</sub> (> 100 años), CH<sub>4</sub> (12 años), N<sub>2</sub>O (121 años) y clorofluorocarbonos (45 – 1020 años).

En un estudio realizado por el IDEAM en el 2012, reportado en el inventario general de Gases Efecto Invernadero se señala el total de emisiones de GEI (ver tabla 1) obtenido a partir del análisis de actividades como quema de combustible, industrias energéticas, manufacturas y de construcción, sector transporte, emisiones fugitivas provenientes de la fabricación de combustibles, combustibles sólidos, petróleo y gas natural. Adicionalmente, la tabla 2 indica la cantidad de CO<sub>2</sub> generado en los años 2010 y 2012 para diferentes sectores.

Tabla 1. Emisiones de GEI en gigagramos.

NO <sub>x</sub>	CO	COVDM	SO <sub>2</sub>
268,78	2.136,15	2.333,7	482,43

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, 2015.

Tabla 2. Emisiones de GEI por sectores en Mton CO<sub>2</sub>.

SECTOR	2010	2012
<b>Transporte</b>	22,7	30,4
<b>Deforestación</b>	78,9	27,4
<b>Pecuario</b>	26,2	23,8
<b>Agricultura</b>	27,9	27,7
<b>Industrias manufactureras</b>	29,4	27,4

SECTOR	2010	2012
<b>Industria de la energía</b>	22,8	24,5
<b>Residuos</b>	10,5	10,9
<b>Residencia y comercial</b>	5,7	6,2

Fuente: IDEAM, 2015.

## POLÍTICAS EXISTENTES EN CUANTO A LAS FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLES (FER)

Robles (2018) realiza el siguiente listado de la legislación actual que regula las fuentes de energía renovables o no convencionales:

- Leyes 142 y 143 de 1994, reguladoras de subastas, contratos de energía a largo plazo y principios tarifarios.
- Acuerdo de París: con entrada en vigor en 2020, por el que Colombia se compromete a reducir las emisiones de GEI.
- Ley 1715/2014, reguladora de la integración de Fuentes no Convencionales de Energías Renovables (FNCER) al sistema eléctrico nacional, que incentiva la inversión, la investigación y el desarrollo del sector, al brindar los beneficios expuestos a continuación:
  - Autoriza a autogeneradores a pequeña y gran escala a vender sus excedentes de generación a la red de distribución.
  - Exime del pago de IVA a todos los equipos y servicios, acotados por la UPME, que se destinen al proyecto.
  - Autoriza el uso de sistemas de medición bidireccional y mecanismos simplificados de conexión y entrega de excedentes a los autogeneradores de pequeña escala.
  - Artículos 13 y 14 estipulan la posibilidad de depreciar aceleradamente los activos del proyecto, con una tasa anual de depreciación máxima del 20 %.
  - Promueve la venta de energía por parte de generadores distribuidos.
  - Promueve el desarrollo de proyectos basados en FNCER a través de incentivos tributarios, arancelarios y contables.
- Documento CREG 161/2016. Alternativas regulatorias para FNCER.
- Resolución 281 de 2015, por la que se regula la autogeneración.

- Resolución 024/2015, por la que se regula la autogeneración a gran escala.
- En 2001, la ley 697 (regulada por el Decreto 3683, emitido en 2003) promueve el uso eficiente y racional de la energía y las energías alternativas. En ella se reglamentan y contemplan aspectos importantes como el estímulo a la educación y la investigación en materia de fuentes de energía renovable.

En el 2002 se dieron algunos incentivos directos e indirectos establecidos a través de la reforma tributaria 788. El artículo 18 exime del impuesto a la renta a generadores que venden electricidad eólica y biomasa durante 15 años. Para ello deben tramitar, obtener y vender certificado de emisión de dióxido de carbono según el protocolo de Kioto, y al menos 50 % de los ingresos obtenidos de la venta de dicho certificado se deben invertir en obras de beneficio social en la región donde opera el generador. Los artículos 31 y 88 eximen del impuesto a las ventas al combustible designado para ser mezclado con gasolina. Para liderar en FER Colombia se necesita:

1. Participación porcentual de las FER dentro de la matriz de energía, que se define con la capacidad de la planta y el tipo de fuentes.
2. Sistemas de apoyo.
3. Presupuesto para investigación científica y desarrollo tecnológico.
4. Apoyo técnico rural y urbano

Si bien la ley 1715 ayuda a superar algunas barreras para el desarrollo de las Fuentes No Convencionales de Energía (FNCE), otras barreras todavía están presentes en Colombia. Por ejemplo, los autores destacan la necesidad de la política energética en Colombia a fin de respaldar las expansiones en la red, el desarrollo de energía renovable y abordar la estabilidad y sostenibilidad del mercado, debido a que, según la UPME (2017b), se estima que la demanda de potencia máxima tiene un crecimiento de 2,11 % para el periodo 2017 a 2031.

