

**Rol de la energía solar y eólica en la transición energética en Colombia: actualidad,  
perspectivas y retos.**

Christian Camilo Ortegata Escobar

Universidad Nacional Abierta y a Distancia

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente

Bogotá, Colombia

Ingeniería Ambiental

2021

**Rol de la energía solar y eólica en la transición energética en Colombia: actualidad,  
perspectivas y retos.**

Monografía como requisito parcial para optar al título de:

Ingeniero Ambiental

Christian Camilo Ortegata Escobar

Director (a):

MSc Luis Alejandro Duarte Rodríguez

Universidad Nacional Abierta y a Distancia

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente

Ingeniería Ambiental

Bogotá, Colombia

2021

### Dedicatoria.

A mi padre celestial que me ha acompañado, fortalecido y bendecido, en cada uno de los momentos que he necesitado, llenando de amor y esperanza mi andar, un andar con abundancia en salud y sabiduría, logrando así afrontar cada situación que se me ha podido presentar.

A mi familia, quienes han aportado a mi vida motivación para culminar este ciclo de vida.

A Jimena Jaimes, quien ha aportado muchos conocimientos a nivel personal, espiritual y académico, me ha mostrado muchas cosas para las cuales soy bueno; con su ayuda, compañía y paciencia, ha aportado de una manera significativa y eficiente, muchas bases para mi vida personal y profesional.

## **Agradecimientos**

Primeramente, agradezco de una forma sincera al universo por haber conspirado a mi favor, bendiciéndome con una familia maravillosa, una institución con docentes íntegros y bien capacitados, a mis compañeros de aventuras, los cuales entendieron en muchas situaciones, la importancia del tiempo que yo dedicaba a mis estudios y no pude llegar a compartir con ellos.

Seguido a lo anterior, también agradezco a la vida por mantenerme con vitalidad, dándome coraje y valor, para poder vencer los temores y dificultades, que se me pudieron haber presentado en muchas ocasiones, logrando con esto conquistar los objetivos que me he planteado, a punta de una fuerza de voluntad inquebrantable.

## **Resumen**

El presente trabajo es el resultado de una investigación de carácter descriptivo, estudiando el rol y el aumento de la demanda del uso de la energía solar y eólica, en la transición hacia la diversificación de la matriz energética en Colombia. Este estudio describe de manera general la situación actual de las energías renovables a nivel mundial, la capacidad de los mercados energéticos y las características de las Energías Renovables (ER) en el país, determinando las regiones, donde se podrá obtener una mayor potencia para la implementación de parques eólicos y granjas solares, incluso proyectos independientes para urbanizaciones, en Zonas No Interconectadas (ZNI). A partir de una revisión de propuestas actualmente en desarrollo, y proyectos ejecutados a lo largo del territorio nacional, se evidenció la evolución tecnológica que han tenido los proyectos solares y eólicos en el país, determinando los impactos, ventajas y desventajas, durante su implementación. De la misma forma, se establecieron los desafíos que existen para que estas alternativas energéticas sean consideradas con mayor interés por las autoridades competentes. Concluyendo que la energía solar y eólica son una opción viable debido a su fácil desarrollo e implementación.

Palabras clave: Recursos energéticos, Matriz energética, Demanda Energética.

## Abstract

The present work is the result of a descriptive research, studying the role and the increase demand for the use of solar and wind energy, in the transition towards the diversification of the energy matrix in Colombia. This study describes in a general way the current situation of renewable energies worldwide, the capacity of energy markets and the characteristics of Renewable Energies (RE) in the country, determining the regions where greater power can be obtained for the implementation of wind farms and solar farms, including independent projects for urbanizations, in Non-Interconnected Zones (ZNI). Based on a review of proposals currently under development, and projects executed throughout the national territory, the technological evolution that solar and wind projects have had in the country was evidenced, determining the impacts, advantages and disadvantages, during their implementation, in the same way, the challenges that exist so that these energy alternatives are considered with greater interest by the competent authorities were established. All in all, solar and wind energy are a viable option due to their easy development and implementation.

Keywords: Energy resources, Energy matrix, Energy Demand.

## Tabla de Contenido

Resumen	5
Abstract	6
Lista de figuras	9
Lista de Símbolos y abreviaturas	10
Introducción	11
Estado del arte de la investigación	13
Planteamiento del problema	17
Objetivos	19
Justificación	20
Capítulo 1 Energía solar	23
1.1 Energía Solar	23
1.2 La energía solar fotovoltaica	25
1.3 Energía solar térmica	27
1.4 Energía solar térmica de alta temperatura	31
1.5 Aspectos técnicos de la energía solar	32
Capítulo 2 Energía eólica	35
2.1 Energía Eólica	35
2.2 Aspectos Técnicos de la energía eólica	37
Capítulo 3 Marco regulatorio en el país.	41
Capítulo 4 Actualidad de las energías renovables en el mundo y en Colombia	48
4.1 Energías Renovables	48
4.2 Energías Renovables en el Mundo	48
4.3 Matriz Energética Colombiana	52
4.4 Energías Renovables en Colombia	55
4.5 Potencial Solar en Colombia	58
4.6 Potencial Eólico en Colombia	62
Capítulo 5 Perspectivas y retos de las energías renovables en Colombia	66
Capítulo 6 Conclusiones y recomendaciones	71
Bibliografía	74

### **Lista de tablas**

Tabla 1. Irradiación global horizontal media diaria y brillo solar para Colombia.

Tabla 2. Velocidad promedio del viento para Colombia a 50 metros de altura (m/s).

Tabla 3. Proyectos eólicos de Colombia en etapa de estudio en la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) del Ministerio de Minas y Energía de Colombia.

## Lista de figuras

- Figura 1 Funcionamiento de una célula fotovoltaica
- Figura 2 Detalle de funcionamiento de un sistema de circulación forzada
- Figura 3 Detalle de funcionamiento de un sistema de circulación forzada
- Figura 4 Sistemas solares térmicos de alta temperatura conversión de energía solar en eléctrica
- Figura 5 Instalación conectada a la red
- Figura 6 Esquema general de un sistema fotovoltaico
- Figura 7 Partes de un aerogenerador de eje horizontal
- Figura 8 Evolución del tamaño de las turbinas eólicas desde 1980 y prospectiva
- Figura 9 Cambio anual en la generación de energía renovable en el mundo
- Figura 10 Generación de energías renovables en el Mundo
- Figura 11 Localidades con Telemetría en las zonas no interconectadas del país
- Figura 12 Generación de electricidad promedio para el mes de julio de 2020
- Figura 13 Irradiación global horizontal media en kWh/m<sup>2</sup> diaria para Colombia
- Figura 14 Brillo solar para Colombia
- Figura 15 Velocidad promedio del viento para Colombia a 50 metros de altura (m/s)

## Lista de Símbolos y abreviaturas

**CRE:** Certificados de Reducción de Emisiones.

**CREG:** Comisión de Regulación de Energía y Gas de Colombia

**CMNUCC:** Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio climático

**ENS:** Energía no suministrada

**EPM:** Empresas Públicas de Medellín E.S.P

**ERNC:** Energías renovables no convencionales

**FV:** Fotovoltaica

**FENR:** Fuentes de Energías Nuevas y Renovables

**FNCE:** Fuentes no convencionales de energía.

**IPSE:** Instituto Geográfico “Agustín Codazzi”

**MDL:** Mecanismos de Desarrollo Limpio

**PEN:** Plan Energético Nacional

**PMA:** Plan de Manejo Ambiental

**ONU:** Organización de Naciones Unidas

**REDD:** Mecanismos de Reducción de la Deforestación y Degradación

**SDL:** Sistema de Distribución Local

**SIN:** Sistema Interconectado Nacional

**STR:** Sistema de Transmisión Regional

**STN:** Sistema de transmisión Nacional

**UPME:** Unidad de Planeación Minera Energética del Ministerio de Minas y Energía de Colombia

**URE:** Uso Racional y Eficiente de la Energía.

*“Es el aprovechamiento óptimo de la energía en todas y cada una de las cadenas energéticas, desde la selección de la fuente energética, su producción, transformación, transporte, distribución, y consumo incluyendo su reutilización cuando sea posible, buscando en todas y cada una de las actividades, de la cadena el desarrollo sostenible”, (Colombia, 2001).*

**ZNI:** Zonas No Interconectadas.

## Introducción

En la presente monografía se investiga el rol de la energía solar y la energía eólica en la transición hacia la diversificación de la matriz energética en Colombia y para lograrlo, se plantean objetivos enfocados en la identificación de las regiones con mayor potencial solar y eólico, su nivel de integración al Sistema Interconectado Nacional, el reconocimiento del grado de implementación de la energía solar y eólica en el país, los proyectos más importantes desarrollados en torno a estas tecnologías y el estudio de los aspectos técnicos involucrados en la energía solar y eólica, así como los retos a superar para aumentar significativamente su participación en la matriz energética colombiana.

En la investigación documental para efectos del presente trabajo se presenta información obtenida de diferentes fuentes oficiales públicas y privadas, nacionales e internacionales, para brindar la oportunidad de conocer y difundir las alternativas que tiene el país con la implementación de tecnologías de energías renovables solar y eólica.

La importancia de estudiar este tema en particular radica en la necesidad de mantener el funcionamiento de la sociedad y analizar alternativas que ayuden a mitigar el inminente deterioro del planeta por el uso indiscriminado de combustibles fósiles, y el consecuente calentamiento global provocado por su intenso y permanente uso. El crecimiento social y económico de cualquier país dependen del acceso a diferentes recursos energéticos y el uso que se le da a los mismos, todo enmarcado en el compromiso intangible de garantizar para todas las comunidades, el acceso a una energía de calidad, constante, asequible, limpia y sostenible.

La diversificación de los sistemas de obtención, generación y consumo del recurso energético puede brindar diferentes ventajas, al lograr reducir la dependencia a los combustibles

fósiles y a las fuentes de energía convencional, como también contribuir al cumplimiento de los compromisos adquiridos referentes a los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

## Estado del arte de la investigación

En el presente escrito se aborda el tema de la energía solar y eólica, y la transición energética en Colombia, haciendo énfasis en la situación actual, las perspectivas y los retos que esto implica. Se encontraron varios documentos relacionados con este tema de investigación, textos que se caracterizan por describir proyectos desarrollados en diferentes países y también a nivel regional en Colombia, en donde se muestra cómo la implementación de energías renovables como la eólica y la solar pueden diversificar las fuentes de energía en las regiones, mejorar la calidad de vida de las comunidades y disminuir los impactos negativos asociados al entorno.

Se encontraron varios documentos relacionados con este tema de investigación, textos que se caracterizan por describir proyectos desarrollados en diferentes países y también a nivel regional en Colombia, en donde se muestra la manera en la que la implementación de energías renovables, particularmente la eólica y la solar, pueden hacer parte de la diversificación de las fuentes de energía en las regiones, mejorar la calidad de vida de las comunidades y la disminución de los impactos negativos en el entorno.

