

Energías Renovables Como Estrategia Para La Diversificación De La Matriz Energética De
Colombia

Presentada por
Oscar López Hurtado

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA (UNAD)
CEAD BARRANCABERMEJA.
BARRANCABERMEJA, COLOMBIA, 2020

Energías Renovables Como Estrategia Para La Diversificación De La Matriz Energética De
Colombia

Presentada por
Oscar López Hurtado

Director

Lizette Cely

Docente de Apoyo programa Administración de Empresas UNAD

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA (UNAD)

CEAD BARRANCABERMEJA.

BARRANCABERMEJA, COLOMBIA, 2020

Nota de aceptación

Lizette Cely

Profesora

Presidente del jurado

Jurado

Jurado

DEDICATORIA

A Dios y mi familia

AGRADECIMIENTOS

A Dios que nos dio la vida y la sabiduría para salir adelante con este proyecto y culminarlo de manera exitosa. A mis padres, por el apoyo incondicional que me dieron a lo largo de la maestría. A mi familia por su apoyo y comprensión. A la Profesora Lizette Cely por su asesoría y dirección en la monografía. Y a todas aquellas personas que, de una u otra forma, colaboraron en la realización de esta investigación, hago extensivo mi más sincero agradecimiento.

RESUMEN

El calentamiento global es una de las problemáticas actuales del planeta, lo que ha generado un análisis sobre la utilización de las energías y una reflexión en torno a cuáles podrían tener menor impacto ambiental, teniendo en cuenta que el acceso a los recursos energéticos ha afectado considerablemente al medio ambiente. Por lo anterior y con el fin de revertir el impacto ambiental causado por los combustibles fósiles, se ha venido empleando fuentes de energías renovables, las cuales son abundantes, limpias y con altos potenciales a nivel global y en Colombia. Esta monografía tiene como objetivo estudiar el potencial e impacto ambiental de las energías renovables y su contribución en la diversificación energética de Colombia, esto se logró a través de la descripción del estado actual de la composición de la matriz energética de Colombia, de la identificación de las experiencias de implementación de energías renovables en el País, así como determinar el potencial de implementación de las energías renovables en Colombia para la generación de energía que permita diversificar su matriz energética y por último se analizaron los posibles impactos ambientales de las energías renovables de ser implementadas en la matriz energética del país.

Palabras claves. Energía, Energía eólica, Energía Biomasa, Energía Solar, Energía geotérmica.

ABSTRACT

Global warming is one of the current problems on the planet, which has generated an analysis on the use of energy and a reflection on which could have less environmental impact, taking into account that access to energy resources has affected considerably to the environment. Therefore, and in order to reverse the environmental impact caused by fossil fuels, renewable energy sources have been used, which are abundant, clean and with high potential globally and in Colombia. The objective of this monograph is to study the potential and environmental impact of renewable energies and their contribution to the energy diversification of Colombia, this was achieved through the description of the current state of the composition of the energy matrix of Colombia, the identification of the experiences of implementing renewable energies in the country, as well as determining the potential for the implementation of renewable energies in Colombia for the generation of energy that allows diversifying its energy matrix, and finally, the possible environmental impacts of renewable energies if implemented in the country's energy matrix.

Keywords. Energy, wind energy, biomass energy, solar energy, geothermal energy

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|---|----|
| Introducción..... | 13 |
| 1. Planteamiento del problema..... | 15 |
| 1.1 Formulación del problema..... | 16 |
| 2. Objetivos | 17 |
| 2.1 Objetivo General | 17 |
| 2.2 Objetivos Específicos..... | 17 |
| 3 Justificación | 18 |
| 4 Marco teórico..... | 20 |
| 4.1 Reseña histórica..... | 20 |
| 4.1.1 Fuentes convencionales | 21 |
| 4.1.2 Energías renovables | 22 |
| 4.1.3 Estado actual de la composición de la matriz energética de Colombia | 22 |
| 4.2 Bases Legales | 25 |
| 4.3 Bases teóricas | 28 |
| 4.3.1 Clasificación de las fuentes de energía según su origen | 28 |
| 4.3.2 Energías renovables | 28 |
| 4.3.3 Energías no renovables | 28 |
| 4.4 Energías renovables | 29 |
| 4.4.1 Energía Mareomotriz..... | 29 |
| 4.4.2 Ventajas..... | 30 |
| 4.4.3 Desventajas | 31 |
| 4.4.4 Potencial de implementación en Colombia | 31 |
| 4.4.5 Impacto ambiental..... | 32 |
| 4.5 Energía Geotérmica..... | 32 |
| 4.5.1 Ventajas..... | 34 |
| 4.5.2 Desventajas..... | 34 |
| 4.5.3 Potencial de implementación en Colombia | 34 |
| 4.5.4 Impacto ambiental..... | 35 |
| 4.6 Energía Eólica..... | 37 |
| 4.6.1 Ventajas..... | 37 |
| 4.6.2 Desventajas..... | 38 |

| | | |
|-------|---|----|
| 4.6.3 | Potencial de implementación en Colombia..... | 38 |
| 4.6.4 | Impacto ambiental..... | 40 |
| 4.7 | Energía Solar | 40 |
| 4.7.1 | Ventajas..... | 41 |
| 4.7.2 | Desventajas..... | 42 |
| 4.7.3 | Potencial de implementación en Colombia | 42 |
| 4.7.4 | Impacto ambiental..... | 43 |
| 4.8 | Energía Biomasa..... | 44 |
| 4.8.4 | Potencial de implementación en Colombia | 46 |
| 4.8.5 | Impacto ambiental..... | 47 |
| 5. | Experiencias de implementación de energías renovables en Colombia..... | 48 |
| 5.1 | Experiencias de implementación de energía Mareomotriz en Colombia | 48 |
| 5.2 | Experiencias de implementación de energía Geotérmica en Colombia..... | 48 |
| 5.3 | Experiencias de implementación de energía Eólica en Colombia | 49 |
| 5.4 | Experiencias de implementación de energía Solar en Colombia..... | 50 |
| 5.5 | Experiencias de implementación de Biomasa en Colombia..... | 53 |
| 7. | Recomendaciones | 58 |
| 8. | Bibliografía | 60 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Marco normativo nacional sobre energías renovables | 27 |
| Figura 2. Tipos de Biomasa..... | 44 |
| Figura 3. Implementación de energías alternativas en el sector privado a nivel nacional.... | 51 |
| Figura 4. Listado general de las instituciones que implementan energías alternativas en el sector público a nivel nacional..... | 52 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|--------------------------------|----|
| Tabla 1. Resumen energías..... | 54 |
|--------------------------------|----|

Introducción

La transformación de energía de tipo térmica, mecánica, solar, eólica entre otras es de forma general la generación de electricidad, la industria eléctrica en sus inicios proveía de energía a través de generadores pequeños a través de corriente continua, sin embargo, en la medida en que la población creció, se convirtió en un proceso difícil por el transporte, requiriendo la instalación de grupos de generadores dentro de las ciudades. La demanda de energía eléctrica dentro de una ciudad o país es variable, dependiendo de factores como el clima, el uso de electrodomésticos, e industrias. El consumo de energía influye en la generación de la misma, lo que implica que se deba contar con diferentes fuentes de generación de energía o reservas para el cumplimiento de las necesidades de las comunidades.

El calentamiento global es una de las problemáticas por las que atraviesa el planeta, esto como consecuencia de la mala utilización de los recursos energéticos, lo que ha afectado considerablemente al medio ambiente, el acceso a electricidad es una problemática mundial, acceder a un suministro constante y confiable es una necesidad esencial hoy día. Por lo anterior y con el fin de revertir el impacto ambiental causado por los combustibles fósiles, se ha venido empleando fuentes de energías renovables, las cuales son abundantes, limpias y con altos potenciales a nivel global y en Colombia.

Colombia en los últimos 23 años ha presentado una crisis energética teniendo en cuenta que la electricidad proviene de plantas hidroeléctricas y combustibles fósiles como petróleo, gas, carbón y que estas se han venido agotando rápidamente, se desarrolla esta monografía, la cual tiene como objetivo estudiar el potencial e impacto ambiental de las energías renovables y su contribución en la diversificación energética de Colombia, esto teniendo en cuenta las características geográficas de Colombia y el potencial de convertirse en un referente en América Latina en la utilización y desarrollo de energías renovables. Dicho potencial puede ser amplio ya que las energías renovables son cada día más necesarias a nivel nacional e internacional, esta monografía pretende generar interés en la implementación y uso de este tipo de energías, las cuales podrían aportar a la solución de algunas de las problemáticas del país en abastecimiento energético y medio ambiente.

Para la consecución del objetivo de esta monografía se estructuró el documento de la siguiente manera:

Se inicia planteando la problemática que da origen a este trabajo, así como los argumentos que la soportan, seguido de una revisión de las fuentes de energía, la legislación nacional e internacional en torno a las energías renovables. Una vez abordados los conceptos generales se desglosa cada una de las energías renovables su definición teórica, ventajas, desventajas, impactos ambientales y potencial de implementación en Colombia.

Por último, se hace una recopilación de las experiencias más destacadas en Colombia de implementación de energías renovables, analizando cómo ha sido su desarrollo, fortalezas y debilidades reportadas. Se concluye con un análisis de las energías renovables y la selección de una que según esta monografía es la de mayor potencial de explotación en Colombia.

1. Planteamiento del problema

A nivel mundial es creciente la demanda de recursos energéticos, así como la generación de preocupaciones por parte de los ambientalistas en cuanto al impacto ambiental del uso de estos recursos, esto ha llevado a la implementación y uso de energías renovables en la matriz energética de los países. Es así como estas energías renovables se convierten en una opción para enfrentar las necesidades de las grandes economías, así como las emergentes. Colombia siendo en América Latina un país emergente, está rezagado en cuanto a la implementación de energías renovables, las cuales solo se encuentran al 2,71% de la capacidad instalada según lo reporta (XMS.A ESP, 2015).

Actualmente la inversión mundial en plantas de energía renovables cubre 1/3 del mercado, esto debido a la gran inversión en este sector de los países asiáticos, en especial China. En Europa un 80 % de la nueva capacidad eléctrica es generada por aerogeneradores. Mientras en Sudamérica se invierte en hidroeléctricas y centrales solares. Esto ha originado un apoyo constante a la generación de electricidad mediante energías renovables no convencionales con el objetivo de abaratar costes y así poder abastecer la mayor cantidad de la demanda con energías de bajo impacto al medio ambiente(Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería Osinergmin., 2017).

Por otra parte, la economía y desarrollo de una nación se miden en referencia a la producción y consumo de energía, en especial energía eléctrica, Colombia es un país con abundantes recursos naturales, aumentando así en la última década su producción de energía eléctrica. La fuente principal de energía son las hidroeléctricas, sin embargo, Colombia podría mejorar su matriz energética mediante la implementación de energías renovables no usadas en su matriz energética, así como diferentes tecnologías, aprovechando así energías limpias y satisfaciendo la demanda eléctrica con recursos renovables.

Teniendo en cuenta lo anterior se abre la oportunidad de realizar estudios que analicen el potencial de implementación de las energías renovables en el país, ya que el sistema energético de Colombia es vulnerable a los cambios climáticos, debido a la dependencia de recursos hidroeléctricos, lo que resulta en periodos de escases y costos elevados de la energía.

El suministro adecuado y confiable de energía permite un desarrollo sostenible, erradicando la pobreza, mejorando el bienestar e incrementado la calidad de vida de la población, sin embargo, en diferentes regiones del país no se cuenta con un suministro confiable lo que se ve reflejado en una dicotomía entre crecimiento y sostenibilidad, como lo ha demostrado el (Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andrés. INVEMAR, 2003) quien refiere que los modelos actuales de producción y consumo de energía a mediano y largo plazo son insostenibles.

1.1 Formulación del problema

¿Cuáles son las energías renovables con potencial de implementación en Colombia y su impacto ambiental dentro de la diversificación energética del país?

2. Objetivos

2.1 Objetivo General

Analizar el potencial e impacto ambiental de las energías renovables y su contribución en la diversificación energética de Colombia.

2.2 Objetivos Específicos

1. Revisar y describir el estado actual de la composición de la matriz energética de Colombia.
2. Identificar experiencias de implementación de energías renovables en Colombia.
3. Determinar el potencial de implementación de las energías renovables en Colombia para la generación de energía que permita diversificar su matriz energética.
4. Analizar los posibles impactos ambientales de las energías renovables de ser implementadas en la matriz energética del país.

3 Justificación

EL cambio climático es una gran problemática que todos los países enfrentan actualmente, Colombia no es ajeno a esta problemática, estos cambios afectan al 40% del territorio y el 50% del suministro de agua. El desarrollo económico y social del país es directamente proporcional a la demanda energética, sin embargo, son necesarias estrategias más robustas para cumplir con el plan energético nacional donde el objetivo principal es el de “maximizar la continuación del sector energético al desarrollo sostenible del país, planteando como eje central para el crecimiento de la economía y del bienestar social, basado en un sector energético seguro, confiable y eficiente para hacer de Colombia un país competitivo con desarrollo sostenible del País, planteando como eje central para el crecimiento de la economía y del bienestar social, basado en un sector energético seguro, confiable y eficiente para hacer de Colombia un país competitivo con desarrollo sostenible”(Ministerio de Minas y Energía, 2015)

Incrementar la producción energética a partir de fuentes de energías renovables es una necesidad en todos los países, ya que estas facilitan la disminución de gases de efecto invernadero, disminuyen la dependencia energética, generan empleo y desarrollo tecnológico. Razón por la cual surge la inquietud de realizar esta monografía, la cual da apoyo en la profundización de estas temáticas de investigación especialmente en la línea de Desarrollo económico sostenible y sustentable, mecanismos de desarrollo económico y social de la especialización en gestión de proyectos de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD). Lo anterior es motivado por el abordaje de las energías renovables como una estrategia sostenible para las futuras generaciones.