## GENERACIÓN ELÉCTRICA EN COLOMBIA

El sistema eléctrico de potencia colombiano, también conocido como Sistema Interconectado Nacional (SIN), a pesar de cubrir solo el 48 % del territorio nacional, provee energía a cerca del 98,2 % del consumo total de energía eléctrica en el país (UPME, et al, 2015). El resto de la demanda de energía se da en zonas remotas del territorio llamadas zonas no interconectadas (Pinzón, 2016).

Teniendo en cuenta lo anterior, Pinzón (2016) señala que en el país se presentan dos realidades muy diferentes: por un lado, un SIN en el cual existe un mercado mayorista con separación vertical de las actividades de generación, distribución, comercialización y transmisión, en el que se fija el precio

marginal mediante una bolsa de energía (Flórez, Tobón y Castillo, 2009); y por el otro lado están las Zonas No Interconectadas (ZNI), caracterizadas por tener una baja densidad de población, encontrarse en sitios alejados, de difícil acceso, y generalmente con reservas y parques naturales en sus territorios, así como comunidades étnicas y afro. Esto implica que además no exista un mecanismo de mercado para determinar el precio de la electricidad, ni está definida con claridad la separación entre la generación, la distribución y la comercialización, debido precisamente a que primero se debe enfrentar el problema de cómo proveer el servicio en estas zonas.

Por otra parte, según la UPME (2015a), la matriz de generación eléctrica en Colombia se concentra principalmente en dos fuentes: la hidroelectricidad, con una participación del 67,7 %, incluyendo hidroeléctricas menores; y la generación a gas natural que representa el 26,3 % de la capacidad instalada en 2014. Eso implica, según Pinzón (2016), que el sistema eléctrico del país es vulnerable en el corto plazo, debido a los ciclos hidrológicos y su variabilidad por el cambio climático, y en el mediano y largo plazo, debido a la disponibilidad de gas natural, por hallazgos en el país o por disponibilidad de importaciones. Ello determina la necesidad de generar una diversidad energética para el país, apostándole a energías renovables que permitan no solo diversificar la matriz energética del país, sino que también disminuyan la emisión de GEI y garanticen un suministro de energía confiable y sostenible.

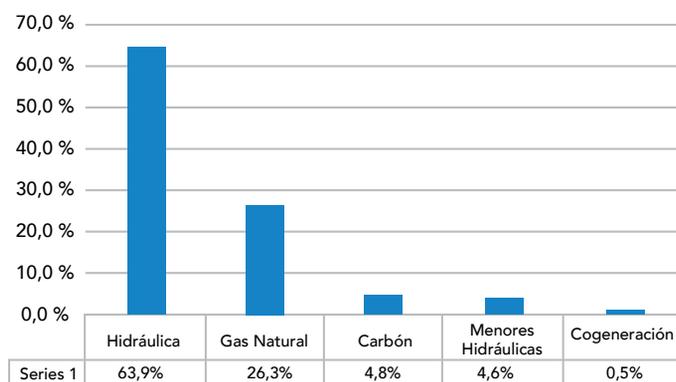


Figura 1. Participación por tecnología en la Matriz eléctrica. Fuente: UPME, 2015a.

## DIAGNÓSTICO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES NO CONVENCIONALES EN COLOMBIA

De acuerdo con el estudio de soporte para el Plan de Acción, las FNCE en el SIN participaban en 2008 con 192,4 MW, lo cual corresponde a 1,4 % del total instalado (13.400 MW). De ese total, 146 MW corresponden a pequeños aprovechamientos hidroeléctricos menores de 10 MW, 26,9 MW a generación con residuos de biomasa y 19,5 MW a generación eólica (Benavides, 2011).

A continuación, en la tabla 3 se presenta la composición de las FNCE en el SIN por tecnología.

Tabla 3. Fuentes no convencionales de energía.

TECNOLOGÍA	CAPACIDAD INSTALADA MW	PARTICIPACIÓN
Pequeñas Centrales Hidroeléctricas PCH	146,0	75,9 %
Biomasa	28,9	14,0 %
Eólica	19,5	10,1 %
<b>Total</b>	<b>192,4</b>	<b>100 %</b>

Fuente: Unidad de Planeación Minero-Energética UPME, 2010.

## ENERGÍA DE LA BIOMASA

Por su ubicación geográfica, Colombia posee ventajas comparativas en cuanto a la producción de biomasa. Según Motta, Sabogal y Aguirre (2012), el 44,77 % de la superficie continental colombiana está destinada a la actividad agropecuaria, lo cual genera espacios importantes para la producción de la materia prima para la generación de este tipo de energía. No obstante, dada su baja densidad energética y los altos costos de transporte del suministro a las plantas de procesamiento, esta opción no es económicamente viable en la actualidad. Por esta razón, según Corpoema y UPME (2010), es importante establecer tecnologías para aumentar la densidad energética y viabilizar parcialmente proyectos de sustitución de combustibles fósiles por biomasa.