En el estudio "*Expansión de la red para la integración de ERNC: ¿Oportunidades para América Latina?*", publicado para el Noveno Congreso latinoamericano de generación y transmisión de energía, se expone la importancia de determinar los mecanismos e incentivos necesarios para lograr la expansión de energías renovables no convencionales en cada país, dependiendo de cada mercado y los eventuales impactos a nivel social, económico, sustentable y político. El estudio también resalta la inexistencia de un diseño adecuado y pertinente de

incentivos de la expansión de la red y mecanismos de compensación, lo que podría significar una limitante para una implementación óptima de este tipo de energías, (J.D. Molina, 2011).

Por otro lado, el estudio *“Contribution of Variable Renewable Energy to increase energy security in Latin America: Complementarity and climate change impacts on wind and solar resources”* publicado en el año 2019 por la revista *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, utilizó modelos específicos establecidos para el análisis de la implementación de fuentes de energía complementarias, solar y eólica, demostrándose que estas energías renovables son clave para lograr la seguridad energética en la región. De igual manera, se estableció que Brasil puede jugar un papel importante en la integración de energías renovables en América Latina, (Viviescas, 2019).

En razón a una constante interrupción del servicio eléctrico en la zona de Arbeláez Cundinamarca, se realizó un estudio en el 2017 *“Sistema híbrido fotovoltaico (FV) con integración a la red para zonas rurales de Colombia”*, en el cual se demostró que, la implementación de sistemas fotovoltaicos en zonas rurales del país es una alternativa para disminuir la dependencia a la red interconectada nacional; además esto implica beneficios como el bienestar del usuario, generación de energía eléctrica constante, además de crear conciencia de consumo en los usuarios. La disminución de emisiones de gases efecto invernadero posterior a la instalación de placas solares fue significativa. El sistema instalado estaba conectado a la red, de manera que la fuente principal fue energía originada por las celdas solares y la energía de la red se usó como sistema de respaldo (Ostos, 2017).

Otra investigación realizada en el mismo año (Rúa & Ramírez, 2017) denominada *“Análisis técnico, socioeconómico y ambiental de la electrificación con energía solar fotovoltaica aislada para vivienda rural en Hato Corozal, Casanare, Colombia”*, realizó una

evaluación socio-económica de los grupos familiares de esa área que fueron beneficiados con la instalación de estos sistemas solares fotovoltaicos; Además del análisis técnico de simulación de la operación del sistema con días de sol y días sin sol. Se demostró que la potencia eléctrica obtenida con la implementación de un sistema solar FV 1110 Wp es de 1251 KWh/año, siendo eficiente para cubrir las necesidades energéticas de una vivienda unifamiliar y brindar ventajas en referencia a rentabilidad, aportando con una reducción del 70%, de gases de efecto invernadero por hogar.

Estos artículos tienen en común el beneficio logrado a nivel local con la implementación de fuentes de energía fotovoltaica, demostrando que estos sistemas de energía solar disminuyen la dependencia a la red de interconexión nacional, reduciendo los efectos negativos en el entorno.

En referencia a la energía eólica y solar en el año 2014, fue publicada una investigación titulada "*Evaluación del potencial solar y eólico del campus central de la Universidad Industrial de Santander y la ciudad de Bucaramanga, Colombia*", cuyo objetivo fue realizar un estudio estadístico del potencial solar y eólico para poder evaluar el recurso energético en la ciudad de Bucaramanga. El estudio permitió identificar que el recurso eólico disponible es escaso, presentando velocidad promedio del viento de 1.5 m/s (a 50 m de altura); no demostrando eficiencia para la realización de proyectos eólicos en Bucaramanga.

A diferencia de la energía eólica, el recurso solar demostró ser adecuado para el desarrollo de proyectos de generación fotovoltaica, debido la radiación promedio diaria mínima que va desde 4.60 kWh/m<sup>2</sup> hasta 11.3 kWh/m<sup>2</sup>, que se registra en la zona, mostrando un comportamiento estable durante el año, mejorando el perfil y la eficiencia global de este tipo de sistemas de generación, (Pedro & Vergara, 2014).

Así mismo otro estudio del año 2018, de la Universidad Nacional de Colombia, denominado *“Identificación de proyectos con potencial de generación de energía eólica como complemento a otras fuentes de generación eléctrica en el departamento de Boyacá”*, logró la identificación de oportunidades de desarrollo eólico mediante el planteamiento de parques con aerogeneradores de potencia nominal *“onshore”* en los municipios de Samaca, Tugama y Sugamuxi. Se estableció que todos los proyectos evaluados son viables para aerogeneración autónoma de energía, aunque dependen en gran medida del precio de venta del servicio eléctrico al usuario final en la zona, (Catalina & Siabato, 2018).

Entre todos los artículos e investigaciones mencionadas se puede evidenciar el potencial que las energías alternativas no convencionales, específicamente solar y eólica, representan para los países, vale la pena resaltar que, aunque se deben hacer estudios de factibilidad y viabilidad de proyectos potenciales de implementación de fuentes de generación de energía eólica y solar, los beneficios que se pueden lograr a nivel de acceso a electricidad en la comunidad y protección del medio ambiente tienen parámetros importantes, mencionando también el cumplimiento con la política nacional ante el cambio climático en marco con las Naciones Unidas.

## Planteamiento del problema

El crecimiento demográfico y económico de los países es dependiente del acceso y uso de diferentes recursos energéticos. Actualmente se presenta un gran desafío para los gobiernos debido a la necesidad de dar cumplimiento a uno de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, que establece el compromiso de garantizar el acceso a una energía asequible, fiable, sostenible y moderna para todos en América Latina y el Caribe, (ONU, 2019). La energía debería generarse, de la forma más sostenible posible, para satisfacer las necesidades humanas, mantener y mejorar el funcionamiento de la sociedad y hacer progresar las condiciones de vida, (Wu, 2015)

Colombia cuenta con recursos como gas natural, carbón y petróleo, los cuales son combustibles fósiles y son manejados como fuentes de energía convencional. La disponibilidad de los combustibles fósiles es agotable, en muchas ocasiones el petróleo es vendido a un precio muy bajo, incluso más bajo que el agua y esto se debe a grandes cantidades de volumen que se almacenan y se deben evacuar de forma rápida; su explotación y uso irresponsable afecta las fuentes hídricas, el suelo, el subsuelo y el aire, produciendo contaminación, polución y cambio climático, e intensifica las catástrofes naturales como inundaciones, tormentas tropicales, huracanes, sequías y/o mega incendios.

El recurso energético en Colombia depende en su mayoría de hidroeléctricas y termoeléctricas, lo que involucra la construcción de estructuras y ejecución de proyectos para poder suplir del servicio a las regiones, generando problemáticas como destrucción de ecosistemas, desvío de cauces, deforestación e impactos profundos en las actividades económicas de las comunidades, para el 2050 el escenario puede empeorar descompensando el

ciclo natural de las aguas dulces que recorren el territorio colombiano, (Corradine, 2018).

La variabilidad climática en la franja tropical del océano Pacífico, “*se genera cada cierto número de años por el calentamiento del océano Pacífico, conocido como el Niño y su fase opuesta la Niña*”, (SIAC, 2016) han influido de manera significativa en la eficiencia energética de las hidroeléctricas, por ejemplo, en los años 2015-2016 afectó el sector eléctrico debido al periodo de sequía, los niveles de los embalses disminuyeron significativamente, lo que redujo la capacidad de generación de las plantas hidroeléctricas, (WWF, 2017). La cobertura del servicio de energía no es igual en todos los departamentos, hay poblaciones que no tienen un acceso a energía eléctrica constante y de calidad, lo que indudablemente afecta la calidad de vida y limita notablemente las oportunidades de comunicación, educación y emprendimiento, (Domiciliarios, 2018).

El País ha venido presentando un avance tecnológico para ser más productivo en cuanto al uso de los recursos naturales para la generación de electricidad con eficiencia y descarbonización de las fuentes de energía, proyectando cumplir con el compromiso adquirido frente a los objetivos de desarrollo sostenible, lo anterior se evidencia en el plan energético nacional 2020-2050, (UPME, 2019). Aún con lo anterior Colombia requiere aún superar barreras tecnológicas, financieras y al desconocimiento.

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

Investigar acerca del rol de la energía solar y energía eólica en la transición hacia la diversificación de la matriz energética en Colombia.

### **Objetivos específicos**

Identificar las regiones con mayor potencial solar y eólico y su nivel de integración al Sistema Interconectado Nacional (SIN).

Reconocer el grado de implementación de la energía solar y eólica en el país y los proyectos de mayor significancia desarrollados en torno a estas tecnologías.

Estudiar los aspectos y los retos a superar para aumentar significativamente la participación de la energía solar y eólica en la matriz energética colombiana.

## Justificación

La implementación de energías eólica y solar puede significar una transformación energética y una transición a fuentes de energía sostenible de las que se obtienen bastantes beneficios, siempre teniendo como base la protección medioambiental y la responsabilidad social. El presente escrito busca investigar acerca del rol de la energía solar y la energía eólica en la transición hacia la diversificación de la matriz energética en Colombia, evidenciando la importancia de brindar la oportunidad de conocer y difundir las alternativas que tiene el país con la implementación de estas tecnologías.

Las energías renovables ofrecen ventajas como la emisión nula de gases efecto invernadero (GEI), reducen enfermedades relacionadas con la contaminación, minimizan las cantidades de agua para su funcionamiento, no genera residuos industriales, nucleares o escorias, reducen la necesidad de implementar proyectos hidroeléctricos, evitando inundación y erosión, (Secretaría, 2018).

La posibilidad de acceso a energía limpia y moderna a comunidades remotas, contribuyendo al desarrollo social y económico, tiene gran valor para la sociedad, y en especial para las regiones en las cuales contar con una fuente de energía confiable, traería un profundo avance en calidad de vida, desarrollo económico y sostenibilidad ambiental, (UN, 2016).

La confiabilidad se ha venido ganando con numerosas reservas operacionales que se usan para mantener la frecuencia del sistema, administrando los flujos de potencia dentro de los límites normales y de contingencia, y debido a que la energía solar y eólica pueden proporcionar mercados competitivos con alta velocidad y precisión, siendo más económicos

que los de unidades generadoras convencionales, (Argemiro, 2016).

Reemplazar los combustibles fósiles como recurso energético por fuentes de energía verde, es la acción más importante que se puede tomar para reducir los impactos de la contaminación en la salud humana, (Hemstreet, 2015). La acción climática no es un juego y se debe convertir en un reto, la oportunidad de modernizar el sector energético y construir una economía que no use combustibles fósiles y que siga creciendo por décadas, (McCarthy, 2015).