Este trabajo promueve la implementación de energías renovables en el país, teniendo en cuenta la deficiencia de la conexión al sistema interconectado nacional, así mismo esta investigación se sustenta en la ley 1715 de 2014 la cual regula la integración de energías renovables no convencionales al sistema energético nacional y donde se propone en el artículo 4 la “utilización de este tipo de energías planteando que hacerlo es una forma de asegurar la diversificación del abastecimiento energético pleno y oportuno, así como la protección del ambiente, el uso eficiente de la energía y la preservación y conservación de los recursos naturales renovables”(Congreso de la República, 2014)

El desarrollo de esta monografía puede ser utilizado como base para la toma de decisiones sobre la selección energías renovables como solución a las problemáticas del país, ya que cuenta con información suficiente sobre cada una de ellas, de esa forma las características biológicas y geográficas del país pueden ser aprovechadas incrementando y diversificando la matriz energética del mismo, permitiendo un abastecimiento en las zonas no interconectadas.

4 Marco teórico

4.1 Reseña histórica

La historia del hombre es la historia de la búsqueda permanente de fuentes de energía y de sus formas de aprovechamiento, con el propósito humano de servirse del ambiente. En su devenir la humanidad ha ido generando distintos modelos energéticos (pre agrícola, agrícola, agrícola avanzado, preindustrial, industrial e industrial avanzado) que tienen un denominador común, ya que están condicionados por sus fuentes de energía y su aprovechamiento. Además, siempre que se pasó de un modelo a otro se ha registrado un incremento del consumo de energía per cápita, así como de su consumo global (Cunningham, 2013).

La navegación a vela empleaba energía eólica y es uno de los mayores ejemplos de las aplicaciones de esta energía en la historia, sin embargo, años más adelante aparecen los molinos de viento y agua con lo que se afianza la idea de su uso y se sientan las primeras bases para la energía hídrica, adicional a esto se inicia el uso de la energía solar a partir del rediseño de las edificaciones. Todos estos procesos se vieron dejados a un lado por la revolución industrial, la cual introduce el uso de combustibles fósiles como una fuente inagotable de recursos

En el siglo XIX aparece en Colombia la energía eléctrica con la utilización de lámparas en las calles de la capital del país, este suceso se da como resultado de la inversión privada. A partir de allí, estos empresarios iniciaron la comercialización de dicha energía y se logró pasar del uso público y comercial al uso residencial. Es así como el 1946 se crea el Instituto de Aprovechamiento de Aguas y Fomento Eléctrico (Electraguas) que en 1968 se convirtió en el Instituto Colombiano de Energía Eléctrica (ICEL) (Comisión de Regulación de Energías y Gas-GREG, 2020). Todo esto generó la necesidad de la interconexión eléctrica en las regiones.

Con este panorama, a partir de la Constitución de 1991 se admitió, como principio clave para el logro de la eficiencia en los servicios públicos, la competencia para hacer posible la libre entrada de cualquier agente interesado en prestar los servicios, es así como en diciembre de 1992 el Gobierno Nacional reestructuró el Ministerio de Minas y Energía, disolvió la Comisión Nacional de Energía y creó tres unidades administrativas especiales: la Comisión de Regulación de Energía

(CRE) convertida en 1994 en la actual Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), la Unidad de Información Minero Energética (UIME) y la Comisión de Planeación Minero Energética (UPME). Con base en la política de la nueva Constitución, según la cual el Estado debe cumplir una función más de regulador, controlador y vigilante que de administrador, se ha vendido buena parte de los activos que se tenían en el sector(Comisión de Regulación de Energías y Gas-GREG, 2020)

4.1.1 Fuentes convencionales

En gran parte de la historia de la humanidad se han utilizado fuentes renovables como origen de energía, sin embargo, la revolución industrial marca una parada en la historia ya que es aquí donde se inicia la utilización de combustibles fósiles, desde el cual este consumo se ha venido incrementado impactando en las reservas de dichos combustibles en el mundo casi hasta su extinción.

En la era prehistórica la energía provenía de la fuerza del cuerpo que era utilizada para las actividades diarias y suplir las diferentes necesidades, como alimentarse, sin embargo, el fuego como uno de los mayores descubrimientos le permite al hombre acceder a diferentes beneficios que antes no tenía, como cocinar, calentar los lugares donde habitaban. Hace 8.000 años es donde el hombre inicia la explotación de la tierra como un recurso fundamental en su supervivencia desde la ganadería y agricultura, con la ayuda de animales y de su propia fuerza, lo cual para el momento permitía satisfacer las necesidades de la población, sin embargo, esto duró poco ya que la expansión de la población y la aparición de la esclavitud demandan un crecimiento energético en otra escala, es allí donde la fuerza muscular y los animales no son suficientes, con lo cual inicia hace 2.000 años atrás la utilización de fuentes de energía que provienen de la naturaleza, como el agua y el viento, apareciendo los molinos de agua, los que a su vez fueron utilizados para procesar los granos recolectados.

En Estados Unidos se inicia la explotación del petróleo en el año 1859, lo que genera una ola de innovación en aparatos que utilizan esta fuente de energía como recurso principal para su fabricación, un ejemplo de esto fue el generador eléctrico quien a su vez propicio la aparición de los sistemas de distribución de energía de uso común. La producción de carbón desciende después

de la primera guerra mundial y en el siglo XX la energía incrementa su uso, es cuando el petróleo se cotiza más allá del carbón y continúa en la actualidad (Salazar et al., 2015).

En el año 1942 Estados Unidos construye su primer reactor nuclear, sin embargo, esta no alcanza las expectativas esperadas ocupando un pequeño porcentaje de la producción mundial, es entonces donde se da la crisis energética debido al consumo elevado de petróleo, posterior a esto se proyecta un incremento en las necesidades energéticas debido al aumento de la población mundial, lo que motiva a la creación de políticas de ahorro energético y la búsqueda continua de fuentes alternas a las ya utilizadas, es así como cada país emprende la búsqueda según sus recursos naturales de fuentes de energía que ayuden en la diversificación de la matriz, y disminuir así el impacto ambiental (Salazar et al., 2015).

4.1.2 Energías renovables

Desde tiempos remotos la energía renovable ha sido una parte importante del desarrollo humano desde tiempos antiguos, principalmente la energía solar, eólica e hidráulica. El aprovechamiento de estas energías se puede ejemplificar en el uso y aplicación en construcciones que aprovechaban el sol. Sin embargo estas prácticas se van abandonando debido a la aparición de la máquina de vapor de James Watt, ya que se consideraban inestables, empleándose de forma más frecuente los motores térmicos y eléctricos, sin prever el agotamiento de las fuentes y demás problemáticas que se presentarían una época en que el todavía relativamente escaso consumo, no hacía prever un agotamiento de las fuentes, ni otros problemas (Garrido, 2012).

En los años ochenta una nueva concienciación ecológica dio lugar a que se empezara a hablar cada vez con más fuerza de lo que entonces se llamaban ‘energías alternativas’. Fuentes energéticas como el sol, el viento o el agua cobraron espacio frente a combustibles fósiles como el carbón, el petróleo o el gas; una denominación que se hizo mucho más popular en los noventa, con el despliegue de paneles solares y aerogeneradores a lo largo de la geografía (OedCreativo, 2019).

4.1.3 Estado actual de la composición de la matriz energética de Colombia.

El operador del sistema energético y administrador del mercado en Colombia, XM Compañía de Expertos en Mercados, (XM S.A ESP, 2015), brindó datos sobre la matriz energética nacional. Con una capacidad instalada superior a los 15GW, la mayor parte de la capacidad instalada total corresponde a grandes centrales hidroeléctricas (aprox. un 67%), seguidas de grandes centrales térmicas¹³ (aprox. 28%). En Colombia el término “grande” corresponde a centrales energéticas con una capacidad instalada superior a los 20MW (CREG 2015). Estas centrales son despachadas centralmente por XM.

La producción de energía primaria con 141,990 top/año, de los cuales se exportaron 92,261 top/año (65% de la producción) y los 49,729 top/año restante se utilizaron en el suministro interno (35% de la producción), consumidos en los procesos de transformación de algunos de estos primarios a derivado de petróleo y electricidad, esto reportado en el balance energético de Colombia referido por el (Departamento Nacional de Planeación, 2017).

Los derivados del petróleo y electricidad, y otras entradas y salidas de importaciones, exportaciones y almacenamiento fueron los consumos internos neto de mayor porcentaje, según lo reportado por el Departamento Nacional de Planeación (2017), los cuales posterior a la transformación siendo de 29,655 top/año, donde el sector transporte representa el 39.8% del consumo total, y los derivados del petróleo suministraron el 93.6% del consumo total de energía en este sector.

La diferencia entre la energía que entra en procesos de transformación y la energía que se consume muestra que hay pérdidas importantes de energía, algunas evitables y otras no, pues se deben a los procesos físicos y químicos que se requieren en la transformación y transporte de la energía hasta el consumidor final, sin embargo se evidencia que el país tiene una producción energética diversificada con excedentes importantes para la exportación (especialmente petróleo y carbón) y que el sector que más consume es el transporte, seguido del sector industrial y el sector residencial, donde el sector industrial consumió el 26.39% de la energía del país, con una mayor diversidad en las fuentes de energía, lideradas por el carbón (29.09%), gas natural (25.05%), bagazo (17.09%) y electricidad (13.40%) entre las principales (Ministerio de Minas y Energía, 2015).

En cercanías del Cabo de La Vela en la Guajira, Colombia, se encuentra ubicado el Parque Eólico de Jeparachi, este opera desde el año 2004 y fue instalado por las Empresas Públicas de Medellín. Este parque en sus primeros meses representa un factor de planta global de un 38% con una disponibilidad del 96% solo en los primeros 15 meses de operación, alimentando el 15% d la red eléctrica 70.4 GWh (Pinilla et al., 2009). Asimismo; un proyecto de 9,9 MW, conformado por 35.000 paneles solares en un terreno de 18 hectáreas en el municipio de Yumbo, Valle del Cauca (Suroccidente de Colombia), que generará aproximadamente 16 GWh al año, le permite a empresas como Celsia dar un paso hacia la generación solar (Energía limpia, 2017).

la demanda en transporte y de la adopción, a comienzos del 2000 permitió un incremento superior a cinco veces en la participación porcentual del diésel en la matriz energética, es así como en las últimas cuatro décadas también se presentaron modificaciones sustanciales en la matriz energética colombiana (García et al., 2016), de una política de precios diferenciales del diésel frente a la gasolina. Así mismo, se destaca la participación en la matriz energética de la electricidad con un incremento de más de tres veces, esto ocasionado en mayor porcentaje por la cobertura en los últimos 20 años que se ha incrementado en un 20% (Ministerio de Minas y Energía & Unidad de Planeación Minero Energética, 2015). Se destaca el gas natural quien ha incrementado en ocho veces su participación, llegando al 16% de la oferta, lo anterior es ocasionado por el uso masivo de gas natural en los años noventa (Departamento Nacional de Planeación, 1991) (Departamento Nacional de Planeación, 1993) Igualmente, importante resaltar la notable disminución de la participación del fuel oil en la matriz energética, producto también del programa de masificación de consumo de gas.

El mix de generación eléctrica colombiano se concentra principalmente en dos fuentes, la hidroelectricidad con una participación del 63.9% (67.7% incluyendo menores hidráulicas) y la generación a gas natural que representa 26.3% de la capacidad instalada en 2014 (XM S.A ESP, 2015), lo anterior ocasiona una vulnerabilidad a corto plazo por los ciclos hidrológicos en el país y su variabilidad, la disponibilidad del gas, las importaciones y hallazgos en el mediano y largo plazo (Ministerio de Minas y Energía, 2015).

Colombia es un país con gran diversidad de recursos energéticos que lo convierten en una región privilegiada para explorar energías renovables; esta oportunidad le permite diversificar su matriz energética con el fin de mejorar la calidad de vida de la población, reducir la contaminación, ofrecer energía en zonas no interconectadas y garantizar la disponibilidad de la energía ya que es fundamental para la economía (Cortés & Londoño, 2017).

En el estudio para determinar la vulnerabilidad y las opciones de adaptación del sector energético colombiano frente al cambio climático (2013) contratado por la UPME, se identifica que pueden ocurrir cambios en la oferta hidroeléctrica, se advierte que la expansión basada solo en energía de fuente hídrica pone es riesgosa, esto debido a los cambios climáticos y costos de construcción de las infraestructuras necesarias. Este informe indica que se deben considerar otras fuentes de energía y tecnologías como forma de adaptación a los cambios climáticos.