Por otra parte, el potencial utilizable de biomasa en Colombia es de alrededor de 429,19 PJ/año (UPME y Corpoema, 2010). Estos se pueden dividir en:

- Residuos Agrícolas de los Cultivos (RAC) de palma africana, caña de azúcar, caña panelera, café, maíz y arroz con un total de 312 PJ/año.
- Biomasa Residual Pecuaria (BRP), la cual cuenta con un 76 % del área total destinada a actividades agropecuarias. Esta cifra se compone de un 40 % de actividades bovinas, un 40 % de actividades avícolas, un 10 % de actividades porcícolas y el restante 10 % corresponde a actividades caprinas, ovinas, piscícolas y equinas principalmente, lo cual se traduce en un potencial de 177 PJ/año.

- Residuos Sólidos Urbanos (RSU) de centros de abastos, plazas de mercado y poda, con un total de 0,19 PJ/año, y un gran total de 429,19 PJ/año.

Partiendo de lo anterior, y del amplio campo de generación de este tipo de energía, se debe señalar que este tiene diferentes frentes de aplicación en el campo energético, tales como generación de electricidad, producción de combustibles de transporte (biocombustibles) y generación de calor. Por ello, se posiciona como una de las fuentes más aptas para el reemplazo de los combustibles fósiles (Universidad Industrial de Santander, UIS, UPME e IDEAM, 2011).

Según Martín Almudena (2017), la producción de bagazo de caña (estimada en 1,5 millones de toneladas anuales), la cascarilla de arroz (457.000 toneladas anuales) y el fruto de palma de aceite, presentan grandes posibilidades en el desarrollo de biomasa en Colombia. Con base en lo anterior, las zonas más adecuadas para generar esta energía son el departamento de Santander, los Llanos Orientales y la Costa Atlántica.

## ENERGÍA EÓLICA

Según Soto (2016), el empleo de la energía eólica en los molinos de viento para el bombeo de agua se inició a principios del siglo XX y se afianzó en los años cincuenta con masivas importaciones de equipos, especialmente para la región de La Guajira. Al respecto, Gómez y Ribó (2018) afirman que la capacidad de generación eólica instalada neta es de 19,5 MW (2013) en una sola planta de energía, lo que equivale a 0,1 % de la capacidad total de generación neta del país. Por otra parte, cabe señalar que entre 2010 y 2014 la energía eólica produjo un promedio de 52,2 GWh por año.

Motta, Sabogal y Aguirre (2012) indican que, en Colombia, 16 lugares son aptos para el desarrollo e implantación de tecnologías a favor de este tipo de energía. Tres de estos lugares presentan vientos “persistentes y superiores a 5 m/s durante todo el año: Galerazamba en el departamento de Bolívar, Gachaneca en Boyacá y la isla de San Andrés en el mar Caribe colombiano” (p. 61); la UPME y Corpoe-ma (2010) destacan otros tres, debido a que las “velocidades son persistentes, pero en el rango entre los 4 y 5 m/s: La Legiosa en el Huila, la isla de Providencia en el mar Caribe y Riohacha en La Guajira”. Los restantes diez lugares, a pesar de que no presentan una continuidad en velocidad, determinan épocas especiales del año. Ellos son Villa Carmen en Boyacá, Abonuco en Nariño, Cúcuta y Ábrego en Norte de Santander, Urrao en Antioquia, Soledad en Atlántico, Santa Marta en Magdalena, Bucaramanga en Santander, Anchique en Tolima y Bogotá en Cundinamarca.

Por otra parte, cabe destacar el proyecto Jepírachi como innovador en el país, con una capacidad instalada de 19,5 MW y cuya generación de energía se considera limpia porque no produce efectos secundarios y ayuda a reducir los GEI sin involucrar combustión de ningún tipo (UPME, 2015).

Cabe señalar que el potencial de la energía eólica del país se podría convertir en una capacidad instalada de hasta 25 GW (Gómez y Ribó, 2018).

## ENERGÍA SOLAR

Según información descrita en el Atlas de Radiación Solar de Colombia, en general, el país cuenta con un buen potencial energético solar en todo el territorio, con un promedio diario multianual cercano a 4,5 kWh/m<sup>2</sup> (Bitar y Chamas, 2017). Se destacan la península de La Guajira, con un valor promedio de 6,0 kWh/m<sup>2</sup>, y la Orinoquia, con un valor un poco menor, propicio para un adecuado aprovechamiento (UPME e IDEAM, 2005). Sin embargo, estimaciones realizadas demostraron que la capacidad solar instalada en Colombia fue de alrededor de 9 MWp en 2010. Todo esto corresponde a la capacidad de los sistemas privados, aplicaciones empresariales y soluciones en zonas no interconectadas (en su mayoría formados por sistemas fotovoltaicos de capacidad baja de menos de 10 kWp) (Gómez y Ribó, 2018). Colombia cuenta con un recurso de brillo solar (horas de sol) de alrededor de 4, 8 y 12 horas al día, en promedio diario anual, valores altos en comparación con países como Alemania que cuenta con 3 horas de brillo solar (Cámara Colombiana de la energía, 2018).