La diversificación del sistema energético del país, implementando proyectos de energía eólica y solar, genera impactos en las fases de construcción, implementación y desmantelamiento, que comprometen aspectos bióticos (flora y fauna), abióticos (aire, agua, suelo, paisaje, clima) y socioeconómicos (economía local, factores sociales y culturales, los cuales son mínimos en comparación a los proyectos de sistemas tradicionales de energía, (Pasqualino, 2014). De igual manera, está presente la necesidad de incursionar en fuentes alternativas de energía renovable para poder dar cumplimiento a los compromisos adquiridos por el País referentes a los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

El abastecimiento con energías solar y eólica, aparte de ser limpias, sostenibles y renovables, han bajado sus costos de implementación debido a las mejoras en tecnologías, cadenas de suministro más competitivas y experiencias de desarrolladores, desde el año 2010 hasta el 2019, se ha evidenciado una baja en los costos de instalación de energía solar y eólica, acuerdo las noticias emitidas por la ONU la implementación con paneles solares ha disminuido sus costos en un 82%, la energía solar de concentración (ESC) un 47%, la eólica terrestre un 39% y la eólica marina un 29%, alcanzando un promedio global de \$240.35 pesos (m/te) por kilovatio-hora (kWh) la energía solar, por otro lado la eólica terrestre se ubica en 178.89 pesos (m/te), por kilovatio-hora(kWh), (ONU, 2020), siendo más económico que el kWh que se

promedia en el mercado para la fecha de enero de 2021 en Colombia la cual se ubica entre los 300 y 400 pesos dependiendo la ubicación en el territorio nacional. Se estima que la sustitución de 500GW de carbón más costosos por energía solar fotovoltaica y eólica en la tierra para el año 2020 reducirá los costos del sistema de energía hasta en 23000 millones de dólares cada año y reduciría las emisiones anuales en alrededor de 1.8 gigatoneladas (Gt) de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), lo que equivale al 5% del total de las emisiones mundiales de Co<sub>2</sub> en 2019, (ONU, 2020).

Según (interconectadas, 2018) indica que más del 51% del territorio nacional no hace parte de la red de interconexión eléctrica, lo que implica que para un país como Colombia la transición a este tipo de energía eólica o solar podría traer beneficios para todas las regiones que no están interconectadas y que deben por obligación utilizar combustibles contaminantes para poder suplir de energía a las comunidades.

En el año 2019 se buscó realizar una subasta para implementar una revolución en la matriz energética colombiana, obteniendo como resultado la vinculación de 22 empresas comercializadoras que participaron en las subastas de contratación de energía a largo plazo, trayendo más de \$7 billones en inversión, y 6.000 empleos y una reducción del 30% en la tarifa del componente de generación para los usuarios, a mediano plazo, de la mano con una serie de incentivos relacionados con el no pago del IVA, en la adquisición de bienes de capital, créditos del 50% de los impuestos del ICA y GMF pagados durante los años 2019 a 202, extensión del 50% de la deducción fiscal adicional en las inversiones en energía renovables hasta los 15 primeros años, y la exclusión automática del Iva en la adquisición de paneles solares y otros equipos para sistemas solares, (MINERGIA, 2020).

## Capítulo 1 Energía solar

### 1.1 Energía Solar

El sol es la fuente de energía más abundante que se tiene en el planeta tierra, y es básicamente una fuente ilimitada; *“El sol mantiene vivo el planeta emitiendo continuamente una potencia de 62.600 Kilowatts (o Kilovatios, KW) por cada metro cuadrado de superficie. En un periodo de tan sólo dos días, el planeta recibe una cantidad de energía equivalente a todas las reservas probadas que existen de petróleo, gas y carbón o 60 veces el consumo anual de la sociedad humana”*, (Arancibia C, 2010).

La radiación solar llega a nuestro planeta en las siguientes formas: Radiación directa, la cual no encuentra ningún obstáculo en el camino entre el sol y la superficie terrestre, predominante en un día soleado; Radiación difusa, presenta obstáculos en la atmosfera, cambiando su dirección, predominante en días nublados; Radiación reflejada o albedo, es la que se refleja de la superficie, especialmente en zonas de nieve o agua; la suma de estas radiaciones nos indica la radiación global, (Canarias, 2008).

La radiación del sol se puede convertir en electricidad mediante el uso de dispositivos, logrando obtener energía solar concentrada (CSP), utilizando varias tecnologías como cocinas solares, secadoras y calentadores de agua. También mediante un proceso térmico solar directo. E incluso la transformación directa de luz solar a electricidad mediante el uso de paneles fotovoltaicos (El Haggar, 2016). El uso del recurso solar es gratuito, su funcionamiento e instalación no genera ningún tipo de contaminación medioambiental, incluso durante la fabricación de los dispositivos requeridos para su aprovechamiento no generan impactos negativos en la zona de implementación debido a que los paneles fotovoltaicos deben traerse

de otros países, y en la fase de construcción el consumo de agua es temporal, excepto en la fase de mantenimiento, y especialmente en épocas de sequía ya que aumentan la acumulación de polvo, por otro lado en la fase de construcción y desmantelamiento se evidencia impactos significativos en cuanto a las emisiones de gases, partículas, vertidos líquidos, consumo de recursos, generación de residuos y afectación permanente del medio biótico, al igual que en la construcción de edificaciones auxiliares, disminuyendo la capa vegetal, por tal razón se deben implementar en zonas con escasa vegetación para limitar el impacto ambiental, (Pasqualino, 2014).

El aprovechamiento de esta radiación a gran escala se hace con el uso de módulos fotovoltaicos, permitiendo el desarrollo de granjas solares que son proyectos que pueden ser centralizados o descentralizados para generación de energía renovable, limpia y más económica, (E&L, 2017).

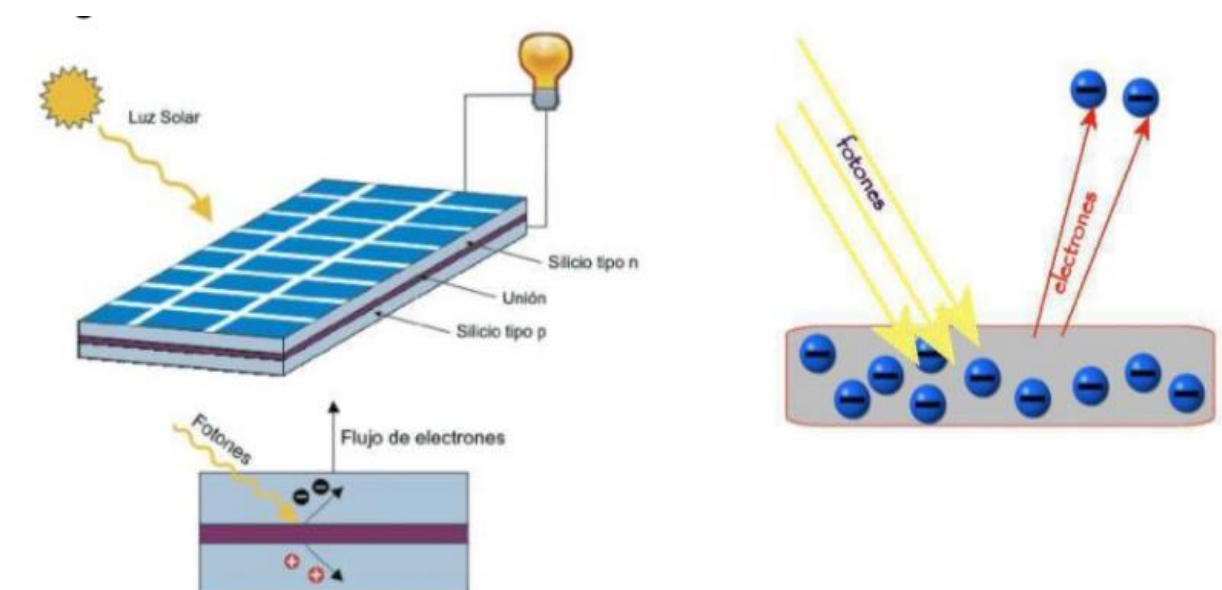
Se debe tener en cuenta la fuerte dependencia meteorológica de este recurso energético, ya que existe una limitante en referencia a las cantidades de radiación obtenidas de acuerdo con los parámetros ambientales, climáticos y geográficos donde se ubican los proyectos, haciendo necesaria la utilización de baterías para almacenar el exceso de energía generada y utilizarla en horarios donde las condiciones atmosféricas no sean suficientes, además de las horas nocturnas, donde la demanda energética es mayor (POLITECNICO, 2017). Existen ubicaciones en latitudes medias y altas como, por ejemplo, Finlandia, Islandia, Nueva Zelanda, el sur de Argentina y Chile, en donde ocurren caídas repentinas de producción de energía, durante los meses de invierno debido a la menor disponibilidad diaria de irradiación solar, (Curitiba, Londres). En Colombia hay regiones de nubosidad constante tales como Tumaco en Nariño, Buenaventura y otras zonas del pacífico, en donde este factor climatológico limita la radiación solar directa,

volviendo poco eficiente el sistema de generación y almacenamiento de energía, en comparación con otras fuentes de energía.

La energía solar se puede aprovechar mediante dos tipos diferentes de tecnologías, a fin de poder hacer un uso aprovechable: Energía solar fotovoltaica y energía solar térmica.

### **1.2 La energía solar fotovoltaica**

La energía eléctrica se puede obtener directamente mediante la transformación de la energía solar utilizando células fotovoltaicas, como se observa en la figura 1, aplicando el efecto fotovoltaico, producido al inducir la radiación solar sobre unos materiales denominados semiconductores, como el silicio, de esta manera se genera un flujo de electrones, creando un hueco en el átomo excitado, posteriormente encuentra otro hueco y rápidamente vuelve a llenarlo, influido por la cantidad de átomos dopantes que se introducen en la estructura atómica del semiconductor, la energía proporcionada por el fotón en el interior del material se transforma en energía eléctrica. Este efecto fotovoltaico se logra mediante varias células fotovoltaicas conectadas entre sí y alojadas en un mismo marco, en forma o serie paralelo, en función de los valores de tensión e intensidad deseados, formando los módulos fotovoltaicos (Canarias, 2008).



**Figura 1.** *Funcionamiento de una célula fotovoltaica, (Hernandez, 2015).*

Nota: Se observa el flujo de la radiación solar con las células fotovoltaicas, interactuando entre los fotones y posteriormente los electrones.

Los paneles fotovoltaicos generan electricidad en corriente continua y sus parámetros característicos (intensidad y tensión) varían con la radiación solar que incide sobre las células y con la temperatura ambiente. Se requieren inversores para poder generar la corriente alterna con las mismas características que la electricidad de la red eléctrica, (Canarias, 2008).

La correcta operación de los módulos fotovoltaicos se mide en condiciones específicas denominadas “estándar”:  $1000\text{W}/\text{m}^2$  ( $1\text{kW}/\text{m}^2$ ) de radiación solar,  $25^\circ\text{C}$  de temperatura de las células fotovoltaicas y AM (Masa de aire) = 1.5. La máxima potencia generada en estas condiciones por cada módulo fotovoltaico se mide en W (vatios pico); a esta potencia se la denomina potencia nominal del módulo, (Canarias, 2008).