Lo antes mencionado requiere por parte del estado un plan de expansión donde se considere las fuentes de energías no convencionales logrando así la diversificación de la matriz energética del país, dicho plan se puede lograr debido a la promoción de la vinculación de energías renovables en la matriz energética del país a través de la Ley 1715 de 2014, la cual busca incluir plantas eólicas generación solar fotovoltaica, geotermia y generación a partir de la biomasa en el mix eléctrico del país.

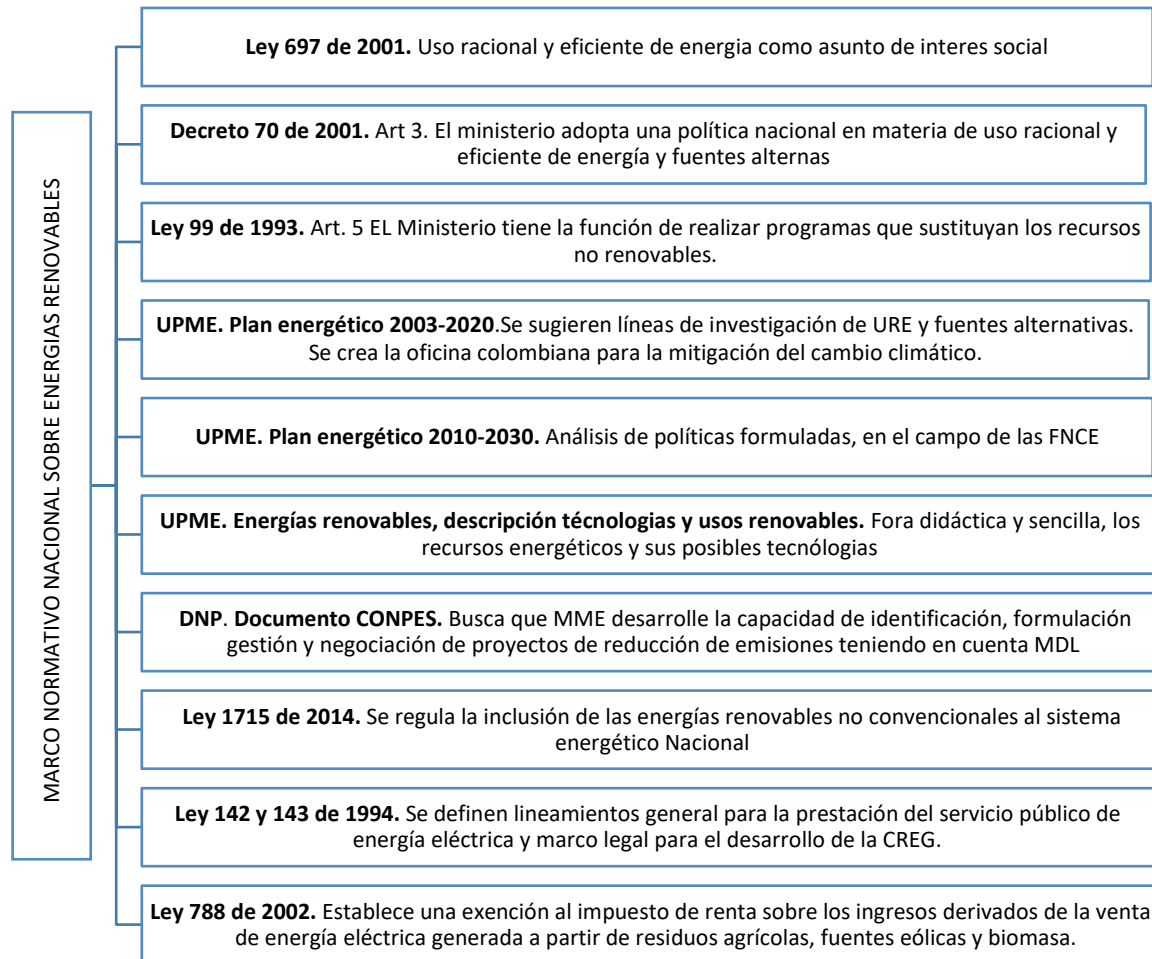
4.2 Bases Legales

La utilización racional de energía y el direccionamiento del avance en péqueas escalas, así como el incentivo de nuevas investigaciones aplicadas y básicas, reduciendo los gastos e incrementando la productividad de energías geotérmica, biomasa, solar y eólica todo esto a través de la Ley 697 del 3 de octubre de 2001. Así mismo la ley 1715 del 13 de mayo de 2014 (Ley de Energías Renovables) permite el desarrollo de las energías renovables y su implementación, sin embargo, esta ley plantea que es el Ministerio de Minas y Energía quien debe regular estas temáticas, sin embargo esto no ha sido posible, y esto a su vez ocasiona un paro en las inversiones (Giraldo O., 2017).

A continuación, se plasma de forma concreta las leyes, regulaciones y decretos más relevantes en la temática de interés.

Figura 1.

Marco normativo nacional sobre energías renovables



Fuente. Elaboración propia. 2020

4.3 Bases teóricas

4.3.1 Clasificación de las fuentes de energía según su origen

Las fuentes de energía son productos naturales de mayor o menor complejidad en las que el hombre extrae energía para la realización de una tarea, actividad u obtener algún provecho. Las fuentes de energía se clasifican de diferentes maneras de acuerdo al teórico o referente utilizado, una de las clasificaciones más empleadas es la de energías renovables y no renovables.

4.3.2 Energías renovables

Este tipo de energía se definen como fuentes primarias inagotables o que pueden regenerarse en un tiempo menor al de uso, las fuentes que tiene como origen directa o indirectamente el sol se consideran renovables. Así mismo el calor que proviene de la tierra y mareas, por ejemplo, la energía mareomotriz, energía geotérmica, hidráulica, eólica, solar, y energía de la biomasa.

Estas energías están sujetas a la geografía y a recursos como el agua, viento, o sol, teniendo potencial de explotación en lugares específicos, esta es una de las razones de que en los sistemas energéticos actuales con alto consumo no es muy frecuente encontrarlos.

4.3.3 Energías no renovables

Las energías no renovables son aquellas que se consumen en un tiempo inferior al que se requiere para su formación, las dificultades con su utilización radican en que estas se agotan y el nivel de contaminación es elevado. Entre las energías no renovables se encuentra el petróleo, carbón, gas natural y energía nuclear.

4.4 Energías renovables

Las fuentes de energía que utilizan recursos no agotables temporalmente, al menos a escala humana, en general se consideran energías renovables o ilimitadas como fuentes de energía que utilizan cualquier recurso natural de origen no fósil (carbón o hidrocarburos) ni procedente de la fisión o fusión nuclear. El sol es el origen de las energías renovables debido al calor provoca en la tierra las diferencias de presión que dan origen a los vientos, fuente de la energía eólica. El sol ordena el ciclo del agua, causa la evaporación que predispone la formación de nubes y, por tanto, las lluvias, también del sol procede la energía hidráulica, las plantas se sirven del sol para realizar la fotosíntesis, vivir y crecer, toda esa materia vegetal es la biomasa, por último, el sol se aprovecha directamente en las energías solares, tanto la térmica como la fotovoltaica (Colino Martínez, 2010).

4.4.1 Energía Mareomotriz

El potencial energético de los mares y océanos es gigante, existiendo así diferentes tecnologías para explotar dicha energía, a saber, cómo las corrientes marinas utilizando energía cinética, por otro lado, la energía mareo térmica que emplea la temperatura de las aguas profundas así como las aguas de la superficie; el movimiento de las olas es utilizado debido al movimiento de las olas que producen una fuerza de desplazamiento de la masa de agua y la energía mareomotriz que emplea el resultado de la fuerza gravitatoria del sol y la luna que resulta en el ascenso y descenso del agua del mar (Pérez Naranjo & Agudelo Rojas, 2017).

La extracción de energía de la subida y bajada de la marea emplea turbinas, esto a través de diques, es así como el uso de los elementos físicos y de ingeniería para utilizar la potencia de las mareas es relativamente sencillo. Las aguas que atraviesan las turbinas se convierte en energía cinética lo que a su vez permite que se accione un generador para producir electricidad (Herrera & Quintero, 2017).

El funcionamiento de la energía mareomotriz debe tener en cuenta diversos aspectos de los cuales afectan el potencial del agua, una planta dedicada a esto tiene en cuenta características como el número de ciclos y el sentido de las mareas para sacar el mayor provecho. El aprovechamiento de

la energía en la etapa de bajamar es elemental en el diseño de un nuevo ciclo, sin embargo este diseño limita la energía que se genera, ya que se confina a dos ciclos en los que se vacía el estuario (Pérez Naranjo & Agudelo Rojas, 2017).

Las centrales se han diseñado con el propósito de aprovechar mejor la energía de las mareas, a su vez se han diseñado instalaciones que utilizan energía del agua en dos sentidos, al entrar y salir del estuario. (ALLPE Ingeniería y medio ambiente S.L, 2019)

La producción de energía mareomotriz emplea las turbinas reversibles, de la misma manera que lo hace las centrales hidroeléctricas estas trabajan en diferente sentido a las turbinas, de tal manera que cuando existe un exceso de energía, se realiza un bombeo de del agua del mar hacia los diques, lo que aumenta el nivel del agua para la siguiente etapa de generación. Sin embargo no importa la organización que se le dé a la planta de energía mareomotriz siempre se deberá contar con aspectos claves como los diques, compuertas, generadores eléctricos, turbinas, infraestructura de transporte de la energía generada y sistemas de control (Pérez Naranjo & Agudelo Rojas, 2017).

4.4.2 Ventajas

- El poder predecir la potencia de salida al depender de la amplitud de marea la cual es fácilmente pronosticada es una de las grandes ventajas de dicha energía, la alta densidad del agua de mar que permite en relativamente pequeños espacios una gran generación eléctrica y su diseño modular que facilita utilizar esta tecnología en cualquier escenario en que las velocidades de flujo no excedan los 1.75 ms. (Torres Parra & Andrade Amaya, 2006)
- La planificación para el aprovechamiento de las mareas, se da debido a las diferentes escalas temporales (diaria, mensual, anual) (Herrera & Quintero, 2017)
- La implementación de nuevas tecnologías que permiten el aprovechamiento de los desniveles del agua, de las mareas y de las corrientes marinas.
- El movimiento natural de las masas de agua, es una alternativa energética viable a largo plazo en las zonas costeras.

- Una de las ventajas de este tipo de energía es la realización de estudios prospectivos que indaguen sobre los alcances futuros y la sostenibilidad de la energía que proviene del mar.

4.4.3 Desventajas

- Las características micromareales de la costa, impactan sobre el aprovechamiento energético
- La inversión en la tecnología que se utiliza es elevada
- Las instalaciones de este tipo de energía pueden tardar años en construirse, debido a su tamaño e impacto.
- Esta energía produce un efecto negativo en la flora y fauna marina, transformando su hábitat natural al ocupar artificialmente una zona en la que antes no había nada. Por lo tanto, podemos afirmar que la construcción de infraestructuras para generar esta energía produce cambios en los ecosistemas(Twenergy, 2019).

4.4.4 Potencial de implementación en Colombia

Alrededor del mundo es innumerable la cantidad de proyectos que utilizando avances científicos y tecnológicos han direccionado sus esfuerzos hacia la energía mareomotriz. En el caso de Colombia su futuro energético va dirigido a la utilización de energías renovables que no estén ligadas al petróleo, gas natural o carbón, teniendo en cuenta que estas no permitirán suplir las necesidades del país en un futuro. La energía hidroeléctrica ha sido la fuente que el País ha utilizado y que, aunque esta es renovable ha implicado diferentes problemáticas ambientales causadas por las inundaciones que se requieren y que comprometen la riqueza de flora y fauna que se encuentre allí.

En el caso de Colombia se estableció como zona posible para aprovechar la costa pacífica, teniendo en cuenta las mareas superiores a 3 metros. En el año 1951 se da inicio al estudio de las fuerzas en

el mar en Colombia, esta iniciativa originada por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, 2014), al año 2009 se contaba con 6 estaciones mareo gráficas (4 en el Pacífico y 2 en el Caribe), y 8 boyas de oleaje (4 en el Pacífico y 4 en el Caribe) Cada uno de estos equipos está comunicado vía satélite con los centros de control marítimo (Polo & Jorge Sarmiento, 2008). Lo anterior plantea un avance teniendo en cuenta que dichas estaciones permiten estimar el potencial de los mares.

4.4.5 Impacto ambiental

Esta energía da un aporte en cuanto a la disminución de la huella ecológica, diversos estudios han investigado alrededor del impacto ambiental que esta tiene, dentro de estos se encuentra el pronóstico de daño en la reducción del área intermareal realizado por Corea del Sur, así como la disminución en la calidad del agua (Lee & Yoo, 2009). Por otro lado, se han identificado algunos impactos físicos en la tasa de erosión y transporte de sedimentos lo cual repercute en la producción de energía, tal como lo determinó el estudio desarrollado en el Reino Unido (Walkington & Burrows, 2009).