Por otra parte, se afirma que las aplicaciones térmicas en Colombia datan de mediados del siglo pasado, cuando en Santa Marta fueron instalados calentadores solares (Rodríguez, 2009). La crisis del petróleo (años sesenta) incentivó nuevamente la energía solar. Con apoyo de universidades y fundaciones se instalaron calentadores en centros de servicios comunitarios como hospitales (Rodríguez, 2008).

Actualmente, la tecnología solar fotovoltaica no es competitiva en Colombia, pues los costos de su instalación son aún más altos en comparación con la mayoría de los países que tienen una industria solar desarrollada, como es el caso de los países europeos. “Los costos de instalación de energía solar fotovoltaica son similares a los de Estados Unidos de América” (UPME, 2015b, p. 145).

En el 2005 existían aproximadamente 145 sistemas fotovoltaicos, cuya capacidad instalada era de 208,06 KW; en el año 2014 se tenía alrededor de 11,6 GW; y en el 2015 se incrementó un 0,6 GW, para un total aproximado de 12 GW. Pero esta cifra ha aumentado de acuerdo con los proyectos hechos en la actualidad, y se espera que incremente con la ejecución y puesta en marcha de proyectos planteados para su construcción (Gómez, Ramírez y Cabeza, 2017).

## ENERGÍA GEOTÉRMICA

En Colombia, en este momento no hay ningún desarrollo geotérmico que aproveche la energía geotérmica, a pesar de que en el país se han realizado diversos estudios desde la década del setenta sobre su potencial (Montenegro y Ortiz, 2015). Este se evidencia en zonas adyacentes al volcán Chiles, Cerro

Negro, Cumbal, Azufral, Galeras, Doña Juana, Sotará, Puracé, Nevado del Huila, Nevado del Ruiz y Nevado del Tolima (Abril, 2017).

Acerca de la energía geotérmica, el desarrollo de proyectos de mediana escala (del orden de 50 MW) para su aprovechamiento, principalmente para generación eléctrica, corresponde al tipo de proyectos actualmente en etapa de gestión para licenciamientos por parte de grandes agentes generadores nacionales (UPME, 2015b).

De acuerdo con el potencial para la generación de electricidad a partir de recursos geotérmicos en Colombia, se estima aproximadamente entre 1 - 2 GW instalados. Estos GW solo se encuentran en unas áreas con potencial suficiente, que son el volcán Chiles, el Parque Nacional de Los Nevados y Paipa, área geotérmica en Boyacá (Gómez y Ribó, 2018).

De las zonas antes mencionadas se destaca el proyecto desarrollado en el Nevado del Ruiz, en el cual ya se ha avanzado en una perforación exploratoria profunda sin resultados exitosos. Por eso, se están diseñando nuevos proyectos para ejecutar perforaciones futuras con el fin de evaluar su potencial (Motta, Sabogal y Aguirre, 2012).

El principal reto para el desarrollo de este tipo de proyectos yace en el riesgo y los costos asociados a las etapas de exploración, y en la necesidad de establecer un marco regulatorio adecuado para la administración de este recurso, que hasta el momento no ha sido explotado en Colombia (Reyes y Castillo, 2017).

## VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS FUENTES DE ENERGÍA

Tabla 4. Ventajas y desventajas de las fuentes de energía.

ENERGÍA	USO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<b>Biomasa</b>	Calor	-Gran variedad del recurso: residuos de carpintería, cáscaras y frutos secos. -Su consumo favorece al mantenimiento de la economía local.	-Emisiones atmosféricas durante el transporte. -Necesita de espacio para su almacenamiento.
	Industria	-Alta eficiencia energética en la combustión.	-Requiere mantenimiento frecuente para realizar excelente combustión.
	Electricidad	-Reducción de emisiones de GEI.	-Un 1 G produce alza en los precios de los alimentos.
	Transporte	-Reducción de la dependencia energética. -Produce combustibles sólidos, líquidos y gaseosos.	