El material más utilizado para la fabricación de células fotovoltaicas es el silicio, el cual es un material semimetálico disponible en la tierra por ser abundante, el cual es cortado en pequeños círculos cristalinos, fabricando tres tipos de células de silicio, Silicio monocristalino, silicio policristalino y silicio amorfo; Actualmente se ha venido desarrollando el silicio en bandas y película de silicio, las cuales han demostrado ser más flexibles facilitando su versatilidad,(Canarias, 2008).

Las células de silicio de monocristalino tienen un intenso color negro y sus esquinas recortadas, con una efectividad de 15-25% mayor a los otros modelos, ofreciendo una vida útil de hasta 25 años, dependiendo su mantenimiento (DIARIO\_RESPONSABLE, 2021).

Las células de silicio de policristalinos presentan un color azul oscuro y suelen ser económicos, tienen una pérdida de luz por reflexión, razón que los convierte en menos eficientes y duraderos (DIARIO\_RESPONSABLE, 2021).

Las células de capa fina: no presentan la unión de células individuales, sino de una lámina cortada a medida. El precio de estos paneles es más barato ya que su fabricación es más sencilla, son más flexibles y se adaptan a todo tipo de superficies, (DIARIO\_RESPONSABLE, 2021).

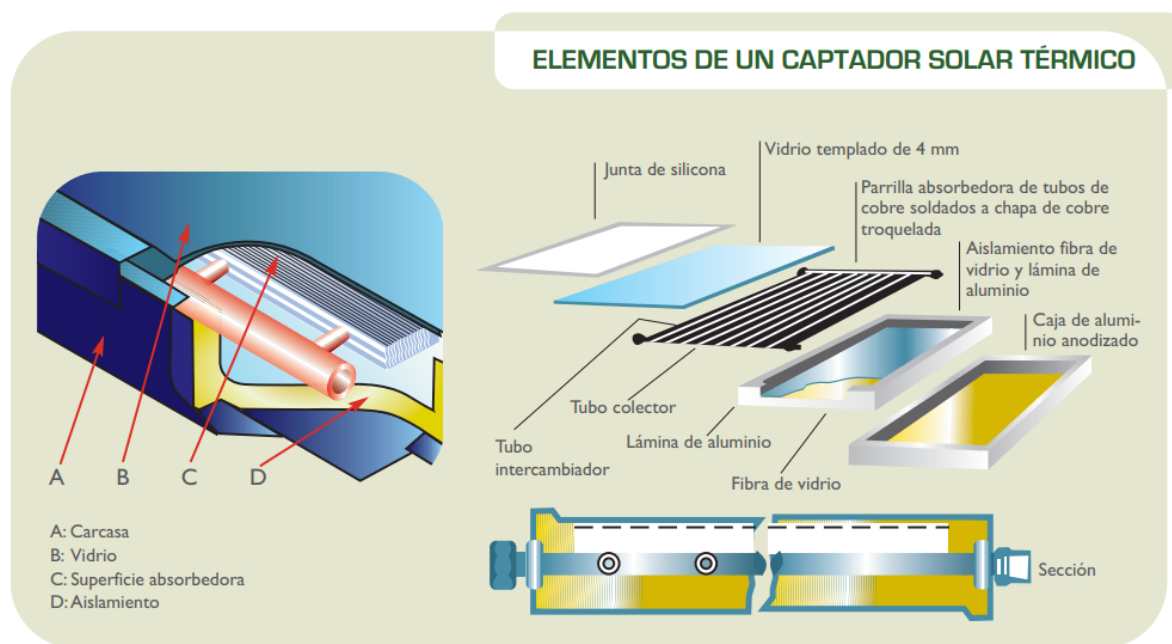
### **1.3 Energía solar térmica**

El aprovechamiento de la energía solar térmica basa su tecnología en la captación de la radiación por medio de elementos denominados colectores o concentradores, los cuales disminuyen las pérdidas de calor y aumentan la energía absorbida y, en algunos casos, cuentan con seguidores de Sol para mejorar este propósito. Estos sistemas están diseñados para proveer energía eléctrica a la red o para usos térmicos de naturaleza industrial, a través de la transferencia

de calor a un fluido térmico; Se destina a suplir grandes demandas y no se utilizan en aplicaciones que requieran bajas capacidades de carga o calor. Los sistemas de calentamiento con colector de placa plana (temperaturas medias) utilizan la radiación solar para su uso directo en diversas aplicaciones como, calentamiento de agua, potabilización de agua y secador solar (POLITECNICO, 2017).

El la figura 2, se observa el detalle de un captador solar térmico o colector solar, el cual basa su funcionamiento en el efecto invernadero: la radiación solar, incide en el vidrio templado frontal el cual es atravesado por los rayos solares, esta radiación es absorbida por una superficie de tubos de cobre soldados a chapa de cobre troquelada, que se calienta, emitiendo calor, la cual no puede atravesar el vidrio, quedando atrapada dentro del colector, contando con un aislamiento en fibra de vidrio y lámina de aluminio que evita las pérdidas de calor, finalmente protegida por una carcasa externa en aluminio anodizado, (Canarias, 2008).

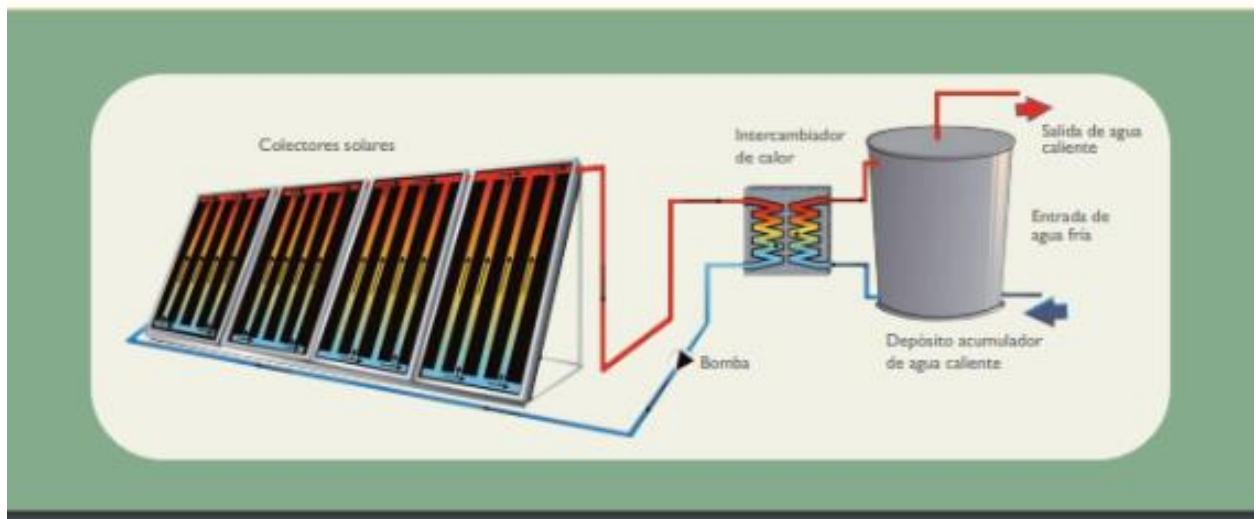
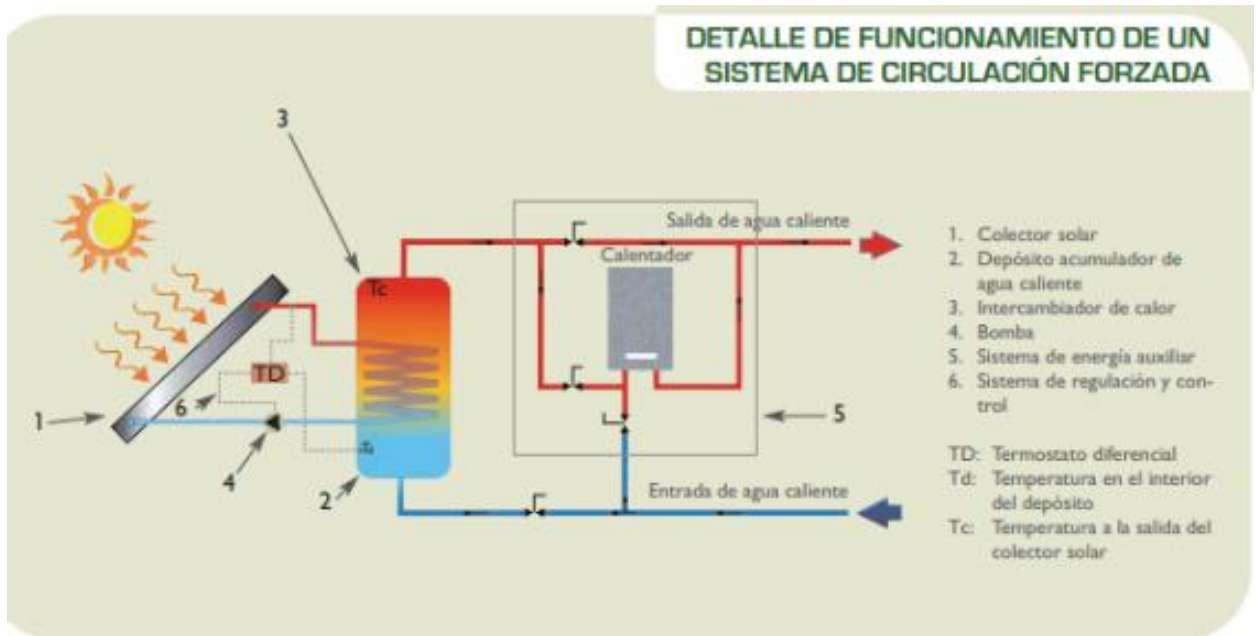
Dependiendo de la temperatura final alcanzada por el fluido a la salida las instalaciones se pueden dividir en temperaturas bajas, las cuales no exigen temperaturas del agua superiores a los 90°C, temperatura media que exigen temperaturas del agua comprendidas entre 80°C y 250°C, y temperaturas altas que son superiores a los 250°C, como es el caso de generación de vapor para la producción de electricidad, (Canarias, 2008).



**Figura 2.** *Detalle de funcionamiento de un sistema de circulación forzada, (Canarias, 2008).*

Nota: Elementos en detalle de un captador solar térmico.

En la figura 3, se observa el detalle de funcionamiento de un sistema de circulación forzada, con cada una de las partes que se requieren así: Captador, formado por varios colectores solares, los cuales deben ser ubicados en la parte más alta de la construcción, orientado a los rayos solares, encargado en la transformación de la radiación solar a energía térmica. El Sistema de acumulación recibe el agua caliente para su posterior uso. El sistema de intercambio se encarga de la transferencia de calor entre los fluidos que circular por los circuitos diferentes. El Sistema de control y regulación se encarga del correcto funcionamiento del conjunto de componentes que conforman el sistema solar térmica, (Ingemecánica, "s.f").