Por otra parte, diferentes características han sido analizadas en diferentes investigaciones como la salinidad, ya que impacta en la presencia de metales y reduce absorción de nutrientes, así mismo otra característica que se ha identificado es el desplazamiento de patógenos, como lo son las bacterias fecales coliformes, estreptococos y enterococos intestinales, que provienen de las aguas negras y desechos producto de la actividad ganadera y agricultura que se vierte a los ríos. La variabilidad en la salubridad y concentración de sólidos suspendidos termina resultando en mortalidad en la fauna de los ríos y esta a su vez en aves y mamíferos, otro efecto encontrado es el impacto en la migración de peces (González & Quintero, 2015).

4.5 Energía Geotérmica

La energía que se encuentra al interior de la tierra es llamada geotermia o geotérmica, siendo una energía renovable e inagotable, además de contar con tecnología avanzada y limpia, entre otros aspectos. Al día de hoy el 0.4% de la energía mundial es producida por geotermia, esto a pesar de que solo son los sistemas hidrotermales los explotados.

La temperatura del fluido endógeno que se extrae, o del fluido que se inyecta para la extracción de calor de la roca permite clasificar los sistemas geotérmicos existentes en la Tierra, como son los recursos de alta entalpía que se da cuando la temperatura del fluido es mayor de 200 grados centígrados, por otro lado cuando la temperatura esta entre los 100 a 200 grados centígrados se denomina sistema de mediana o baja entalpía (Édgar Santoyo, 2010).

Según (Édgar Santoyo, 2010) se conocen diferentes sistemas geotérmicos entre los cuales se encuentran:

- a) *Sistemas hidrotermales convectivos*: Estos almacenan los fluídos y una capa llamada roca sello, además están conformados por una fuente de calor y son un medio de transporte.
- b) *Sistemas geotérmicos de roca seca caliente o “sistemas geotérmicos mejorados”*: Estos tienen una característica peculiar y es que no cuentan con suficientes fluidos en el fondo que le permitan el transporte hacia la superficie, estos están conformados por rocas secas a altas temperaturas.
- c) *Sistemas geotérmicos geopresurizados*: Estos sistemas se encuentran a altas presiones y medianas temperaturas además de contener agua y metano.
- d) *Sistemas geotérmicos marinos*: En este caso se ha logrado identificar en el golfo de California, en México, encontrando sistemas con temperaturas hasta los 350 grados centígrados, usualmente localizadas en el fondo del mar.
- e) *Sistemas geotérmicos magmáticos*: Se han implementado diferentes proyectos de explotación en Hawái e Islandia, sin embargo, la extracción requiere de materiales resistentes a la corrosión y altas temperaturas, se encuentran constituidos por roca fundida.
- f) *Sistemas geotérmicos supercríticos*: Estos presentan fluidos en estado altamente crítico adoptando un estado intermedio entre gas y líquido, se caracterizan por ubicarse a grandes profundidades.

4.5.1 Ventajas

- Se evade la dependencia energética debido a los bajos costos
- Estos tienen un porcentaje bajo de residuos cuando se comparan con los combustibles fósiles
- El planeta tierra es utilizado como su fuente de energía
- Las plantas geotérmicas emplean un terreno pequeño para su construcción en comparación con otros tipos de plantas.

4.5.2 Desventajas

- Emite un olor característico parecido a huevo podrido, sin embargo, este no es letal y es casi imperceptible.
- Se incrementa el aporte al efecto invernadero debido a la emisión de CO₂
- Sustancias como el amoníaco, y arsénico entre otras termina contaminando las aguas que se encuentren cercanas a las plantas.
- El paisaje se deteriora con el tiempo debido a la contaminación térmica.

4.5.3 Potencial de implementación en Colombia

Chiles, cerro negro de Mayasquer, Azufral, cuerpo volcánico de Iza entre otros son algunos de los volcanes que se encuentran en Colombia, sin embargo, a pesar de la presencia de estos y del potencial ha sido minúsculo el esfuerzo por la utilización de esta energía, el desarrollo de esta

energía en Colombia es insipiente, a pesar de que se han realizado diferentes estudios que facilitan el reconocimiento del potencial geotérmico, entre los estudios se encuentran el realizado entre Colombia y Ecuador para el reconocimiento de campos geotérmicos en ambos países entre 1979 a 1982, estudio de prefactibilidad de desarrollo geotérmico en las áreas del complejo volcánico Nevado del Ruíz desarrollado por CHEC en 1983, GEOCÓNSUL en 1992 y GESA en 1997, así mismo el estudio de los sistemas geotermiales de las áreas de Paipa e Iza desarrollado por INGEOOMINAS en los años 2005, 2008, 2009, entre otros.

La geotermia se ha desarrollado de forma lenta en el país, lo que puede deberse a diferentes factores como, los costos en los estudios de explotación y modelamiento del recurso, las capacidades técnicas y científicas son limitadas para la exploración y desarrollo, costos elevados de exploración, acceso limitado a zonas volcánicas, no existe reconocimientos en el mercado de los beneficios, confiabilidad y firmeza del sistema.

En la actualidad se encuentran diferentes proyectos binacionales entre Colombia y Ecuador como lo es el Chiles – Cerro Negro, ubicado en la zona de Tufiño, por la cercanía de los pozos y la alta entalpia que permite generar energía. Así mismo se encuentran proyectos como el Azufral, uno ubicado en la Cordillera Oriental, Paipa (Boyacá), otro ubicado en la base del Volcán Nevado del Ruiz, que se encuentra en la fase de factibilidad, es uno de los más importantes para el país, por el avance que tiene en la actualidad, sin embargo, ninguno de estos proyectos está en la fase de producción (Arias & Acevedo Sánchez, 2017).

4.5.4 Impacto ambiental

El impacto ambiental de la energía geotérmica se basa en que los caminos de acceso que se deben construir pueden causar destrucción de los bosques, desestabilización de los ecosistemas como el ruido, polvos, humos y erosión del suelo, así mismo la producción de gases que deben ser liberados a la atmosfera conlleva a daños en el sistema respiratorio o cáncer en algunos casos dependiendo del tipo de gas.

La industria geotérmica produce efectos que pueden ser transitorios o permanentes según (Zayre González, 2019):

- *Progresivo hundimiento del terrero y sismicidad:* se produce en terrenos que son geológicamente inestables, donde usualmente se hay presencia de volcanes y altos flujos de calor, cuando las actividades de la industria geotérmica inducen la sismicidad los efectos se incrementan.
- *Ruido:* La problemática del ruido es temporal y solo se presenta en el periodo de construcción, o tránsito de vehículos y algunas perforaciones, sin embargo, no suele ser significativa.
- *Emisiones a la atmósfera:* impactos como la contaminación del suelo y de la flora, así como la toxicidad que se genera hacia la población que habita en cercanía de las instalaciones son producida por diferentes gases como lo son (CO₂, H₂S, NH₃, CH₄, N₂ y H₂
- *Contaminación de aguas superficiales y subterráneas:* la contaminación a las aguas o fuentes hídrica cercanas suele deberse a las fallas en el manejo de fugas o depósitos superficiales, donde pueden encontrarse metales tóxicos como el As, Hg, Pb, Zn, B y S, junto con sílice, carbonatos, sulfatos y cloratos.
- *Los cambios en el paisaje y el uso del suelo:* la generación de energía geotérmica puede en ocasiones generar zonas geológicamente inestables especialmente en lugares donde la cantidad de lluvia al año es elevada, así mismo se pueden generar problemáticas sociales con las comunidades cercanas a las instalaciones de la planta.
- *Residuos sólidos:* los residuos producidos se dan generalmente en la etapa de construcción y durante las perforaciones.

- *Ecología:* de acuerdo a los efectos anteriormente mencionados se puede concluir en general un impacto sobre la flora, fauna y población cercana a las plantas de forma significativa, especialmente en zonas donde se encuentren especies de plantas o animales en peligro de extinción

4.6 Energía Eólica

El movimiento del viento es lo que produce la energía eólica, debido a las diferentes temperaturas en las zonas geográficas provoca la circulación del aire, una de las características más importantes del viento es su variabilidad, esto ayudado por las diferentes temperaturas que se presentan en las diferentes zonas de la tierra.

Dicha energía producida es cinética, ya que golpea las astas del rotor y estas convierten el viento en energía mecánica. Estas astas conectadas a un eje con un diseño aerodinámico levantan o arrastra, provocando una presión en cada lado del rotor. Actualmente, las turbinas eólicas son versátiles fuentes de electricidad. Sus alabes o “palas” tienen un diseño aerodinámico que les permite capturar la mayor cantidad de energía del viento, pues éste las hace rotar, accionando una flecha acoplada al generador y así obtener electricidad (Molina Galindo, 2016).

4.6.1 Ventajas

- Esta energía no contamina, es inagotable y disminuye el consumo de combustibles fósiles.
- La utilización de la energía eólica para la generación de electricidad presenta nula incidencia sobre las características fisicoquímicas del suelo o su erosionabilidad, ya que no se produce ningún contaminante que incida sobre este medio, ni tampoco vertidos o grandes movimientos de tierras(Moreno Cortés, 2013).

- La energía eólica es independiente de cualquier política o relación comercial, se obtiene en forma mecánica y por tanto es directamente utilizable

4.6.2 Desventajas

- El poco control del viento es una gran desventaja de esta energía
- Por su carácter impredecible no permite ser usada como única fuente de energía
- Se debe contar con energías convencionales de respaldo cuando esta energía no es suficiente (Moreno Cortés, 2013)
- La energía se consume de forma instantánea por lo cual no se permite almacenarla.
- Debido a la ubicación de los parques eólicos se requieren cables de alta tensión para el transporte de la energía causando un impacto sobre el paisaje

4.6.3 Potencial de implementación en Colombia

En el caso de la energía eólica causa extrañeza su desarrollo bastante incipiente, con una capacidad instalada de apenas 19,5 MW representada por Jepirachi, en La Guajira. La explicación parece estar en que estos proyectos están rodeados de grandes incertidumbres que abarcan desde el comportamiento de los vientos hasta los precios de la electricidad; además, requieren grandes inversiones iniciales, por lo que, al ser valorados con base en los métodos tradicionales de flujos de caja descontados, se concluye la no viabilidad financiera del proyecto. la energía eólica contribuye con generación justo en períodos muy secos como los producidos por el fenómeno del Niño y en el período pico de la demanda(Ochoa et al., 2012).

La Costa Atlántica Colombiana, es una de las más interesantes en cuanto a la energía eólica, ya que se encuentra la península de La Guajira, desde la cual se incrementa el viento, así mismo, se

han identificado otras zonas como el departamento de Arauca y los altiplanos de la cordillera, sin embargo, la Guajira termina siendo el de mayor interés, ya que se proyecta como una zona de alta producción de energía eólica por sus fuertes vientos, características hidrológicas y condiciones físicas (Siabato Benavides Catalina, 2018).

Galerazamba en el Departamento de Bolívar, Gachaneca en Boyacá y la isla de San Andrés en el mar Caribe colombiano, son 3 sitios donde las velocidades son persistentes, y entre los 4 y 5m/s: La Legiosa en el Huila, Isla de Providencia en el Mar Caribe y Riohacha en La Guajira, estos e destacan en un mapa eólico elaborado en el 2006 para Colombia, otros lugares también identificados pero con menor velocidad del viento son Villacarmen en Boyacá, Obonuco 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. Asimismo, una aproximación del comportamiento de la densidad de energía a 50 metros de altura en Colombia es el que se presenta a continuación(EVWIND, 2009)

La Península de La Guajira durante todo el año mantiene valores de densidad de energía eólica entre 2.197 y 2.744 W/m², alcanzando aun valores entre 2.744 y 3.375 W/m². La densidad de energía eólica a 50 metros en el resto del país presenta variaciones dentro del ciclo estacional, al igual que el campo del viento y de densidad de energía eólica a 20 metros de altura, (EVWIND, 2009).

Valores de densidad de energía eólica entre 343-542 W/m² se observan en la cuenca del río Sinú al noroccidente de Antioquia, entre los meses de diciembre y abril. Valores de densidad de energía entre 729 y 1.000 W/m², se observa sobre el Golfo de Urabá, en el Bajo Magdalena y la cuenca del Cesar en los departamentos de Bolívar, Atlántico, Norte de Santander y centro del Cesar. No obstante, hacia abril hay una reducción de estos valores por causas explicadas anteriormente(EVWIND, 2009).

4.6.4 Impacto ambiental

Esta energía puede provocar impactos positivos en el ambiente, sin embargo, solo será posible verlos en la medida en que esta reemplace otras fuentes de energía convencionales. La búsqueda y hallazgo de lugares donde se cuente con todas las características que permitan asentar un parque eólico es un conflicto, esto debido a los factores como el suelo. Sin embargo, estos impactos positivos serán mucho más visibles siempre y cuando la implementación de esta energía vaya acompañada de una disminución en el consumo de energía general (García Hernández, 2016).

Dentro de los beneficios de la energía eólica se encuentra su impacto sobre el paisaje, ruido e interferencia electromagnética. A pesar de parecer insignificantes estos impactos positivos terminan incidiendo en la opinión y toma de decisiones sobre la implementación de estos parques.