ENERGÍA	USO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<b>Eólica</b>	Electricidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>-No provoca emisiones atmosféricas.</li> <li>-Promueve el aprovechamiento de los recursos locales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Impacto paisajístico y riesgo de desequilibrar el hábitat de aves.</li> <li>- No es constante.</li> <li>-Solo se puede instalar en lugares donde el viento sea fuerte.</li> <li>-Ruido de los aerogeneradores.</li> </ul>
<b>Hidráulica</b>	Electricidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>-No provoca emisiones atmosféricas.</li> <li>-Promueve el aprovechamiento de los recursos locales.</li> <li>-Regula el caudal.</li> <li>-Fuente de abastecimiento.</li> <li>-Fácil acceso al recurso.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Cambios en los ecosistemas fluviales durante la construcción.</li> <li>-Posible rotura.</li> <li>-Cambio del cauce del río.</li> <li>-Uso de tierras fértiles.</li> <li>-Desvalorización del terreno.</li> <li>-Épocas de verano.</li> </ul>
<b>Solar</b>	Electricidad Calor	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Reduce impactos ambientales</li> <li>-Elevada eficiencia.</li> <li>-Cero emisiones contaminantes en la producción.</li> <li>-Cero emisiones de GEI.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Impacto paisajístico en el caso de "huertos solares".</li> <li>-Funcionamiento ligado a condiciones climáticas.</li> <li>-Ocupación del suelo.</li> </ul>
<b>Geotérmica</b>	Calor	<ul style="list-style-type: none"> <li>-No provoca emisiones atmosféricas.</li> <li>-No necesita de combustibles fósiles.</li> <li>-Precios bajos de producción.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Se delimita a ciertas zonas geográficas.</li> <li>-Detrimiento del paisaje.</li> <li>-Ciertas emisiones de GEI.</li> </ul>

## ANÁLISIS

Según la información obtenida dentro de la revisión bibliográfica, al ubicarse en la zona ecuatorial y contar con diversos climas y ecosistemas, Colombia goza de un gran potencial para el desarrollo de

energías limpias a partir de diversas fuentes. La UPME (2015b) destaca las capacidades de fuentes no convencionales de energía, ya sea intercableadas, interconectadas o instaladas al SIN a finales del 2014. Estas son: biomasa 206 MW, pequeñas hidroeléctricas 194 MW, eólica 19 MW, solar 2 MW. A su vez, resalta los potenciales en diferentes regiones del país, entre las que se encuentran la Costa Norte, Santander y Boyacá, que cuentan con un potencial eólico en MW de 20.000, 5.000 y 1.000, respectivamente.

En segundo lugar, es importante tener en cuenta que hay zonas del país que no están conectadas al SIN. Por ello, las posibles soluciones para su provisión de energía eléctrica se basan en pequeños aprovechamientos hidroeléctricos, sistemas solares fotovoltaicos y aprovechamiento energético de biomasa, lo que representa soluciones efectivas para suplir la demanda energética de zonas como los departamentos del Amazonas y Orinoquia.

Adicionalmente, es importante resaltar la capacidad que tiene el país para la implementación de las fuentes de energías renovables. En cuanto a energía solar, según la Unidad de Planeación Minero-Energética UPME (2016), el potencial del país es alto y tiene la enorme ventaja de que la radiación solar es uniforme durante el año. La zona del Magdalena, La Guajira y San Andrés y Providencia tienen entre 5 y 6 kWh/m<sup>2</sup>; los departamentos de Casanare, Arauca, Guainía, Guaviare, Amazonas, Putumayo y Vaupés tienen entre 4 y 5 kWh/m<sup>2</sup>; y, por último, la zona costera del Pacífico tiene radiaciones menores a 3 kWh/m<sup>2</sup>.

La Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) (2016) afirma que la zona norte cuenta con las mejores potencias de aprovechamiento del recurso eólico. La velocidad del viento está ligada a la rugosidad plana (playa, océano) de la superficie del terreno.

Por otro lado, la biomasa (leña, el bagazo, entre otros residuos de origen biomásico), como fuente primaria de energía, tuvieron una participación cercana al 12 % de la oferta nacional y cubrieron un 11 % de la demanda energética de Colombia en 2012, según lo indicado por la Unidad de Planeación Minero-Energética UPME.

El Estado colombiano expide leyes que le permiten mantener un control de las estrategias a desarrollar en el sector, con el fin de generar planes encaminados hacia la obtención de energías limpias, de tal manera que se pueda diversificar la matriz energética. Sin embargo, dentro de la normatividad vigente existen falencias que impiden el beneficio total para los diferentes tipos de energías. Debido a lo anterior, es necesario tener en cuenta que la presencia de estas barreras impide que las fuentes no convencionales de energía estén dentro de la canasta energética de Colombia. La UPME (2015b) resalta una lista de barreras típicas entre las que se destacan los incentivos erróneos, los altos costos y las dificultades de financiamiento, así como el prejuicio tecnológico.

Según Giraldo (2017), el Parque Eólico Jepírachi, ubicado en el departamento de La Guajira, es el único proyecto que se ha implementado como fuente de energía eólica en el país. Eso demuestra las

pocas posibilidades que existen para el desarrollo de este tipo de proyectos, teniendo en cuenta los altos costos de inversión, un marco jurídico que no es explícito, la falta de gasto público en dichos programas, entre otros. En este orden, se espera que, trabajando sobre estos factores, principalmente en el fortalecimiento de las leyes existentes, se promueva el desarrollo de nuevos proyectos a gran escala.