**Figura 3.** *Detalle de funcionamiento de un sistema de circulación forzada, (Canarias, 2008).*

Nota: Detalle de funcionamiento de un sistema de circulación forzada.

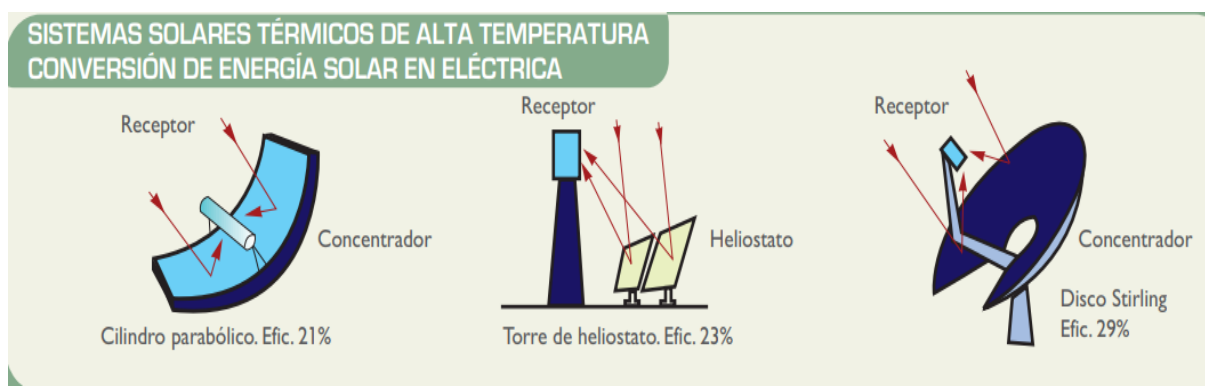
#### 1.4 Energía solar térmica de alta temperatura

E la figura 4, se pueden observar los dispositivos de energía solar térmica de alta temperatura que son utilizadas para generar electricidad, los cuales funcionan mediante la concentración de rayos solares, utilizando un dispositivo de seguimiento solar diario para mayor eficiencia, son más comunes los siguientes tres tipos de tecnologías:

**Sistema solar con torre central receptor con heliostatos:** Constituidos por una serie de espejos que reflejan los rayos solares hacia la torre central, concentrando la radiación solar en un solo punto, alcanzando temperaturas que pueden llegar a los 1000°C, (Canarias, 2008).

**Colectores cilindro-parabólicos:** Consiste en un espejo cilindro-parabólico que refleja la radiación solar sobre el tubo de vidrio dispuesto a lo largo de la línea focal del espejo, alcanza temperaturas de 400°C, alimentando con vapor una turbina convencional que genera energía eléctrica, (Canarias, 2008).

**Discos parabólicos (Stirling):** Están constituidos por espejos parabólicos en cuyo foco se sitúa el receptor solar, se utiliza en su mayoría para producción descentralizada, cercana al lugar de consumo, un disco stirling de 8.5 m de diámetro es capaz de producir 10kW, generando una potencia que va desde 7kW hasta 50 kW, (Canarias, 2008).



**Figura 4.** *Sistemas solares térmicos de alta temperatura conversión de energía solar en eléctrica, (Canarias, 2008)*

Nota: Se observan los sistemas utilizados para generar electricidad

### 1.5 Aspectos técnicos de la energía solar

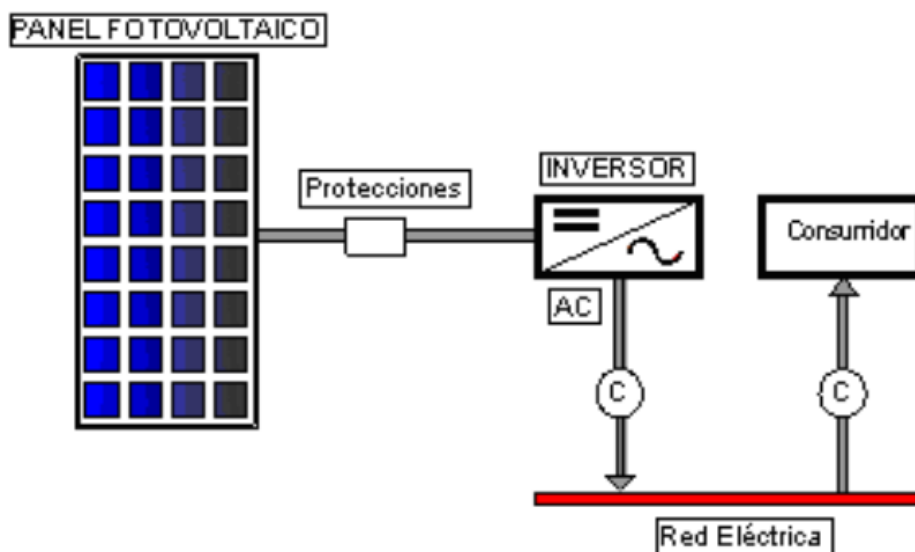
Se requiere conocer y cumplir una serie de parámetros técnicos que son necesarios para la implementación eficiente del uso de la energía solar, los cuales están definidos en la Ley 1715 que regula la generación fotovoltaica a nivel residencial, comercial o industrial. De igual manera, regula el mercado energético en referencia al uso de energía sobrante, su exportación y venta a la red.

La instalación de este tipo de tecnologías esta estandarizada por el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas NTC 2050, sección 690, exigiendo el certificado de conformidad de producto y que la instalación eléctrica sea ejecutada por un profesional competente, (Melendez, 2017b). Adicionalmente, el Departamento Nacional de Planeación y Subdirección Territorial y de Inversiones Públicas, con el Manual de Instalación de Sistemas Solares Fotovoltaicos Individuales en Zonas No Interconectadas, estableció como requisito técnico para la operación

de los sistemas fotovoltaicos, contar con una persona capacitada en el área y así, garantizar el mantenimiento básico de los sistemas instalados y una vida útil de 20 años, (DNP, 2016).

Existen tres sistemas de generación fotovoltaica: Sistemas interactivos o mixtos, sistemas aislados o autónomos y sistemas híbridos (Canarias, 2008), utilizados según las necesidades de la comunidad o la zona del país que lo requiera.

En las zonas que se encuentran interconectadas al SIN, es conveniente la implementación de sistemas interactivos que permitan la conexión con la red local y garanticen una continuidad ante cualquier falla en el sistema, como se muestra en la figura 5, en ocasiones la energía generada por el campo fotovoltaico se entrega directamente a la red general de distribución, no haciendo necesaria la utilización de baterías ni reguladores, componiéndose únicamente de los módulos y del inversor, (Mesa, 2009).



**Figura 5.** *Instalación conectada a la red, (Mesa, 2009).*

Nota. Se observa la instalación conectada a la red eléctrica con los dispositivos necesarios.

En zonas no interconectadas, es necesaria la implementación de sistemas aislados a la red eléctrica, se pueden diferenciar debido a que estos sistemas utilizan baterías que permiten el suministro eléctrico en periodos de poco o nulo aprovechamiento de la radiación solar, dependiendo de la necesidad específica de la región, (Mesa, 2009).

Un sistema fotovoltaico debe tener unos elementos básicos que integran un sistema fotovoltaico los cuales se pueden observar en la figura 6 y se describen a continuación:

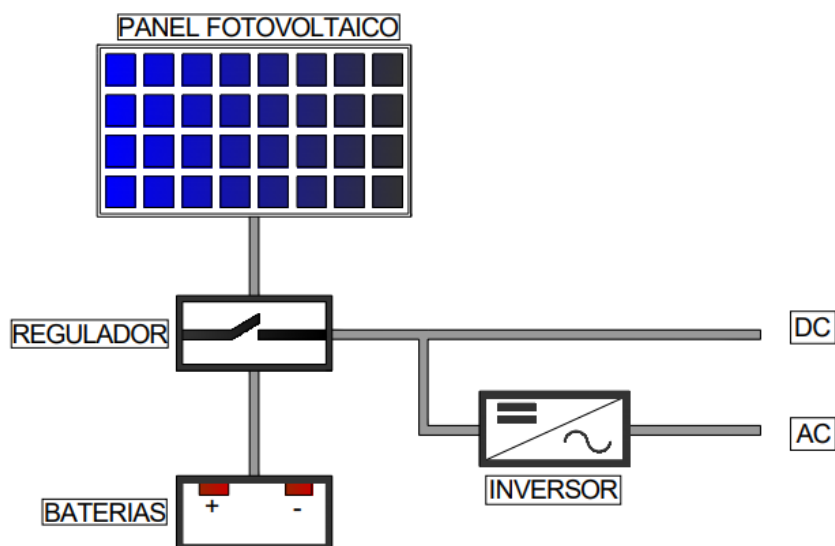
Los paneles solares o fotovoltaico: su función es captar y convertir en corriente eléctrica.

Los inversores (convertidores): encargados de adaptar la corriente continua producida por el generador fotovoltaico a las características eléctricas requeridas por las cargas a alimentar, (Mesa, 2009).

Regulador de carga: encargado de controlar el proceso de carga y descarga de la batería, suspendiendo el paso de la electricidad desde los módulos fotovoltaicos hasta la batería, (Mesa, 2009).

Las baterías (acumuladores): Encargada de almacenar la energía eléctrica generada por los sistemas fotovoltaicos por la naturaleza variable de la radiación solar.

Estos elementos son de fácil mantenimiento, requiriendo únicamente la limpieza del material particulado que pueda caer sobre los cristales, no tienen partes móviles, excepto cuando el sistema es por seguimiento solar, (Melendez, 2017a).



**Figura 6.** Esquema general de un sistema fotovoltaico, (Mesa, 2009)

Nota: Se observa el sistema general de un sistema fotovoltaico, con sus componentes con posible conexión a sistemas de acumulación y sistemas de conexión directa.

## Capítulo 2 Energía eólica

### 2.1 Energía Eólica

La energía eólica tiene su razón de ser y origen en el sol, el cual calienta diferentes zonas del planeta de una forma no continua, provocando el movimiento del aire que rodea la Tierra dando lugar al viento (Canarias, 2008), lo cual se convierte en energía en movimiento, posteriormente transformándose en energía cinética, (AEE, 2019), la potencia del viento impulsa las aspas de los aerogeneradores, transformando la energía cinética en energía mecánica y posteriormente en energía eléctrica. (Canarias, 2008), las aspas deben ser largas o con un diseño de torres a gran altura, garantizando una energía cinética de mayor y mejor calidad. El

funcionamiento de los aerogeneradores no genera emisiones de ningún tipo, evitando el aumento de gases tóxicos causantes del efecto invernadero.

Tienen una disponibilidad para producir energía de un 98% de potencia nominal, evidenciando su eficiencia en horas equivalentes, dividiendo la energía total obtenida por el aerogenerador en un año, entre la potencia nominal del aerogenerador, (Canarias, 2008).