Una de las opciones energéticas más económicas la ofrece la energía eólica, que permita reducir la producción de CO₂ y la generación de electricidad, es una turbina eólica de 600 kW la cual reemplaza la emisión hasta 30.000 toneladas de CO₂, siendo su vida útil hasta 20 años. La producción de SO₂ y NO_x en el caso de esta energía provoca efectos zonales o regionales, esta energía en comparación con las plantas nucleares no produce ningún desecho peligroso tanto en el almacenamiento como en la producción, Esta energía produce una disminución de la utilización de las energías provenientes de combustibles fósiles, aportando así a la diversificación del suministro de energía.

4.7 Energía Solar

El sol es una fuente inagotable de energía, la cual a través de la radiación y ondas electromagnéticas son aprovechadas para la generación de energía. Esta radiación tiene un efecto sobre la tierra y es medida en kWh/m² y la potencia en kW/m².

El sol y la energía que produce puede ser aprovechado de diferentes maneras:

- *Energía Solar Fotovoltaica:* esta es aprovechada de la radiación que emite el sol para así producir energía eléctrica. Estos sistemas usualmente están compuestos por equipos eléctricos y electrónicos que transforman la energía luminosa en energía eléctrica. Estos sistemas pueden ser clasificados en tres grupos a saber: conectados a una red los cuales producen energía que es transferida a la red convencional, autónomos y de bombeo (Esteve Gómez, 2011).

Estos sistemas cuentan con un equipo inversor que permite el acoplamiento con la red eléctrica, así mismo, estos pueden ser instalados en el suelo o en construcciones, los que son ubicados en el suelo son para la producción de energía superando los 100 kW de potencia, por otro lado, los sistemas ubicados en edificaciones cumplen una función de acompañamiento o complemento a la producción de energía, siendo inferiores a los ubicados en el suelo. Y por último los sistemas autónomos son diversos en su aplicación ya que su objetivo es suplir la demanda de energía específica, esta característica les permite acumular energía, a su vez se pueden clasificar en tres grupos: profesionales, electrificación rural y pequeño consumo (Lamigueiro, 2018).

- *Energía Solar Térmica:* este sistema es utilizado para calentar agua y aire, es absorbida por un panel solar y transferida al fluido para incrementar su temperatura, estos usualmente son empleados para calentar agua, climatización y calefacción.

4.7.1 Ventajas

- La energía del sol, la más abundante de la Tierra, es renovable, inagotable y limpia, y contribuye a la reducción de las emisiones de CO₂ y otros gases de efecto invernadero.
- Las instalaciones para su aprovechamiento no contaminan la atmósfera.
- Favorable para sitios aislados. En casos en que es difícil el acceso a la red eléctrica la energía solar es una muy buena opción.

- Opinión pública favorable. La opinión pública es mayoritariamente favorable al uso de la energía solar. La percepción de la población es que se trata de una energía renovable limpia y sostenible.

4.7.2 Desventajas

- Variaciones en la radiación solar recibida en el planeta entre día y noche y a lo largo del año.
- Diferencias producidas por factores geográficos, como la variación en la recepción de los rayos solares en la superficie, cuyo ángulo de incidencia es distinta según la latitud.
- Materiales de desecho que quedan en la fabricación de paneles fotovoltaicos, los cuales son tóxicos.
- Las plantas solares requieren de grandes espacios, lo cual afecta los sistemas ecológicos que en zonas desérticas son de gran fragilidad.

4.7.3 Potencial de implementación en Colombia

Colombia a mediados de los años 70 muestra sus primeras incursiones en la energía solar; las primeras iniciativas se presentan en universidades y empresas nacionales ya que estas requerían su aplicación en investigaciones, lo que permitió avances, así mismo las empresas incursionan con el objetivo de implementarlo en zonas rurales principalmente para telecomunicaciones. Asimismo las primeras incursiones dieron paso a la generación de financiación del extranjero que se mostraron interesados en participar del mercado de energía solar en Colombia y que permitiría que a nivel local se darían pasos para tomar partido en la fabricación de los sistemas fotovoltaicos(Moreno David, 2015).

Sin embargo y a pesar de que en la actualidad ha incrementado el uso de energía solar, aun esta es insipiente en su desarrollo en el país, las necesidades energéticas siguen siendo suplidas por fuentes tradicionales de energía como el petróleo y las hidroeléctricas.

El IPSE (Instituto para la Promoción de Soluciones Energéticas) es en la actualidad la institución que lidera las acciones del Estado en la energización del campo colombiano., quien reporta que existen mas de 15.000 sistemas instalados para estas aplicaciones, así mismos se han combinado energía solar fotovoltaica y plantas diésel, impactando así en precio de la producción diésel. En los años 80 se incrementó la utilización de los sistemas fotovoltaicos siendo empleados en telecomunicaciones, sin embargo, las problemáticas de orden público frenaron su crecimiento (Rodriguez Murcia, 2009).

4.7.4 Impacto ambiental

Al emplear grandes espacios para recolectar la energía genera uno de los grandes impactos de esta energía ya que así mismo son las cantidades de material para su construcción. El mayor impacto ambiental se concentra en las actividades de producción, extracción y transporte de los materiales utilizado en la construcción de estas plantas de energía. El proceso de fabricación de los paneles solares requiere de diferentes materiales como aluminio, vidrio, acero, los cuales son utilizados para los marcos, como encapsulantes y para la estructura respectivamente, lo que genera resulta en la reducción del impacto ambiental. La mezcla de fuentes energéticas convencionales en el proceso de fabricación resulta en la producción de residuos como NOx, SO2, CO2 etc., sin embargo, el porcentaje de emisiones derivadas de la fabricación son reducidas ya que la cantidad de paneles son pocas (Ecologistas en acción, 2007)

Los módulos de mono-si PERC o policristalino fabricados en pequeña escala potencian por año la producción de energía en comparación con las centrales térmicas de carbón, siendo veinte veces más la producción de CO2 con carbón. Así mismo, los paneles de Si mono o policristalino disminuyen la emisión de CO2 hasta 200 veces en comparación con la central térmica de carbón (Ecologistas en acción, 2007).

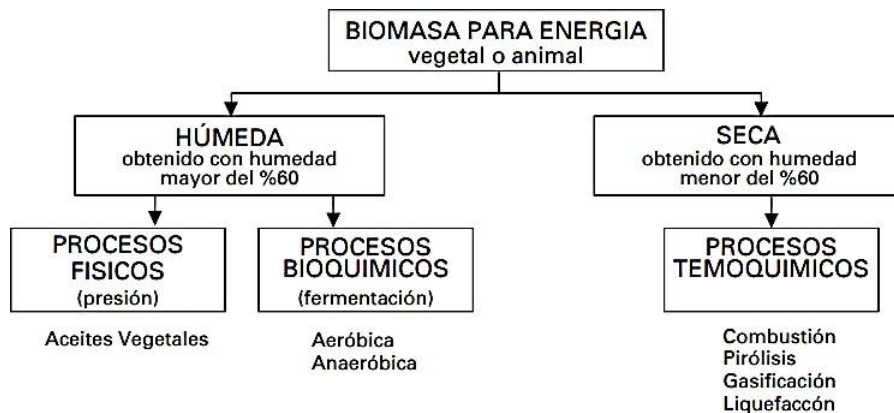
4.8 Energía Biomasa

Los residuos agrícolas o forestales como materia orgánica son conocidos como biomasa y se contemplan como explotables en el aprovechamiento energético, con diferentes ventajas ambientales y económicas, entre las cuales se encuentran la independencia de los precios de los combustibles, así como la disminución en las emisiones y el impacto económico en las poblaciones rurales (González & Quintero, 2015).

4.8.1 Tipos de Biomasa

Figura 2.

Tipos de Biomasa



Fuente. (Secretaría Energías Renovables Argentina, 2008)

- Biomasa seca: Este tipo de biomasa se genera de la leña, o paja las cuales deben contar con una humedad del 60%, es usualmente utilizada en procesos termoquímicos o físicos que resultan en energía térmica o combustibles sólidos líquidos o gaseosos. (Secretaría Energías Renovables Argentina, 2008).
- Biomasa húmeda: en este caso el porcentaje de humedad debe superar el 60% en vegetales, residuos animales y vegetación acuática, se puede procesar mediante tratamiento químico, físicos dando como resultado combustibles líquidos y gaseosos. (Secretaría Energías Renovables Argentina, 2008).

4.8.2 Ventajas (Santiago Vignote Peña, 2016).

- El balance de CO2 emitido es neutro.
- No emite contaminantes sulfurados o nitrogenados, ni apenas partículas sólidas.
- La producción de biomasa es totalmente descentralizada, basada en un recurso disperso en el territorio, que puede tener gran incidencia social y económica en el mundo rural.
- Disminuye la dependencia externa del abastecimiento de combustibles. La tecnología para su aprovechamiento cuenta con un buen grado de desarrollo tecnológico para muchas aplicaciones.
- Disminución del riesgo de incendios y plagas forestales, como consecuencia de reducir la carga de combustible de las masas forestales españolas.
- Disminución de vertidos y riesgos ambientales (al valorizar los residuos de origen industrial).

4.8.2 Desventajas (Fundación Energías sin Frinteras, 2012)

- Poseen menores rendimientos energéticos que los combustibles derivados de los combustibles fósiles.
- Una desventaja son los costos de producción en comparación con energías de origen fósil.

- La biomasa posee una baja densidad energética, es decir, que para conseguir la misma cantidad de energía se requiere utilizar más cantidad de materia prima. Esto hace que pueden darse problemas de transporte y almacenamiento.
- Requiere de un acondicionamiento o transformación para su utilización

4.8.4 Potencial de implementación en Colombia

La (Cámara de Comercio de Cali, 2017) presenta diferentes ejemplos de éxito en la implementación de esta energía como lo es el caso de Brasil donde la empresa Klabin produce y exporta papeles generando 330 MW y genera energía a partir del vapor producido por calderas de licor negro, así mismo menciona que en Latinoamérica para el año 2016 se registró una capacidad instalada en 10 países mostrando una variación frente al 2015. En el caso de Colombia para el año 2016 se registró el uso de 124 cogeneradores de biomasa, estos están ubicados en Risaralda, Valle del Cauca y Cauca produciendo 589,1 Gwh de excedentes al Sistema Interconectado Nacional (SIN). Instituciones como Asocaña realizan un análisis y presentan datos que revelan la capacidad instalada de los ingenios entre 274 MW y 116 MW. En el año 2017 inició el funcionamiento de la planta ubicada en el Cauca dedicada a la producción e biogás a partir de gallinaza, esta dinámica de la agroindustria en el Valle del Cauca es una oportunidad para los empresarios, así como nuevos proyectos alrededor del tema.

Este potencial ha sido estudiado por diferentes autores, entre los que se encuentra (Rincón Martínez et al., 2018) los cuales plantean un potencial teórico energético de 149.436 TJ/año de biomasa residual agrícola, pecuaria, agroindustrial y urbana. En este estudio es la biomasa la que presenta mayor potencial para el aprovechamiento estando entre estas la vinaza de caña de azúcar, avícola, palma de aceite, residuos sólidos urbanos, porcícolas y la ganadería, esta última es la de mayor potencial teóricamente sin embargo el hecho de que en el país se haga de forma extensiva dificulta su utilización.

Otra biomasa potencial estudiada es el estiércol el cual sobrepasa los 81 millones de toneladas anuales con una producción potencial de 71.000 TJ/año, sin embargo, existe una problemática en torno a la disposición final, en el caso de que se plantee su implementación solo se podría aprovechar el 14,3%, en especial de productos avícolas y porcinos ya que son los de mayor producción actualmente, esto es explorado por (López Martínez et al., 2018), quien además estima que esta biomasa puede generar 864 GWh/año.

4.8.5 Impacto ambiental

Uno de los efectos ambientales de la energía de biomasa es el impacto sobre el cambio climático si se observan países desarrollados según su nivel de producción, emitiendo así un mayor porcentaje de gases de efecto invernadero. Así mismo, la quema de la biomasa produce partículas conocidas como “humo negro”, el cual aún en estudio tiene un impacto sobre fenómenos de radiación cuando termina en el Ártico depositado, acelerando el deshielo. Por otro lado, se encuentra como un impacto ambiental la deforestación, la cual produce enormes pérdidas de sumideros que permiten la disminución del CO₂, acelerando así el cambio climático. Así mismo se reduce la retención de las aguas lluvias en los suelos lo que termina influyendo en la erosión y desertización (Fundación Energías sin Fronteras, 2012).

5. Experiencias de implementación de energías renovables en Colombia

5.1 Experiencias de implementación de energía Mareomotriz en Colombia

La costa pacífica colombiana puede convertirse en el mayor potencial energético de Colombia, esto ya que sus mareas superan los tres metros, los estudios han establecido que el potencial energético es de 120 MW, de los cuales se resaltó a bahía Málaga con 3,5 MW y la ensenada de Tribugá con 0,5 MW como las zonas con mayor potencial energético y posibilidades de satisfacer las necesidades de las comunidades cercanas. Punta Catripe (8 MW), bocana Bazán (6 MW) y boca Naya (13MW) fueron otros sitios que presentaron un importante y prometedor potencial energético. Para el mismo año, en la Actualización del Inventario de Posibilidades de Generación de energía mareomotriz en Colombia (Gómez y Burgos 2008), se presentaron opciones de aprovechamiento energético de las mareas mediante el cálculo del potencial mareomotriz en Colombia. Uno de los aspectos que se tiene en cuenta para la evaluación del potencial energético es el cociente entre la longitud del dique de contención y la energía producida: entre más pequeño sea este cociente, menor será el costo de instalación. Los diferentes estudios muestran a bahía Málaga, boca Virudó, ensenada Catripe, boca Yarumanguí y río Baudó como los de mayor potencial energético (ALLPE Ingeniería y medio ambiente S.L, 2019).