Adicionalmente, según lo expuesto por Giraldo (2017), existen obstáculos en cuanto a la regulación apropiada para la plena ejecución de los proyectos de energías alternativas, como la falta de claridad en las posiciones del Gobierno que apuntan solo a incentivos cortos y breves, en desventaja frente a las energías tradicionales. Dichos obstáculos deben ser objeto de manejo oportuno por parte de las autoridades gubernamentales competentes, por cuanto de ellas depende realizar los ajustes para generar condiciones de equidad. Con dichos ajustes, las fuentes de energía limpia alcanzarían los niveles de implementación o cobertura esperada en el país y se evitaría la resistencia al cambio. Es importante contar con una base de información sobre las experiencias de proyectos de solución energética, en la que se resalten los costos reales de inversión y operación, el éxito o fracaso, los problemas enfrentados y sus soluciones.

Finalmente, teniendo en cuenta lo abordado con anterioridad y analizando profundamente lo planteado, se debe señalar que las energías renovables no son una ilusión, sino que son una realidad para Colombia. Se debe recalcar que el país cuenta con una gran diversidad de fuentes renovables y por eso se hace necesaria la coordinación de estrategias de los principales sectores de la economía para ampliar programas y proyectos encaminados a hacer efectiva la implementación de este tipo de energías.

Hay que recordar que es la energía eólica la más madura a nivel de mercado y se encuentran en Colombia las condiciones ideales para su producción, según lo establecido por la UPME. Sin embargo, para el desarrollo de proyectos relacionados con este tipo de energía se deben crear incentivos (reconocidos por la ley 1715 de 2014) para que los proyectos sean viables, ya que estos generan un impacto significativo en los objetivos establecidos por los productores frente a la posible rentabilidad.

## CONCLUSIONES

Colombia cuenta con un gran potencial energético debido a su ubicación y su riqueza en recursos energéticos. Esto sitúa al país en un escenario privilegiado frente a otros países de la región en cuanto existe la posibilidad de aumentar y diversificar la matriz energética. Pese a ello, es necesario implementar estrategias que permitan el desarrollo de proyectos para la producción de energías renovables con los requerimientos de sostenibilidad ambiental, social y económica para el desarrollo energético del país. Adicionalmente, es necesario acabar con las barreras que impiden el desarrollo de proyectos que tengan como fin la generación de energía limpia.

Colombia tiene una matriz de energía eléctrica con una cuota de energías renovables gracias a la energía hidroeléctrica. Sin embargo, es necesario promover otros tipos de energías en el país con el fin de lograr una producción de electricidad 100 % renovable. Se evidencia que, de las energías no convencionales del país, la más desarrollada es la energía eólica, la cual cuenta con un potencial de 52,2 GWh por año; la energía por biomasa cuenta con una amplia zona de cultivo de materia prima; por otra parte, el país cuenta con un buen potencial energético solar en todo el territorio, con un promedio diario multianual cercano a 4,5 kWh/m<sup>2</sup>; la generación de electricidad a partir de recursos geotérmicos en Colombia se estima en aproximadamente entre 1 - 2 GW instalado. Sin embargo, la mayoría de los incentivos de la Ley 1715 no son suficientes para impulsar las tecnologías estudiadas hasta ser lo suficientemente atractivas para el mercado privado.

Por otro lado, se debe señalar que Colombia enfrenta retos en cuanto a la implementación de energías renovables, debido a que no cuenta con una base de información sobre proyectos desarrollados. Eso ayudaría a guiar nuevos proyectos de generación de energía limpia. Además, también se deben consolidar de manera clara las políticas que incentiven a pequeños o grandes productores a generar electricidad limpia que posteriormente pueda acceder al mercado.

Por ejemplo, en cuanto a hidroelectricidad, el país debe avanzar en el aprovechamiento sostenible de sus recursos hídricos, lo que requiere el desarrollo de proyectos que atiendan a su crecimiento demográfico y las necesidades del mercado. En el caso de las energías alternativas renovables no convencionales, como la eólica, es preciso trabajar en un marco regulatorio que la remunere de acuerdo con sus reales aportes al abastecimiento energético nacional. Esta remuneración también se debe dar en mecanismos de apoyo para financiar, en el fortalecimiento social e interinstitucional en los territorios de influencia, y en el desarrollo de infraestructura eléctrica y de transporte que permita su salida e interconexión.

Finalmente, el potencial energético de la biomasa en Colombia, además de representar una alternativa en la diversificación de la matriz energética, también hace posible la generación de biocombustibles de primera generación a partir de cultivos como la caña de azúcar en el Valle del Cauca. Eso puede acarrear consecuencias positivas para el parque automotor del país, ya que de esta manera se disminuye la dependencia de los combustibles fósiles y, por tanto, de la minería y la extracción petrolera.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abril, M. (2017). Estudio sobre la Generación de Energía Geotérmica para su Aprovechamiento en el Sector de la Construcción y las Cimentaciones [tesis de pregrado]. Universidad Santo Tomás. <https://bit.ly/2F7pmYf>