Los proyectos con aerogeneradores requieren únicamente costo de inversión y mantenimiento, ya que el sol y el viento son gratis esto garantiza una energía económica.

En su instalación necesitan menos espacio para producir y acumular la misma cantidad de energía eléctrica, que el que se requiere para una hidroeléctrica. Las áreas utilizadas una vez terminada la vida útil del aerogenerador, pueden ser recuperadas rápidamente sin impactar de manera irreversible la composición y estructura del suelo. No genera contaminación acústica, debido a que los ruidos emitidos por los aerogeneradores son mínimos, siendo directamente proporcional a la velocidad de los vientos. La puesta en marcha y ejecución de proyectos de parques eólicos traen beneficios para las comunidades por la generación de empleo y el suministro del recurso energético a comunidades bastante alejadas, siempre y cuando se encuentren vinculadas al Sistema Interconectado Nacional, de acuerdo con la Ley 1955 de 2019, *“se establece que los recaudos del 1% de las ventas brutas de energía por generación propia serán destinados con el 60%, para inversión de infraestructura en cada uno de los municipios y/o comunidades étnicas ubicadas en la área de influencia del proyecto, con la intención de fortalecer la infraestructura, servicios públicos”* entre otros, (Congreso, 2019).

Por otro lado, existe el riesgo de colisiones de aves contra las aspas de los aerogeneradores, debido a que, las aves concurren o migran por el sitio de ubicación de los parques, (Hoyos et al., 2019), pero se han adoptado medidas para mitigar este fenómeno, como

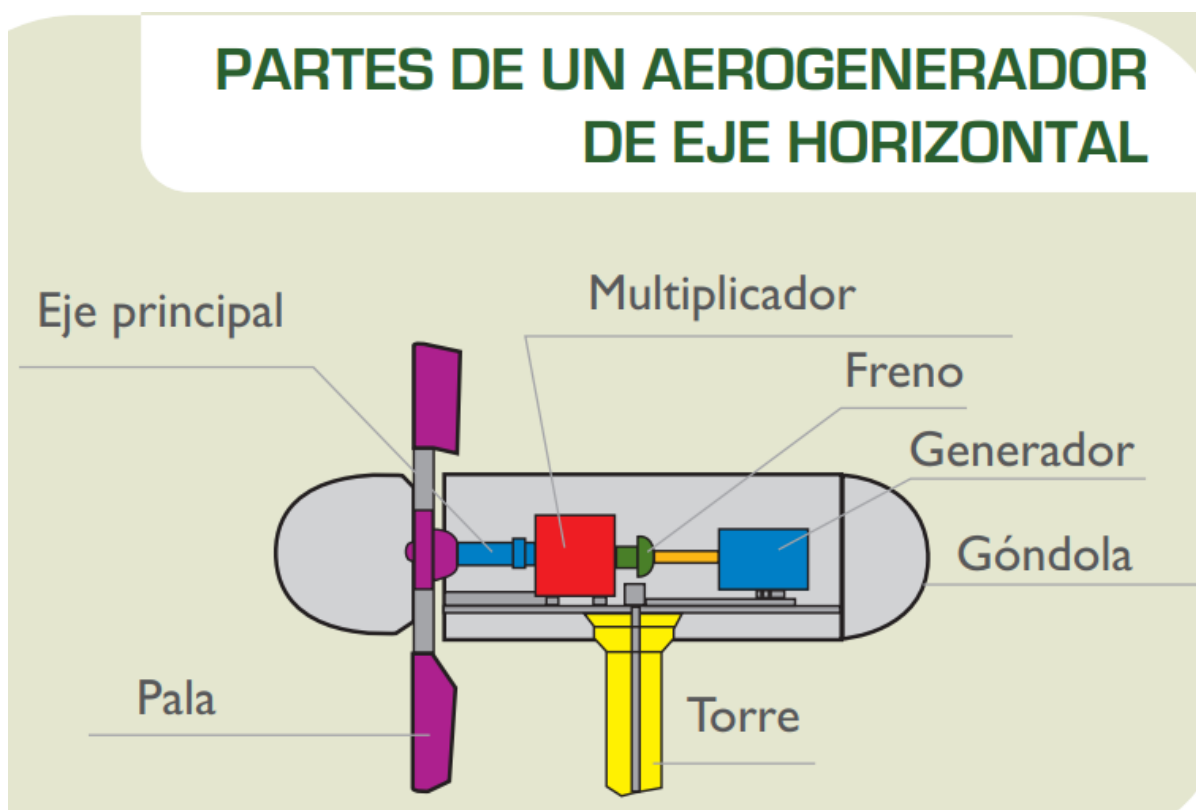
cambiar el color de las aspas de blanco a negro con el objetivo de que las aves vean las aspas, logrando reducir de manera significativa los índices de mortalidad, (cienciaplus, 2020).

Los parques eólicos se pueden dividir en tres, los que están interconectados a la red de forma directa, los de consumo propio y los parques eólicos aislados que se encuentran ubicados en zonas no interconectadas.

La generación de energía eólica depende del comportamiento de los vientos, de la ubicación geográfica y del clima, haciendo necesario que, para obtener la mayor potencia de los vientos, se deban ubicar en la tierra a grandes alturas y sobre el mar. Una de las principales desventajas de estos sistemas, es que los parques eólicos tienen un fuerte impacto paisajístico porque son visibles desde largas distancias. Las alturas promedio de las torres/turbinas oscila entre los 50 y 80 metros, con unas aspas que sobre salen 40 metros más, las cuales contaminan el paisaje.

## **2.2 Aspectos Técnicos de la energía eólica**

Las partes esenciales de un aerogenerador son, el rotor encargado de la transformación de la energía cinética del viento a energía mecánica, la torre utilizada para dar la altura requerida para lograr captar la energía del viento, la góndola encargada de transformar la energía mecánica a energía eléctrica, el multiplicador en donde se transforma la velocidad de giro del rotor en la velocidad de trabajo del generador eléctrico y el generador mecánico en el cual se transforma la energía mecánica en energía eléctrica para ser conducida a través de circuitos o cables hasta el transformador del parque eólico, se pueden observar las partes mencionadas en la figura 7, (Canarias, 2008).



**Figura 7.** Partes de un aerogenerador de eje horizontal (Canarias, 2008).

Nota: Se observan las partes de un aerogenerador de eje horizontal

Existen tres tipos de aerogeneradores que se clasifican según su capacidad de potencia, la cual está parametrizada en rangos de pequeña potencia cuyo límite máximo es 30kW, de mediana potencia entre 30kW hasta 300 kW y de gran potencia que son turbinas generadoras de más de 300kW, utilizadas especialmente para inyectar electricidad a las redes eléctricas. Los aerogeneradores tienen una vida útil de 20 años funcionando del 98% del año. De igual manera se les puede clasificar según el número de palas, los que tienen dos palas se denominan palas bipalas, los que tienen tres palas se denominan tripala y multipala los que tienen más de tres palas. (Canarias, 2008).

La tecnología en el sector eólico ha venido evolucionando con gran rapidez, observando cambios en la longitud de las palas y altura de las torres, las cuales en su inicio tenían una altura que no superaban los 12 metros y rotores de 10 metros, con un rango de potencia entre 2 y 5 MW, pasando actualmente a torres que llegan a los 140 metros de altura con diámetros entre 90 y 132 metros, generando mayor potencia debido al uso más eficiente de la energía cinética del viento, la cual llega hasta los 12 MW, en la figura 8, se puede observar la evolución de las torres en una línea de tiempo.

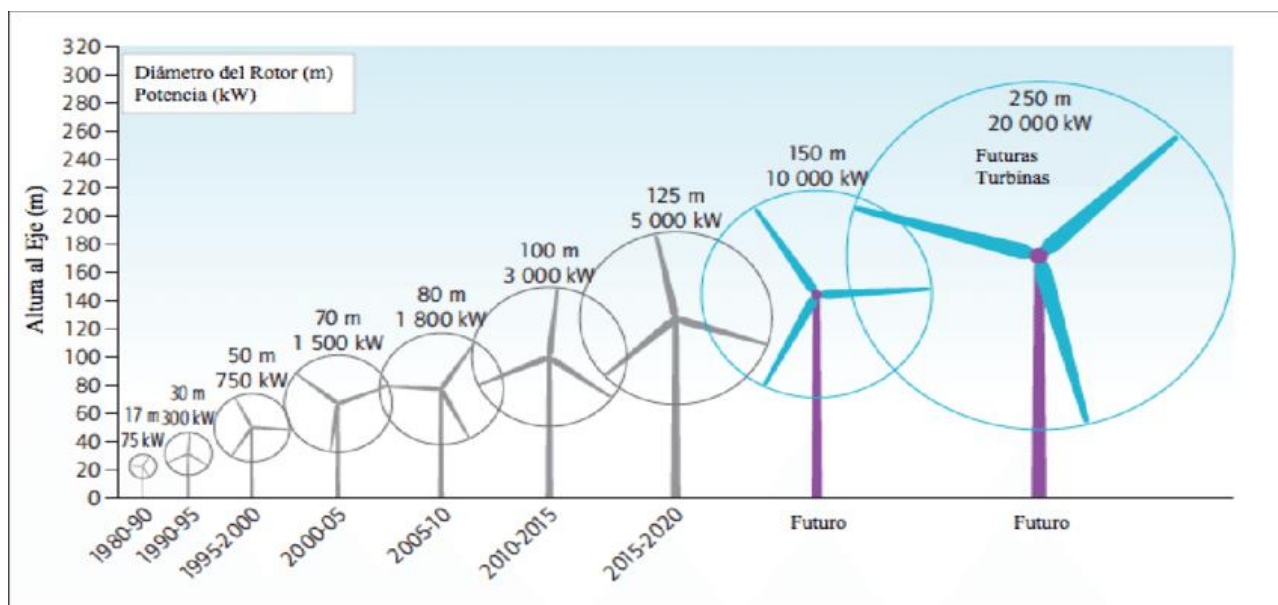
Existen diferentes tipos de aerogeneradores como se describen a continuación:

Los de eje horizontal, el eje que transmite el movimiento de las palas es horizontal o paralelo al suelo, siendo el más predominante en los parques eólicos a nivel mundial, utilizando velocidades del viento entre 3 y 25 m/s.

Los de eje vertical, ubicando el eje de las palas de forma vertical o perpendicular al suelo, presentando la ventaja de poder ser ubicado más cerca entre cada uno ya que ocupan menos espacio, las palas son omnidireccionales no requiriendo un mecanismo de orientación, utilizando el viento de cualquier dirección, presenta el problema que no son de arranque automático, con menor estabilidad, no aprovechan los vientos a gran velocidad y sus palas pueden doblarse con vientos fuertes.

Aerogeneradores sin aspas, fabricados en fibra de carbono produciendo electricidad mediante un efecto físico que tiene lugar cuando el viento choca contra la estructura del mismo, produciendo remolinos alrededor del aerogenerador, generando energía mecánica, posteriormente es transformada a energía eléctrica, estos tienen una longitud que varía entre 25 y 100 metros de altura, (López, 2020).