5.2 Experiencias de implementación de energía Geotérmica en Colombia

En la actualidad existen dos proyectos geotérmicos ubicados en el macizo Volcánico del Ruíz (MVR) y en la zona de influencia de los volcanes Tufiño, Chiles y Cerro negro, en la frontera con el Ecuador con alto potencial según lo reporta Isa Gen SA. ESP.

En cuanto al desarrollo del recurso en la región, este es considerado incipiente, aún a pesar de los diferentes estudios realizados desde finales de la década de 1970 para el reconocimiento del potencial geotérmico, entre los cuales citamos los siguientes: x estudio de reconocimiento de campos geotérmicos existentes entre Colombia y Ecuador. Olade, a QUATER, BRGM Y GEOTÉRMICA ITALIANA. 1979 a 1982. x estudios de prefactibilidad de desarrollo geotérmico

en las áreas de chiles – Tufiño – cerro negro Inecel – Olade 1982; Olade – Icel. 1986–1987. x estudios de prefactibilidad de desarrollo geotérmico en las áreas del complejo Volcánico nevado del Ruíz. CHEC 1983; Geocóns UI 1992; Gesa 1997. x mapa Geotérmico de Colombia. INGEOMINAS 2000 (actualmente servicio Geológico colombiano). mapa Geotérmico de Colombia. INGEOMINAS – ANH. 2008. x estudios de investigación de los sistemas geotermales de las áreas de los Volcanes Azufral y Cumbal. INGEOMINAS 1998–1999, 2008–2009; INGEOMINAS – Universidad Nacional De Colombia 2006. x estudios de investigación de los sistemas geotermales de las áreas de Paipa e Iza. INGEOMINAS 2005, 2008–2009(Banco Interamericano de Desarrollo, 2014).

En Colombia se ha establecido a través de estudios el potencial energético, así como políticas que facilitan la implementación, sin embargo, la energía geotérmica no está presente, este desarrollo casi nulo es ocasionado por diferentes factores como son los elevados costos de los estudios que permiten modelar y explorar, existen limitaciones en la capacidad científica que permita el desarrollo de este recurso, otros aspectos relacionados son las dificultades de accesibilidad para establecer las conexiones en las zonas con mayor potencial, impactando directamente en los costos y competitividad en el mercado (Banco Interamericano de Desarrollo, 2014).

5.3 Experiencias de implementación de energía Eólica en Colombia

El departamento de la Guajira gracias a sus vientos clasificados como clase 7 es una de las regiones de mayor atractivo y potencial para implementar la energía eólica, en Latinoamérica la Patagonia es otra zona con dicha clasificación. En el caso de la Guajira se ha estimado que puede satisfacer 2 veces la demanda nacional de energía, a pesar de esto en Colombia solo se ha instalado 19.5MW de energía eólica. Actualmente existen proyectos pequeños que producen energía para zonas que carecen de interconexión. Un caso particular y ejemplar es el parque eólico Jepirachi, instalado en cercanías del Cabo de La Vela en la Guajira, el cual alimenta con 120 GWh la red nacional, esto debido a que el viento ha sido favorable este parque cuenta con 15 equipos de fabricación alemana con potencial de 1.3 MW. Este se ha considerado como un proyecto piloto o experimental, que

tiene como propósito final la transferencia de tecnología, aprendizaje y entendimiento para futuros proyectos de energía eólica en el país(Cortés Moreno, 2013).

5.4 Experiencias de implementación de energía Solar en Colombia

En Colombia se han desarrollado diferentes experiencias en cuanto a la energía solar estas se remontan a los años 80, donde en la ciudad de Bogotá se instalaron calentadores, así como el Medellín y Tolima donde se instalaron paneles solares para calentar el agua. El año 2017 es el de mayor potencial para el sector privado en cuanto al potencial para implementar la energía solar y en menor medida el año 2012 como se muestra en la figura 3.

Figura 3.

Implementación de energías alternativas en el sector privado a nivel nacional.

| ENERGÍA SOLAR | | | | |
|---|------------------|---------------------|---------------------------|-------------------------------------|
| INSTITUCIÓN / LUGAR | FECHA | N.º PANELES | CAPACIDAD INSTALADA (KWP) | EMISIONES CO ₂ (TON/AÑO) |
| Autogermana | Diciembre, 2015 | 80 | 20 | 10 |
| Colegio Ramón Jimeno | 2015 | 148 | 0,0243 | 22 |
| Granja solar Celsia Yumbo | Septiembre, 2017 | 3500 | 402 | 6600 |
| C. C. La Reserva, Medellín, Antioquia | Marzo, 2017 | 96 | 30,72 | 2059 |
| Universidad Autónoma de Occidente | 2015 | 638 | 150 | 79,75 |
| Universidad Jorge Tadeo Lozano | Octubre, 2014 | 24 | 6 | 3 |
| EcoPark | Septiembre, 2014 | 24 | 3 | 3 |
| Hotel Quibdó Plaza | 2014 | 20 | 5 | 2,5 |
| C. C. Plaza de las Américas, Bogotá, Cundinamarca | Octubre, 2015 | 1020 m ² | 17,91 | 96,5 |
| San Felipe, Guainía | Febrero, 2014 | 33 | 8,31 | 4,155 |
| Timbiquí, Cauca, resguardo indígena | Julio, 2015 | 10 | 2,5 | 1,25 |
| Buenaventura, Valle del Cauca | Junio, 2015 | 32 | 8 | 4 |
| La Tebaida, Quindío, Mocawa Resort | Agosto, 2015 | 153 | 38,22 | 18,8 |
| Bogotá, Cundinamarca | Diciembre, 2012 | 7 | 1,8 | 0,9 |
| Tocancipa, Cundinamarca | Diciembre, 2015 | 51 | 12,69 | 6,345 |
| Chía, Cundinamarca | Noviembre, 2012 | 79 | 19,74 | 9,87 |
| Andes, Antioquia | Junio, 2013 | 2 | 0,54 | 0,27 |
| Girardota, Antioquia, Incolmotos Yamaha | Abril, 2013 | 144 | 35 | 11,95 |
| Lorica, Córdoba | Marzo, 2012 | 9 | 2,34 | 1,17 |
| Barranquilla, Atlántico, Residencia Jaime Amin | Noviembre, 2014 | 48 | 0,012 | 6,2 |
| Sierra Nevada de Santa Marta, Magdalena | Abril, 2013 | 48 | 12 | 6 |
| Guajira, Cerrejón | Noviembre, 2015 | 30 | 7,4 | 3,7 |
| Riohacha, La Guajira | Agosto, 2012 | 23 | 5,64 | 2,82 |
| Universidad Pontificia Bolivariana/EPM | Abril, 2013 | 25 | 6,27 | 3,135 |
| Universidad Pontificia Bolivariana/EPM | Octubre, 2013 | 20 | 4,9 | 2,45 |
| Medellín, Antioquia, pormotora Green S.A.S | Mayo, 2014 | 33 | 7,9 | 4,125 |
| Isla de providencia, posada Indra | Mayo, 2015 | 24 | 6 | 3,35 |
| Santa Catalina, Isla Santa Catalina | Mayo, 2015 | 8 | 2 | 1,05 |
| Isla de providencia, posada Oceanview | Mayo, 2015 | 16 | 6 | 2,21 |
| Pascual Bravo, Medellín | Junio, 2015 | 88 | 22 | 11 |
| Planta BOSI, Itagüí, Antioquia | Marzo, 2017 | 348 | 87 | 38,31 |

Fuente. (Vigoya, 2018)

Se evidencia que el año con mayor capacidad instalada para el sector privado es el año 2017, con 519,72 kWp, comparado con el sector público, esta cifra es significativamente baja, ya que dicho sector representa en el año 2016 la mayor capacidad instalada con 10000,02244 kWp; en consecuencia, en cuanto a implementación de energía fotovoltaica, las instituciones públicas llevan la delantera. Contrario a la afirmación anterior, el sector privado tiene el mayor porcentaje de casos implementados, con el 46% del total de casos estudiados, mientras que el sector público aporta el 45% de implementación de casos y, finalmente, el sector privado

corresponde al 9% de implementación de energía solar fotovoltaica. Se evidencia en el sector una inversión grande en zonas rurales e instituciones educativas, ya que el Estado ha implementado diferentes programas para zonas que no se encuentran interconectadas al servicio de la energía, dentro de este programa se encuentra la iniciativa Luces para Aprender, implementada en escuelas de zonas rurales, principalmente en el departamento de Cundinamarca, y planes de energización rural sostenible (pers), que tienen estudios e implementaciones en: La Guajira, Choco y Tolima(Vigoya, 2018).

Figura 4.

Listado general de las instituciones que implementan energías alternativas en el sector público a nivel nacional

| ENERGÍA SOLAR (ILUMINACIÓN) | | | | |
|--|------------------|---------------------|---------------------------|-------------------------------------|
| INSTITUCIÓN/LUGAR | FECHA | N.º PANELES | CAPACIDAD INSTALADA (KWP) | EMISIONES CO ₂ (TON/AÑO) |
| ITC | Enero, 2016 | 88 | 0,02244 | 11 |
| Jardín Botánico José Celestino Mutis | Noviembre, 2014 | 39 | 9,55 | 3,379 |
| U. Nacional de Colombia | 2015 | 5450 m ² | 0,61 | 0,22 |
| Piamonte, Cauca | Abril, 2015 | 13 | 3,25 | 1,625 |
| Alto Redondo, Cundinamarca | Noviembre, 2013 | 6 | 1,47 | 0,735 |
| Titumate, Choco | Diciembre, 2012 | 6 | 1,5 | 0,75 |
| Fonseca, La Guajira | Marzo, 2012 | 5 | 1,35 | 0,675 |
| Laboratorio de Ciencias de la Energía, Ingeominas, Robledo | Abril, 2014 | 21442 | 5360,45 | 2680,225 |
| El playón, Santander | Marzo, 2012 | 19 | 4,8 | 2,4 |
| Isla Fuerte, Bolívar, Universidad Nacional | Septiembre, 2012 | 4 | 1 | 0,5 |
| Sierra Nevada de Santa Marta, Magdalena | Junio, 2013 | 180 | 45 | 22,5 |
| Aracataca, Magdalena | Mayo, 2013 | 31 | 7,63 | 3,815 |
| Fundación, Magdalena | Abril, 2013 | 48 | 12 | 6 |
| La Mercedes, Magdalena | Abril, 2013 | 27 | 6,67 | 3,335 |
| Valledupar, Cesar | Mayo, 2013 | 13 | 3,28 | 1,64 |
| Rongoy, Cesar | Mayo, 2013 | 6 | 1,45 | 0,725 |
| Palominio, Guajira | Mayo, 2013 | 27 | 6,76 | 3,38 |
| Pueblo Bello, Cesar | Mayo, 2013 | 28 | 7 | 3,5 |
| Manizales, Caldas | Febrero, 2012 | 8 | 2,1 | 1,05 |
| La Guajira | Mayo, 2014 | 8 | 1,96 | 0,98 |
| Bejucales, Cundinamarca | Noviembre, 2013 | 4 | 0,98 | 0,49 |
| Yacopí, Cundinamarca | Noviembre, 2013 | 4 | 0,98 | 0,49 |
| Medina, Cundinamarca | Noviembre, 2013 | 4 | 0,98 | 0,49 |
| Paratebueno, Cundinamarca | Noviembre, 2013 | 4 | 0,98 | 0,49 |
| Palomas, Paratebueno, Cundinamarca | Noviembre, 2013 | 4 | 0,98 | 0,49 |
| Toquilza, Cundinamarca | Noviembre, 2013 | 4 | 0,98 | 0,49 |
| Las Virginiás, Cundinamarca | Noviembre, 2013 | 4 | 0,98 | 0,49 |

Fuente. (Vigoya, 2018)

5.5 Experiencias de implementación de Biomasa en Colombia

El potencial energético de los residuos de poda es mayor (78%) que el resto de RSOU con lo cual Colombia se destaca por contar con gran potencial de biomasa a partir de residuos vegetales, un ejemplo es el departamento de Santander en donde se ha aprovechado los residuos vegetales como el fique generando 15.000 toneladas de residuo (bagazo)/ha sembrada, así mismo, la Cascarilla y el Tamo, que pueden ser utilizados en procesos termoquímicos y biológicos. Se estimó que el potencial energético de los residuos del sector arrocero es de 67.723 TJ/año, proveniente de 5.907.648 Ton/año de residuos. Se mostró la importancia del sector arrocero en Colombia como fuente constante de recursos agrícolas(Patiño Martínez, 2014).