- Almudena, M. (2017). La biomasa en Colombia, el gran reto para generar energía sustentable. <https://twenergy.com/energia/biomasa/biomasa-en-colombia/>
- Benavides, J. (2011). Retos y oportunidades de las energías renovables en Colombia. Observatorio de Energía Renovable para América Latina y el Caribe. <https://bit.ly/2MLdWiT>
- Bitar, S. y Chamas, F. (2017). Estudio de Factibilidad para la Implementación de Sistemas Fotovoltaicos como Fuente de Energía en el Sector Industrial de Colombia [tesis de maestría]. Colegio de Estudios Superiores de Administración. <https://bit.ly/2XfpCOX>
- Cámara Colombiana de la Energía. (2018). Sexto encuentro nacional de técnicos electricistas. <https://bit.ly/2IMgEzG>
- Congreso de la República. (2001). Ley 697 del 3 de octubre de 2001. [http://www2.igac.gov.co/igac\\_web/normograma\\_files/LEY6972001.pdf](http://www2.igac.gov.co/igac_web/normograma_files/LEY6972001.pdf)
- Congreso de la República. (2014). Ley 1715 del 13 de mayo de 2014. [http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley\\_1715\\_2014.html](http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1715_2014.html)
- Corpoema y UPME. (2010). Formulación de un plan de desarrollo para las fuentes no convencionales de energía en Colombia (PDFNCE). 2. [http://www.upme.gov.co/sigic/documentosf/vol\\_2\\_diagnostico\\_fnce.pdf](http://www.upme.gov.co/sigic/documentosf/vol_2_diagnostico_fnce.pdf)
- Flórez, J., Tobón, D. y Castillo, G. (2009). ¿Ha sido efectiva la promoción de soluciones energéticas en las zonas no interconectadas (ZNI) en Colombia?: un análisis de la estructura institucional. Cuadernos de Administración. 22(38), 219-245. <http://www.scielo.org.co/pdf/cadm/v22n38/v22n38a11.pdf>
- Giraldo, D. (2017). El marco normativo de las energías alternativas en Colombia no garantiza su pleno desarrollo [trabajo de grado de especialización]. Universidad Militar Nueva Granada. <https://bit.ly/31hadSs>
- Gómez, T. y Ribó, D. (2018). Assessing the obstacles to the participation of renewable energy sources in the electricity market of Colombia. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 90, 131-141. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032118301187>
- Gómez, J. Ramírez, J. y Cabeza. (2017). La Energía Solar Fotovoltaica en Colombia: Potencial, Antecedentes y Perspectivas [trabajo de grado de pregrado]. Universidad Santo Tomás. <https://bit.ly/2L07wv6>

- IDEAM. (2017). Inventario Nacional de gases efecto invernadero en Colombia. Tercera comunicación del cambio climático.
- Montenegro, A. y Ortiz, X. (2015). La Geotermia, Fuente de Energía Alternativa para el Departamento de Nariño: Potencialidad, Usos y Beneficios. En Las energías sustentables y sostenibles en el departamento de Nariño. [pp. 20-37]. <https://bit.ly/2KTCluX>
- Monterrosa, H. (2018). Proyectos de energía solar fotovoltaica, los que más se están registrando en el país. La República. <https://www.larepublica.co/infraestructura/proyectos-de-energia-solar-fotovoltaica-son-los-que-mas-se-estan-registrando-en-el-pais-2744233>
- Motta, D., Sabogal, J. y Aguirre, J. (2012). Una Revisión a la Reglamentación e Incentivos de las Energías Renovables en Colombia. Revista Facultad de Ciencias Económicas. XX(2), 55-67. <http://www.scielo.org.co/pdf/rfce/v20n2/v20n2a04.pdf>
- Paredes, J. (2017). Energías renovables variables y su contribución a la seguridad energética: complementariedad en Colombia. Banco Interamericano de Desarrollo. <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Energ%C3%ADas-renovables-variables-y-su-contribuci%C3%B3n-a-la-seguridad-energ%C3%A9tica-Complementariedad-en-Colombia.pdf>
- Pinzón, L. (2016). Alternativa en el Aprovechamiento de Energía Solar ante Crisis Energética en Colombia [Tesis de especialización]. Universidad Militar Nueva Granada. <http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/15275/3/PinzonArevaloLadyViviana2016.pdf>
- Piña, A. (2012). Carbón mineral como combustible para la generación de energía [conferencia]. Ofrecida en las Jornadas Técnicas de la Facultad de Ingeniería: La energía como factor de desarrollo. Universidad Central de Venezuela. [https://www.researchgate.net/publication/275522172\\_Carbon\\_mineral\\_como\\_combustible\\_para\\_generacion\\_de\\_energia](https://www.researchgate.net/publication/275522172_Carbon_mineral_como_combustible_para_generacion_de_energia)
- Reyes, M y Castillo, A. (2017) Análisis de Factibilidad para la Implementación de Fuentes Alternas de Generación de Energía Eléctrica en el Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina [Tesis de pregrado]. Universidad Católica de Colombia. <https://bit.ly/2Fe0kGL>
- Robador, J. (2017). Las energías renovables en Argentina, sus ventajas y desventajas. Colegio Nacional Agrotécnico. [https://www.ib.edu.ar/images/beca\\_ib\\_alum\\_niv\\_medio/trabajos/2017/RobadorJoaquin.pdf](https://www.ib.edu.ar/images/beca_ib_alum_niv_medio/trabajos/2017/RobadorJoaquin.pdf)
- Robles, J. (2018). Ficha sector energías renovables en Colombia. ICEX España Exportación e Inversiones. <https://bit.ly/37XKKk0>