Por último, tenemos los aerogeneradores offshore, los cuales se ubican en el mar, utilizando la alta eficiencia de los vientos sobre el mar al ser más fuertes y constantes, demostrando ser más rentables este tipo de tecnologías, (Canarias, 2008).



**Figura 8.** Evolución del tamaño de las turbinas eólicas desde 1980 y prospectiva, (Roger, 2015)

Nota: Se observa la evolución que han tenido los aerogeneradores desde el año 1980 hasta la fecha y los que se esperan llegar a tener, en el futuro.

### **Capítulo 3 Marco regulatorio en el país.**

**Referente a la normatividad concerniente al uso de nuevas energías, citamos las siguientes:**

#### **Constitución Política de Colombia 1991**

*“Artículo 80: Aprovechamiento de los recursos naturales”.*

*“Artículo 334: El estado intervendrá en la explotación de recursos naturales.*

#### **Decreto 3683 de 2003**

*“El decreto fomenta el uso racional y eficiente de la energía, de tal manera que se tenga la mayor eficiencia energética para asegurar el abastecimiento energético pleno y oportuno, generando la competitividad en el mercado energético colombiano, la protección al consumidor y la promoción de fuentes no convencionales de energía, dentro del marco del desarrollo sostenible y respetando la normatividad vigente sobre medio ambiente y los recursos naturales renovables”.*

#### **Decreto Ley 3573 de 2011**

*“Se crea la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales – ANLA y se estableció dentro de sus funciones, entre otras, las siguientes”: “1 Otorgar o negar las licencias, permisos y trámites del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, de conformidad con la ley y los reglamentos”*

#### **Decreto 2469 de 2014**

*“Establece el lineamiento político energética en materia de entrega de excedentes de autogeneración.”*

**Decreto 2492 de 2014**

*“Por el cual se adoptan disposiciones en materia de la implementación de mecanismos de respuesta de la demanda”.*

**Decreto 1623 de 2015**

*“Establece la expansión de cobertura del servicio de energía eléctrica en el sistema interconectado nacional y en las ZNI”.*

**Decreto 2143 de 2015**

*“Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo de Minas y Energía”*

**Decreto 348 de 2017**

*“Establecimiento de los lineamientos de política pública en materia de gestión eficiente de la energía y entrega de excedentes de autogeneración a pequeña escala”.*

**Decreto No 0570 del 23 de marzo de 2018.**

*“Por la cual se establecen los lineamientos de política pública para definir e implementar un mecanismo que promueva la contratación de largo plazo para los proyectos de generación de energía eléctrica y que sea complementario a los mecanismos existentes en el Mercado de Energía Mayorista. Adicional se debe procurar el cumplimiento de los siguientes objetivos”:*

- 1. “Fortalecer la resiliencia de la matriz de generación de energía eléctrica ante eventos de variabilidad y cambio climático a través de la diversificación del riesgo”.*
- 2. “Promover la competencia y aumentar la eficiencia en la formación de precios a través de la contratación de largo plazo de proyectos de generación de energías eléctrica nuevos y/o existentes”.*

3. *“Mitigar los efectos de la variabilidad y cambio climático a través del aprovechamiento del potencial y la complementariedad de los recursos energéticos renovables disponibles, que permitan gestionar el riesgo de atención de la demanda futura de energía eléctrica”.*
4. *“Fomentar el desarrollo económico sostenible y fortalecer de seguridad energética regional”*
5. *“Reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) del sector de generación eléctrica de acuerdo con los compromisos adquiridos por Colombia en la Cumbre Mundial de Cambio Climático en París” (COP21).*

**Ley 142 de 1994**

*“Régimen de los servicios públicos domiciliarios”*

**Ley 143 de 1994**

*“Por la cual se establece el régimen para la generación, interconexión, transmisión, distribución y comercialización de electricidad en el territorio nacional, se conceden unas autorizaciones y se dictan otras disposiciones en materia energética”.*

**Ley 697 de 2001**

*“Fomenta el uso eficiente y racional de la energía, a su vez promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones”.*

**Ley 788 de 2002**

*“Incentivos tributarios proyectos MDL”*

**Ley 855 DE 2003**

*“Por la cual se definen las Zonas No Interconectadas”.*

**Ley 1715 de 2014**

*“Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional”.*

**Artículo 11. Incentivos la generación de energías no convencionales.**

*“Como fomento a la investigación, desarrollo e inversión en el ámbito de la producción y utilización de energía a partir de FNCE, la gestión eficiente de la energía, los obligados a declarar renta que realicen directamente inversiones en este sentido, tendrán derecho a reducir anualmente de su renta, por los 5 años siguientes al año gravable en que hayan realizado la inversión, el cincuenta” “(50%) del valor total de la inversión realizada.*

*El valor por este concepto, en ningún caso podrá ser superior al 50% de la renta líquida de la contribuyente determinada antes de restar el valor de la inversión”.*

*“Para los efectos de la obtención del presente beneficio tributario, la inversión causante del mismo deberá obtener la certificación de beneficio ambiental por el Ministerio de Ambiente y ser debidamente certificada como tal por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, en concordancia con lo establecido en el artículo 158-2 del Estatuto Tributario”.*

**Artículo 19. Desarrollo de la energía solar.**

- 1. “La energía solar se considerará como FNCR. Se deberá estudiar y analizar las condiciones propias de la naturaleza de la fuente para su reglamentación técnica por parte de la CREG”.*
- 2. “El Gobierno Nacional a través del Ministerio de Minas y Energía, Ministerio de Vivienda y Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en el marco de sus funciones, fomentarán el aprovechamiento del recurso solar en proyectos de urbanización municipal o distrital, en edificaciones oficiales, en los sectores industrial, residencial y comercial”.*
- 3. “El Gobierno Nacional a través del Ministerio de Minas y energía directamente o a través de la entidad que designe para este fin reglamentará las condiciones de participación de energía solar como fuente de generación distribuida estableciendo la reglamentación técnica y de calidad a cumplir por las instalaciones que utilicen la energía solar, así como los requisitos de conexión, mecanismos de entrega de excedentes, y normas de seguridad para las instalaciones”.*

4. *“El Gobierno Nacional considerará la viabilidad de desarrollar la energía solar como fuente de autogeneración para los estratos 1, 2 y 3 como alternativa al subsidio existente para el consumo de electricidad de estos usuarios”.*
5. *“El Gobierno Nacional, por intermedio del Ministerio de ambiente, y Desarrollo Sostenible determinará los parámetros ambientales que deberán cumplir los proyectos desarrollados con energía solar, así como la mitigación de los impactos ambientales que puedan presentarse en su implementación”.*
6. *“El Gobierno incentivará el uso de la generación fotovoltaica como forma de autogeneración y en esquemas de GD con FNCER”.*
7. *“El Gobierno Nacional a través del Ministerio de Minas y Energía considerará esquemas de medición para todas aquellas edificaciones oficiales o privadas, industrias, comercios y residencias que utilicen fuentes de generación solar. El esquema de medición contemplará la posibilidad de la medición en doble vía (medición neta), de forma que se habilite un esquema de autogeneración para dichas instalaciones”.*

#### **Artículo 20. Desarrollo de la energía eólica**

1. *“La energía eólica se considerará como FNCER. Se deberá estudiar y analizar las condiciones propias de la naturaleza de la fuente para su reglamentación técnica por parte de la CREG”.*
2. *“El Gobierno Nacional a través del Ministerio de Minas y Energía fomentará el aprovechamiento del recurso eólico es proyecto de generación en zonas aisladas o interconectadas”.*
3. *“El Ministerio de Minas y Energía, directamente o a través de la entidad que designe para este fin, determinará requerimientos técnicos y de calidad a cumplir por las instalaciones que utilicen el recurso eólico como fuente de generación”.*
4. *“El Gobierno Nacional, por intermedio del Ministerio de Ambiente, y Desarrollos Sostenible, determinará los parámetros ambientales que deberán cumplir los proyectos desarrollados con energía eólica, así como la mitigación de los impactos ambientales que puedan presentarse en la implementación”.*

**Resolución MADS 186 de 2012**

*“Adopta las metas ambientales del PROURE”*

**Resolución MADS 1283 de 2016**

*“Establece procedimientos y requisitos para la expedición de la certificación de beneficio ambiental por nuevas inversiones en proyectos de fuentes no convencionales de energías renovables y gestión eficiente de la energía para obtener los beneficios de la ley 1715 de 2014”*

**Resolución No 1283 del Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible.**

*“Por la cual se establece el procedimiento y requisitos para la expedición de la certificación de beneficio ambiental por nuevas inversiones en proyectos de fuentes no convencionales de energías renovables – FNCER y gestión eficiente de la energía, para obtener los beneficios tributarios de que tratan los artículos 11, 12, 13 y 14 de la Ley 1715 de 2014 y se adoptan otras determinaciones”*

**Resolución UPME 0281 de 2015**

*“Define el límite máximo de potencia de la autogeneración a pequeña escala”*

**Resolución CREG 024 de 2015**

*“Regula la actividad de autogeneración a gran escala en el SIN”*

**Resolución CREG 179 de 2015**

*“Toma medidas para flexibilizar las conexiones de plantas menores, cogeneradores y autogeneradores al SIN”*

**Resolución UPME 045 de 2016**

*“Procedimiento para certificación a proyectos FNCER para acceder a incentivos tributarios Ley 1715”*

**Resolución UPME 143 de 2016**

*“Registro de proyectos de generación con fuentes no convencionales de energía”*

**Resolución MADS 1312 de 2016**

*“Adopta los términos de referencia para la elaboración del Estudio del Impacto Ambiental -EIA para proyectos eólicos”*

**Resolución MADS 1988 de 2017**

*“Adopta metas ambientales del PROURE según lo regulado por la ley 1715 de 2014”*

**Resolución MADS 2000 de 2017**

*“Define forma y requisitos para presentar ante la autoridad Nacional de Licencias Ambientales- ANLA, las solicitudes de acreditación para obtener el beneficio de IVA de Ley 1715”*

**Resolución CREG 167 de 2017**

*“Define la metodología para determinar la energía en firme de plantas eólicas”*

**Resolución CREG 201 de 2017**

*“Define la metodología para determinar la energía en firme de plantas solares”*

**Resolución CREG 015 de 2018**

*“Establece la metodología para la remuneración de la actividad de distribución de energía eléctrica en el SIN”*