A través de hidrólisis ácida, usando ácido sulfúrico diluido y la hidrólisis enzimática, con enzimas celulosas se analizó los residuos de poda con el fin de generar como producto jarabes glucosados y ser convertidos en bioetanol, estos estudios han sido desarrollados por la Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco, para los procesos mencionados se aplicaron dos metodologías: la primera es hidrolisis enzimática e hidrolisis acida (Patiño Martínez, 2014).

6. Conclusiones

Posterior a la revisión de cada una de las energías, sus ventajas, desventajas y potencial de implementación, se plantea el siguiente cuadro resumen:

Tabla 1. Resumen energías

| Energía | Ventajas | Desventajas | Potencial de implementación en Colombia |
|-------------|--|---|---|
| Mareomotriz | <p>Las mareas permiten producir energía renovable, esta es estable por lo que se permite una planificación y aprovechamiento.</p> <p>El movimiento de las mareas que se produce de forma natural puede ser aprovechado, siendo factible a largo plazo en zonas costeras.</p> | <p>En las zonas micro mareales de la costa es escaso el aprovechamiento que se puede tener.</p> <p>Precios elevados en la inversión causados por la tecnología que se emplea.</p> <p>Las instalaciones de este tipo de energía pueden tardar años en construirse, debido a su tamaño e impacto.</p> | <p>En el Litoral Caribe de Colombia no es posible implementar el aprovechamiento energético con las tecnologías actuales.</p> |
| Solar | <p>La energía del sol, la más abundante de la Tierra, es renovable, inagotable y limpia, y contribuye a la reducción de las emisiones de CO₂ y otros gases de efecto invernadero</p> <p>Favorable para sitios aislados.</p> | <p>Materiales de desecho que quedan en la fabricación de paneles fotovoltaicos, los cuales son tóxicos.</p> <p>Las plantas solares requieren de grandes espacios, lo cual afecta los sistemas ecológicos que en zonas desérticas son de gran fragilidad.</p> | <p>El desarrollo de la energía solar en Colombia es un tema que se ha trabajado en las últimas cuatro décadas lo que indica una amplia experiencia, pero mínima implementación, teniendo en cuenta la poca generación de energía a partir de esta fuente.</p> <p>La ubicación geográfica de Colombia es favorable, en el sentido de que la mayor parte de la radiación recibida en todo el territorio es alta y se mantiene por varias horas en el día. Esto hace que Colombia disponga de un potencial positivo de energía solar. Para futuros proyectos es importante</p> |

| | | | |
|---------|---|--|--|
| | En casos en que es difícil el acceso a la red eléctrica la energía solar es una muy buena opción. | | trabajar las Regiones Insular, Caribe, Andina y Orinoquia, pues estas cuentan con el mayor potencial en el país y pueden resultar técnica y económicamente más viables que las Regiones Amazónica y Pacífica |
| Biomasa | <p>No emite contaminantes sulfurados o nitrogenados, ni apenas partículas sólidas.</p> <p>La producción de biomasa es totalmente descentralizada, basada en un recurso disperso en el territorio, que puede tener gran incidencia social y económica en el mundo rural fósiles.</p> | <p>Poseen menores rendimientos energéticos que los combustibles derivados de los combustibles fósiles.</p> <p>De momento, poseen mayores costes de producción frente a la energía que proviene de los combustibles</p> | Colombia cuenta con un gran potencial en esta energía, ya que cuenta con cultivos que se mantiene por encima del promedio mundial |
| Eólica | <p>Esta energía no contamina, es inagotable y disminuye el consumo de combustibles fósiles.</p> <p>La energía eólica es independiente de cualquier política o relación comercial, se obtiene en forma mecánica y por tanto es directamente utilizable</p> | <p>Por su característica de baja predictibilidad no se permite ser utilizada de forma única.</p> <p>La energía eléctrica producida no es almacenable: es instantáneamente consumida o de lo contrario se pierde</p> | La dinámica de los vientos convierte esta energía en un lugar de incertidumbre lo cual impacta en los precios de la electricidad. Diferentes estudios muestran el gran potencial para la generación de energía eólica lo que permite proyectar la implementación de parques eólicos. |

| | | | |
|------------|--|---|---|
| Geotérmica | Bajo costo, evita dependencia energética. Esta energía en comparación con toras produce menor cantidad de residuos. | Emisión de CO ₂ , con aumento de efecto invernadero. Contaminación de aguas próximas con sustancias como arsénico, amoníaco, etc. | El desarrollo de esta energía en Colombia se puede dar, aunque de forma lenta debido a factores como, los costos en los estudios de explotación y modelamiento del recurso, costos elevados de exploración, acceso limitado a zonas volcánicas, no existe reconocimientos en el mercado de los beneficios, confiabilidad y firmeza del sistema. |
|------------|--|---|---|

Fuente. Construido a partir de (González & Quintero, 2015a), (Banco Interamericano de Desarrollo, 2014), (Ojeda Camargo et al., 2017), (Patiño Martínez, 2014), (Cortés Moreno, 2013)

Esta investigación, realizó un recorrido por las diferentes energías renovables, tal como lo muestra la tabla 1 cada energía es diferente con extremos en sus ventajas y desventajas, así como en su potencial de implementación, entre dichas energías se pueden destacar dos la energía solar y eólica, las cuales se analizan a profundidad en cuanto a su potencial a continuación.

El promedio de irradiación solar en la Costa Atlántica se tiene es cercano al máximo a nivel mundial mostrando así, que el potencial en esta región del País es del 73% respecto a la referencia global. Así mismo, se tiene en cuenta que las variaciones son mínimas en comparación con la medida global y otras regiones del mundo. Por otro lado, datos presentados por el IDEAM muestran que existen 16 lugares en Colombia donde se presentan velocidades del viento importantes para el aprovechamiento con energía eólica. Se destacan la Isla de San Andrés, Isla de Providencia, Gachañeca, Riohacha, Soledad, Cúcuta, Bucaramanga, Bogotá y Santa Marta, con velocidades del viento que oscilan entre 4 y 5 m/s.

Colombia cuenta con un potencial considerable de energía eólica y solar, estas tienen complementariedad con la energía hidroeléctrica y pueden aportar firmeza, ello implica un interesante potencial para diversificar las fuentes de generación reduciendo la vulnerabilidad frente al Cambio Climático manteniendo una baja huella de carbono.

Por tal razón este trabajo propone que la matriz energética de Colombia considere la implementación de forma sustancial de energía eólica y solar, esto ya que zonas como la Guajira

se han convertido en lugares de gran potencial para la implementación de estas energías, al aprovechar estos recursos se disminuye los costos de operación y mantenimiento de las plantas.

La energía eólica complementada con los recursos hídricos permite tener disponibilidad de los beneficios de ambas especialmente al tener en cuenta los cambios climáticos que ocurren en diferentes fenómenos meteorológicos como el Niño y la Niña, y que han sido estudiados en los últimos 10 años. El reemplazo de los combustibles fósiles por estas energías genera un impacto ambiental importante especialmente en el efecto invernadero.

Colombia en diferentes análisis muestra tener un gran potencial en cuanto a la energía solar como lo reporta (Ojeda Camargo et al., 2017) especialmente en los meses de mayo, junio, julio y agosto, siendo la Guajira el de mayor proyección alcanzando producciones en el parque Eólico ‘Jepírachi’ instalado en la región y localizado a los $12^{\circ}12'54,96''$ N y $-72^{\circ}2'29,08''$ O, tiene una capacidad instalada de 19,5 MW de potencia nominal y donde las obras ocupan un área de 4,9 ha.

La energía eólica permite diversificar la matriz energética del país, impactando a largo plazo en los costos y riesgos que se presentan por el racionamiento que a su vez son causados por fenómenos climáticos que impactan a las fuentes hídricas de las cuales se depende actualmente en un 75%. La región caribe se presenta como una región que dispone de recursos que se convierten en una oportunidad para la generación de empleo y activación económica brindando así bienestar a las comunidades de la región. Sin embargo, existen barreras para la implementación como lo son la infraestructura, las limitaciones en la conexión y acceso, participación en mercados mayoristas, aceptación y valoración como una fuente real de producción energética

Diversificar la matriz energética del país es una de las formas de mejorar la eficiencia energética y así enfrentar las situaciones de dependencia social y económica de la población. La generación de energía a partir de otras fuentes, debe contribuir a al desarrollo de los pueblos, a través del diseño de modelos energéticos eficientes confiables y sostenibles y a su vez que garanticen disponibilidad sin importar las circunstancias cambiantes del mercado.

Colombia a pesar de contar con una gran disponibilidad de radiación solar, no es utilizada de la mejor manera. Actualmente existen diferentes dificultades asociadas al aprovechamiento, como lo

son las políticas de desarrollo en las diferentes regiones, las cuales muestran estas energías como costosas y tecnológicamente imposibles, en las cuales la carencia de incentivos y de planificación son motivo de análisis y estudio.

7. Recomendaciones

Se recomienda realizar investigaciones donde se despliegue la utilización de las energías en diferentes tipos de comunidades, comprobando a través de estas los posibles impactos ambientales, económicos y de potencial expansión en los territorios.

De acuerdo a los resultados de esta investigación y las experiencias de implementación ya desarrolladas en el país, se recomienda a través de un estudio internacional y análisis de expertos, se actualice la matriz energética del país dándoles paso a energías como la eólica y solar, las cuales han demostrado ser de gran apoyo a la matriz energética, a las comunidades donde se implementa y con un impacto muy pequeño en lo ambiental.

Así mismos estudios donde se analice el impacto del aprovechamiento energético en las comunidades especialmente en zonas alejadas y no interconectadas, lo anterior requiere de una posición desde los entes gubernamentales alrededor de las energías renovables desde el fortalecimiento de las políticas como desde la generación de incentivos y apoyos hacia las regiones, departamentos y municipios que inicien su implementación.

Colombia muestra un gran potencial para la implementación de energías renovables como la solar y eólica, por lo cual se recomienda al gobierno se explote este potencial, y se entre a liderar este campo, tomando como base las experiencias exitosas de otros países latinoamericanos que comparten características similares con Colombia.

Los retos y posibilidades para el desarrollo de estas energías suponen entender escalas de inversión y análisis, grandes proyectos de generación, escalas locales de desarrollo y zonas no interconectadas, por lo cual se recomienda, realizar dichos análisis de escalada, que le permitan al País, avanzar de depender de la energía hidroeléctrica, la cual puede verse afectada por cambios climáticos, hacia energías como la solar y eólica.

Se recomienda realizar análisis que permitan diferenciar las problemáticas de suministro energético, así como la priorización en la implementación de las energías renovables en las diferentes regiones y comunidades, especialmente en áreas rurales del país, teniendo como premisa que el disponer de energía para el consumo, es una necesidad básica.

Se recomienda que, dentro del análisis sugerido en el párrafo anterior, se considere el desarrollo de las energías renovables como la solar eólica, e incluso Biomasa, de acuerdo con los recursos locales en cada región, lo cual permitirá explotar dichos recursos y disminuir costos.

8. Bibliografía

ALLPE Ingeniería y medio ambiente S.L. (2019). *Energía Mareomotriz y medio ambiente*.

<http://www.allpe.com/documentos/energias-renovables-medio-ambiente/energia-mareomotriz-y-medio-ambiente/>

Arias, G., & Acevedo Sánchez, A. M. (2017). *Estado Actual de la Producción de Energía Geotérmica en Colombia* [Universidad Nacional Abierta y a Distancia].

<https://repository.unad.edu.co/jspui/bitstream/10596/13221/1/1087995573.pdf>

Asociación Paraguaya de energías renovables. (2018). *Historia de la energía renovable*.

<https://aper.org.py/noticias/historia-de-la-energia-renovable/>

Banco Interamericano de Desarrollo. (2014). *Emprendimiento de la energía geotérmica en Colombia | Publications*.

<https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Emprendimiento-de-la-energia-geotermica-en-Colombia.pdf>

Cámara de Comercio de Cali. (2017). *Informe Económicos*.

<http://www.ccc.org.co/file/2017/09/Informe-RC-N12-Centrales-electricas-a-partir-de-biomasa.pdf>

Colino Martínez, R. C. (2010). Fuentes energéticas. *La Nueva Geopolítica de La Energía*, 21–34.

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4548648>

Comisión de Regulación de Energías y Gas-GREG. (2020). *Historia en Colombia* .