- Rodríguez, H. (2009). Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas. Revista de Ingeniería. Universidad de los Andes. <https://bit.ly/1H76N33>
- Rodríguez, J. (2008) Potencial de generación de energía a lo largo de la costa colombiana mediante el uso de corrientes inducidas por mareas. <http://www.scielo.org.co/pdf/ring/n28/n28a14.pdf>
- Ruiz, B. (2005). Renewable energy sources in the Colombian energy policy analysis and perspectives. [https://www.academia.edu/27477621/Renewable\\_energy\\_sources\\_in\\_the\\_Colombian\\_energy\\_policy\\_analysis\\_and\\_perspectives](https://www.academia.edu/27477621/Renewable_energy_sources_in_the_Colombian_energy_policy_analysis_and_perspectives)
- Soto, J. (2016) Desarrollo de la Energía Eólica en Colombia [trabajo de grado de especialización]. Universidad de América. <https://bit.ly/2I1YMWi>
- Unidad de Planeación Minero-Energética [UPME] y Consorcio Energético Corpoema. (2010). Formulación de un Plan de Desarrollo para las Fuentes no Convencionales de Energía en Colombia (PDFNCE). <https://bit.ly/2ImMctx>
- Unidad de Planeación Minero-Energética [UPME], Pontificia Universidad Javeriana, Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación [COLCIENCIAS] e Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM]. (2015). Atlas potencial hidroenergético Colombia. [http://www1.upme.gov.co/Energia\\_electrica/Atlas/Atlas\\_p1-24.pdf](http://www1.upme.gov.co/Energia_electrica/Atlas/Atlas_p1-24.pdf)
- Unidad de Planeación Minero-Energética, [UPME] e Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudio Ambientales, [IDEAM]. (2005). Manual de radiación solar de Colombia. <https://bit.ly/2WKD7ac>
- Unidad de Planeación Minero-Energética, [UPME]. (2010). Formulación de un plan de desarrollo para las fuentes no convencionales de energía en Colombia (PDFNCE), volumen 1 plan de desarrollo para las fuentes no convencionales de energía en Colombia (PDFNCE). [http://www.upme.gov.co/Sigic/DocumentosF/Vol\\_1\\_Plan\\_Desarrollo.pdf](http://www.upme.gov.co/Sigic/DocumentosF/Vol_1_Plan_Desarrollo.pdf)
- Unidad de Planeación Minero-Energética, [UPME]. (2015a). Plan energético nacional Colombia: Ideario energético 2050. [http://www.upme.gov.co/docs/pen/pen\\_idearioenergetico2050.pdf](http://www.upme.gov.co/docs/pen/pen_idearioenergetico2050.pdf)
- Unidad de Planeación Minero-Energética, UPME. (2015b). Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia. Bogotá, República de Colombia. [http://www.upme.gov.co/Estudios/2015/Integracion\\_Energias\\_Renovables/INTEGRACION\\_ENERGIAS\\_RENOVABLES\\_WEB.pdf](http://www.upme.gov.co/Estudios/2015/Integracion_Energias_Renovables/INTEGRACION_ENERGIAS_RENOVABLES_WEB.pdf)

Unidad de Planeación Minero-Energética, UPME. (2017a). Proyección de la Demanda de Energía Eléctrica y Potencia Máxima En Colombia. [http://www.siel.gov.co/siel/documentos/documentacion/Demanda/UPME\\_Proyeccion\\_Demanda\\_Energia\\_Febrero\\_2017.pdf](http://www.siel.gov.co/siel/documentos/documentacion/Demanda/UPME_Proyeccion_Demanda_Energia_Febrero_2017.pdf).

Unidad de Planeación Minero-Energética, UPME. (2017b). Plan de expansión de referencia generación – transmisión 2017-2031. [http://www1.upme.gov.co/Energia\\_electrica/Plan\\_GT\\_2017\\_2031\\_PREL.pdf](http://www1.upme.gov.co/Energia_electrica/Plan_GT_2017_2031_PREL.pdf)

Universidad Industrial de Santander, [UIS], Unidad de Planeación Minero-Energética, [UPME], e Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, [IDEAM]. (2011). Atlas del potencial energético de la biomasa residual en Colombia. <https://Bdigital.Upme.Gov.Co/Handle/001/1058>

Valencia, J. (2007). Generación distribuida: democratización de la energía eléctrica. Criterio Libre, (8), 105-112. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4547088.pdf>