<https://www.creg.gov.co/sectores/energia-electrica/historia-en-colombia>

Congreso de la República. (2014). *Ley 1715 de 2014*.

http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1715_2014.html

- Cortés Moreno, P. (2013). *Energía eólica: ventajas y desventajas de su utilización en Colombia* [Instituto de posgrados de Ingeniería].
<https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/10602/Monografía.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cortés, S., & Londoño, A. A. (2017). Energías renovables en Colombia: una aproximación desde la economía. *Revista Ciencias Estratégicas*, 25(38), 375–390.
<https://doi.org/10.18566/v25n38.a7>
- Cunningham, R. (2013). *La energía, historia de sus fuentes y transformación*.
<http://www.cie.unam.mx/~rbb/ERYs2013-1/Historia-Energia.pdf>
- Departamento Nacional de Planeación. (1991). *Programa para la masificación del consumo de gas. CONPES 2571*. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Económicos/2571.pdf>
- Departamento Nacional de Planeación. (1993). *Plan de gas. Documento CONPES 2646*,.
<https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/CONPES/Económicos/2646.pdf>
- Departamento Nacional de Planeación. (2017). *Energy Demand Situation in Colombia*.
<https://www.dnp.gov.co/Crecimiento-Verde/Documents/ejes-tematicos/Energia/MCV - Energy Demand Situation VF.pdf>
- Ecologistas en acción. (2007). *[Fotovoltaica] Impacto ambiental* .
<https://www.ecologistasenaccion.org/10057/impacto-ambiental/>
- Édgar Santoyo, R. M. B.-R. (2010). Energía Geotérmica. *Ciencia*.
https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/61_2/PDF/EnergiaGeotermica.pdf
- Energía limpia. (2017). *Colombia construye su planta más grande de energía solar moderna – ENERGIA LIMPIA XXI*. <https://energialimpiaparatodos.com/2017/04/24/28000/>
- Esteve Gómez, N. (2011). *Energización de las zonas no interconectadas a partir de las energías renovables solar y eólica* [Pontificia Universidad Javeriana].
<https://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/eambientales/tesis121.pdf>
- EVWIND. (2009, October 4). *La energía eólica en Colombia: 40 megavatios eólicos instalados y un potencial desaprovechado y poco estudiado* | REVE Actualidad del sector eólico en

España y en el mundo. <https://www.evwind.com/2009/10/04/la-energia-eolica-en-colombia-40-megavattios-eolicos-instalados-y-un-potencial-desaprovechado-y-poco-estudiado/>

Fundación Energías sin Fronteras. (2012). *Oportunidades de la biomasa para mejorar el acceso local a la energía e comunidades rurales aisladas de América Latina*.

https://www.energiasinfronteras.org/attachments/article/70/GUIA_BIOMASAalta.pdf

García Hernández, L. (2016). *Energía eólica y desarrollo sostenible en la región de la Rumorosa, municipio de Tecate. Un análisis multicriterio* [Colegio de la Frontera Norte].

<https://www.colef.mx/posgrado/wp-content/uploads/2016/12/TESIS-Garcia-Hernandez-Luis-Salvador.pdf>

García, J. J. ;, Pérez, D. ;, Orrego, P., Castaño, M. ;, & Mauro, J. (2016). *Un modelo Casi Ideal de Demanda de Combustibles para la Industria de Transporte* [Universidad EAFIT].

<https://repository.eafit.edu.co/handle/10784/8021>

Garrido, S. (2012). *Energías renovables*.

<http://www.energiza.org/anteriores/energizaenero2012.pdf>

Giraldo O., D. (2017). *El marco normativo de las energías alternativas en Colombia no garantiza su pleno desarrollo* [Universidad Militar Nueva Granada].

<https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/16221/DanielFelpeGiraldoOcampo2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

González, J. R., & Quintero, L. E. (2015a). Energía Mareomotriz: potencial energético y medio ambiente. *Gestión y Ambiente*, 18(2), 121–134.

<https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/46511>

González, J. R., & Quintero, L. E. (2015b). Perspectivas del potencial energético de la biomasa en el marco global y latinoamericano. *Gestión y Ambiente*, 18(1), 179–188.

<http://bdigital.unal.edu.co/65508/1/46348-251252-1-PB.pdf>

Herrera, A., & Quintero, A. (2017). The energy of marine origin and its potential use in Venezuela. *INTERCIENCIA*, 42(6). https://www.interciencia.net/wp-content/uploads/2017/08/393-09-HERRERA-42_6.pdf

Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andrés. INVEMAR.

(2003). *Programa Holandés de Asistencia para estudios en Cambio Climático: Colombia. Definición de la vulnerabilidad de los sistemas bio-geofísicos y socioeconómicos debido a un cambio en el nivel del mar en la zona costera colombiana (Caribe, Insular y Pacífico) y medidas para su adaptación.*

[http://cinto.invemar.org.co/alfresco/d/d/workspace/SpacesStore/c56174c8-83f2-466c-9e12-cf4ae12b3b5b/Programa Holandés de asistencia para estudios en Cambio climático:](http://cinto.invemar.org.co/alfresco/d/d/workspace/SpacesStore/c56174c8-83f2-466c-9e12-cf4ae12b3b5b/Programa%20Holand%C3%A9s%20de%20asistencia%20para%20estudios%20en%20Cambio%20clim%C3%A1tico)

Colombia. Definición de la vulnerabilidad de los sistemas bio-geofísicos y socioeconómicos debido a un cambio en el nivel del mar en la zona costera colombiana (Caribe, Insular y pacífico) y medidas para su adaptación- Resumen ejecutivo.?ticket=TICKET_500897c2136f11bd66d0cc53b0d93ad2c97d6ed7

Instituto Tecnológico de Canarias. (2008). *Energías renovables y eficiencia energética* (Julieta Schallenberg Rodríguez (ed.); Primera Edición). Instituto Tecnológico de Canarias, S.A.

<https://www.cienciacanaria.es/files/Libro-de-energias-renovables-y-eficiencia-energetica.pdf>

Lamigueiro, O. P. (2018). *Energía solar Fotovoltaica*. <https://github.com/oscarperpinan/esf>

Lee, J. S., & Yoo, S. H. (2009). Measuring the environmental costs of tidal power plant construction: A choice experiment study. *Energy Policy*, 37(12), 5069–5074.

<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.07.015>

Lisbeth Correa, V. V. (2012). Impacto ambiental y social generado por la exploración geotermal en el Tatio. *Revista Interamericana de Ambiente y Turismo*, 8(2), 126–132.

López Martínez, G., Arboleda, C. B., & Lora, E. S. (2018). La biomasa residual pecuaria como recurso energético en Colombia. *Visión Electrónica*, 12(2), 180–188.

<https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/visele/article/view/14066/14260>

Ministerio de Minas y Energía. (2015). *Plan energético Nacional Colombia: Ideario energético 2050*. http://www1.upme.gov.co/Documents/PEN_IdearioEnergetico2050.pdf

Ministerio de Minas y Energía, & Unidad de Planeación Minero Energética. (2015). *Informe de gestión UPME 2016*.

https://www1.upme.gov.co/InformesGestion/Informe_gestion_2016.pdf

Molina Galindo, M. (2016). *Diseño de un aerogenerador que permita generar energía eléctrica*

en el colegio Ofelia Uribe de Acosta Comunidad de Yomasa año 2016-3 [Universidad Católica de Colombia]. [https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/14482/1/PROY.GRADO - ENERGIA EOLICA.pdf](https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/14482/1/PROY.GRADO-ENERGIA-EOLICA.pdf)

Moragues, J. (2019). *Aspectos ambientales de la energía eólica*.
<http://www.iae.org.ar/renovables/renovables60.pdf>

Moreno Cortés, P. (2013). *Energía eólica: ventajas y desventajas de su utilización en Colombia* [Universidad Libre].
<https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/10602/Monografía.pdf?sequence=1>

Moreno David, Y. (2015). *Potencial de energía solar a partir de la instalación de paneles fotovoltaicos en fachada, en edificaciones ubicadas en la ciudad de Medellín* [Universidad de San Buenaventura Seccional Medellín].
<https://pdfs.semanticscholar.org/ec95/cc1181873df7a6f20c40e11f7d39b3a0a012.pdf>

Ochoa, C. M., David Hernández Betancur, J., Mauricio, Ó., & Múnera, G. (2012). La valoración de proyectos de energía eólica en Colombia bajo el enfoque de opciones reales. *Cuad. Admon.Ser.Organ*, 25(44), 193–231.

OedCreativo. (2019). *Renovables: historia de cómo han pasado de 'energías alternativas' a ser nuestra única opción*. <https://branded.eldiario.es/energias-renovables-unica-opcion/>

Ojeda Camargo, E., Edwin Candelo Becerra, & Iván Silva Ortega. (2017). Caracterización de los potenciales de Energía Solar y Eólica para la integración de Proyectos sostenibles en Comunidades Indígenas en La Guajira Colombia . *Revista Espacios*, 38(37), 11.
<https://www.revistaespacios.com/a17v38n37/a17v38n37p11.pdf>

Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería Osinergmin. (2017). *La industria de la energía renovable en el Perú: 10 años de contribuciones a la mitigación del cambio climático* (G. de P. y A. E. de Arturo Leonardo Vásquez Cordano, Osinergmin (Editor General en Jefe), P. del C. D. de O. Jesús Francisco Roberto Tamayo Pacheco, & G. G. de O. Julio Salvador Jácome (eds.); Primera edición). Grafica Biblios S.A.
https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Libros/Osinergmin-Energia-Renovable-Peru-10anios.pdf

- Patiño Martínez, P. E. (2014). Biomasa residual vegetal: tecnologías de transformación y estado actual. *Innovaciencia Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 2(1), 45.
<https://doi.org/10.15649/2346075x.255>
- Pérez Naranjo, E., & Agudelo Rojas, F. (2017). *Monografía sobre la implementación de energías alternativas en Puerto Carreño, Vichada* [Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD)].
<https://stadium.unad.edu.co/preview/UNAD.php?url=/bitstream/10596/13758/1/18256626.pdf>
- Pinilla, A., Rodríguez, L., & Trujillo, R. (2009). Performance evaluation of Jepirachi Wind Park. *Renewable Energy*, 34(1), 48–52. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2008.04.015>
- Polo, J. M., & Jorge Sarmiento, A. (2008). Potencial de generación de energía a lo largo de la costa colombiana mediante el uso de corrientes inducidas por mareas. *Revista de Ingeniería*.
<http://www.scielo.org.co/pdf/ring/n28/n28a14.pdf>
- Rincón Martínez, J. M., Hernández, D. M. D., Montoya, O. Q., Carmen S. Duarte González, Guevara, P. O., & Velazquez, M. E. (2018). Disponibilidad de Biomasa Residual y su Potencial para la Producción de Biogás en Colombia. *CIDET*, 16–25.
<http://www.cidet.org.co/sites/default/files/documentos/2-compressed.pdf>
- Rodríguez Murcia, H. (2009). Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas. *Revista de Ingeniería*, 28. <http://www.scielo.org.co/pdf/ring/n28/n28a12.pdf>
- Rudnick, H. (2007). *Energía eólica, la generación eólica*.
<http://hrudnick.sitios.ing.uc.cl/paperspdf/CapituloEolico.pdf>
- Salazar, O., Badii, A. G., & Serrato, O. L. (2015). Historia y Uso de Energías Renovables. *Daena: International Journal of Good Conscience*, 10(1), 1–18.
[http://www.spentamexico.org/v10-n1/A1.10\(1\)1-18.pdf](http://www.spentamexico.org/v10-n1/A1.10(1)1-18.pdf)
- Santiago Vignote Peña. (2016). *La biomasa: Importancia, tipos y características y formas de preparación*.
https://www.researchgate.net/publication/311171316_La_biomasa_Importancia_tipos_y_caracteristicas_y_formas_de_preparacion

- Secretaría Energías Renovables Argentina. (2008). *Energía Biomasa*.
http://www.energia.gov.ar/contenidos/archivos/publicaciones/libro_energia_biomasa.pdf
- Siabato Benavides Catalina. (2018). *Identificación de proyectos con potencial de generación de energía eólica como complemento a otras fuentes de generación eléctrica en el departamento de Boyacá* [Universidad Nacional de Colombia].
<http://bdigital.unal.edu.co/64252/3/1018424888.2018.pdf>
- Snyder, B., & Kaiser, M. J. (2008). Ecological and economic cost-benefit analysis of offshore wind energy. *Renewable Energy*, *34*, 1567–1578.
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2008.11.015>
- Tabassum, A., Premalatha, M., Abbasi, T., & Abbasi, S. A. (2014). Wind energy: Increasing deployment, rising environmental concerns. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *31*, 270–288. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.11.019>
- Torres Parra, R. R., & Andrade Amaya, C. A. (2006). Potencial en Colombia para el aprovechamiento de la energía no convencional de los océanos. *Boletín Científico CIOH*, *24*, 11–25. https://doi.org/10.26640/01200542.24.11_25
- Twenergy. (2019). *Desventajas de la energía mareomotriz que deberías conocer*.
<https://twenergy.com/ecologia-y-reciclaje/curiosidades/desventajas-de-la-energia-mareomotriz-563/>
- Vigoya, L. F. H. (2018). “Caracterización, impacto e implementación de las energías alternativas en Colombia en empresas públicas y privadas. Estudio preliminar.” *Inventum*, *13*(25), 17–28. <https://doi.org/doi:10.26620/uniminuto.inventum.13.25.2018.17-28>
- Walkington, I., & Burrows, R. (2009). Modelling tidal stream power potential. *Applied Ocean Research*, *31*(4), 239–245. <https://doi.org/10.1016/j.apor.2009.10.007>
- XM S.A ESP. (2015). *Descripción del Sistema Eléctrico Colombiano*.
<http://www.xm.com.co/Paginas/Mercado-de-energia/descripcion-del-sistema-electrico-colombiano.aspx>
- Zayre González. (2019). *Desarrollo sostenible y evaluación del impacto ambiental de tres yacimientos geotérmicos con potencial de explotación en México*.

<http://cemiegeo.org/index.php/proyectos/desarrollos-tecnologicos-para-explotacion/p25/9-linea-de-investigacion/proyecto/34-p25>