**Resolución CREG 030 de 2018**

*“Reglamenta la autogeneración a pequeña escala y generación distribuida.”*

## **Capítulo 4 Actualidad de las energías renovables en el mundo y en Colombia**

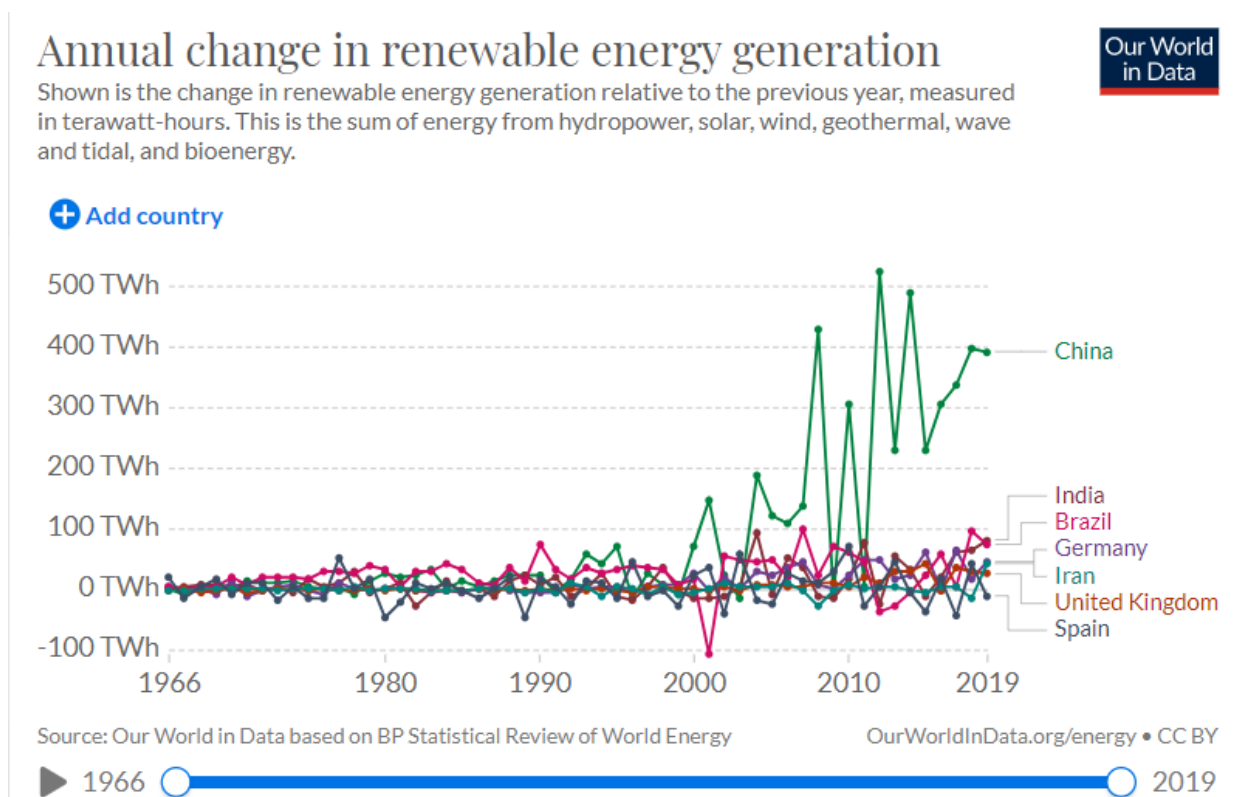
### **4.1 Energías Renovables**

Las energías renovables son inagotables, provienen de la energía que llega al planeta tierra de forma continua, como consecuencia de la radiación solar o de la atracción gravitatoria de la luna (Canarias, 2008), transformando la energía cinética de los recursos naturales, como lo son el sol, el viento, el agua o la biomasa vegetal o animal. Sus principales características son, que no utilizan combustibles fósiles, son capaces de renovarse ilimitadamente, no originan un impacto ambiental irreversible, no emplean recursos finitos y no generan contaminantes (Factorenergía, 2018).

### **4.2 Energías Renovables en el Mundo**

La participación de los recursos renovables en el consumo de energía a nivel mundial aumentó de 1 punto porcentual a 24 puntos en el 2016, lo que señala el crecimiento más rápido desde los años 90. Este aumento se debió a tres factores, el primero fue la recuperación de las sequias en Latinoamérica, lo que permitió un incremento en el funcionamiento de las hidroeléctricas, el segundo en China al obtener un nivel récord en la capacidad de energía eólica, siendo completamente operacional para finales de ese año, y el tercero la rápida expansión de Estados Unidos y China en referencia a energía solar, (SDG7, 2019).

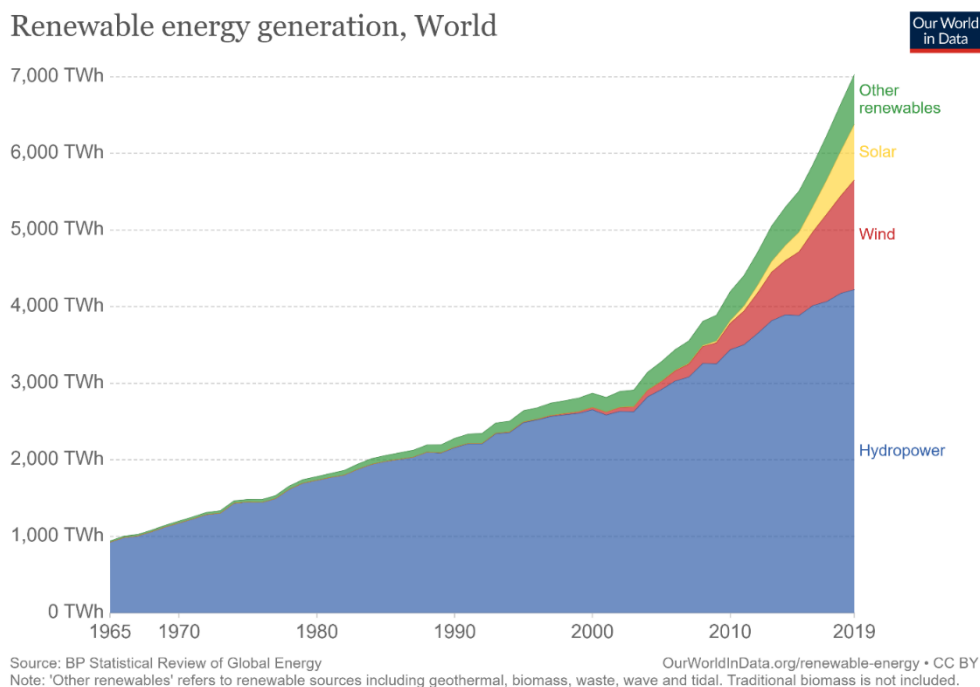
En la figura 9 se evidencia el liderazgo que tiene china a nivel mundial respecto a la generación de energía limpia generada en hidroeléctrica, solar, eólica, geotérmica, undimotriz y mareas y bioenergía.



**Figura 9.** Cambio anual en la generación de energía renovable en el mundo, (Data, 2021).

Nota: “Se muestra el cambio en la generación de energía renovable con respecto al año anterior, medido en Tera vatios-hora. Esta es la suma de energía de energía hidroeléctrica, solar, eólica, geotérmica, undimotriz y mareas y bioenergía”, (Data, 2021).

En la Figura 10 se puede observar el crecimiento que ha tenido desde el año 1965 hasta el año 2019 a nivel mundial, la generación de energías renovables en el Mundo, pasando de 1.000 TWh hasta 7.000 TWh, evidenciando que la energía obtenida de las fuentes hidroeléctricas son la de mayor potencial actualmente, seguidos por la energía eólica y solar, (Rosser, 2020a).



**Figura 10.** *Generación de energías renovables en el Mundo, (Roser, 2020b)*

Nota: Revisión estadística de BP sobre energía global.

Las experiencias de otros países en implementación de energías eólica y solar están demostrando que con esta transformación energética y la transición a energías sostenibles se obtienen bastantes beneficios, siempre teniendo como base la protección medioambiental y la responsabilidad social. Se puede mencionar a Costa Rica, que en 2017 logro que durante 300 días se empleara energía 100% renovable y se consiguió la prohibición del uso de combustibles fósiles y la promoción de los vehículos híbridos o eléctricos y otras alternativas sostenibles. La WWF indica que, ese país, es el ejemplo de éxito en uso de energías renovables más grande en la región de América Central y busca alcanzar una “economía neutra en emisiones de carbono para 2021”, (BBC, 2019) planeando implementar una matriz energética basada en fuentes renovables, a partir de energía eólica, hidroeléctrica, biomasa y solar, (WWF, 2017).

De acuerdo con lo descrito por la CWEA en su informe del 2017, China continúa teniendo la mayor capacidad de energía generada por el viento en el mundo. En el año 2016 fueron instalados 19659 MW de capacidad eólica lo que represento un crecimiento del 15%. La capacidad acumulada es de 188.390 MW conectados a la red, mejorando el abastecimiento de energía en regiones como Hebei, Shandong, Jiangsu, Inner Mongolia y Qingha. El gobierno estableció medidas concretas como la promoción de los mercados transaccionales de energías renovables, la implementación de cuotas energéticas y el aumento de la capacidad de transmisión. Lo que demuestra que ese país está haciendo un gran esfuerzo por disminuir su dependencia a los combustibles fósiles y aumentar su capacidad en renovables, (Association, 2017).

La energía solar es un recurso que también está adquiriendo mucha importancia a nivel mundial, hoy día hay varios países compitiendo por ser los líderes de la industria de la energía fotovoltaica. La capacidad de energía solar ha crecido 60% durante los últimos 5 años, aumentando a una generación de 485.82 GW en 2018. Las dos plantas solares más grandes del mundo se encuentran en China y en Emiratos Árabes Unidos. El primer lugar lo ocupa China con su planta Tengger Desert Solar Park, que está ubicada en Zhongwei, Ningxia y produce 1,547 MW. En segundo lugar, se encuentra la planta Sweihan Photovoltaic Independent Power Project, en Abu Dhabi, y produce 1,177 MW, (Enel, 2019).

### 4.3 Matriz Energética Colombiana

En la actualidad, Colombia cuenta con un Sistema Interconectado Nacional (SIN), creado en los años 60, cuyo objetivo ha sido conectar a cada uno de los sistemas eléctricos regionales del país, interactuando con cada central donde se genera la energía, hasta llegar a cada uno de los hogares y puntos donde se necesite este recurso, logrando así que el país utilice el servicio de energía sin interrupción las 24 horas. A este sistema lo componen aproximadamente 209 plantas de generación (hidráulicas, térmicas, solares, eólicas, cogeneradores y auto generadores) conformando el Sistema de Transmisión Regional (STR). Colombia es responsable de utilizar el recurso hídrico para la generación de energía en grandes porcentajes, pero la ejecución de proyectos hidroeléctricos genera daños e impactos negativos sobre el medio ambiente, (Celsia, 2020).

En Colombia la energía eléctrica puede generarse a partir de diferentes fuentes, entre las más utilizadas están: La hidráulica, la Biomasa, la solar, la eólica y los combustibles fósiles, esta generación se puede clasificar según su principal actividad productiva como:

Cogeneración, combina la energía eléctrica y la energía térmica, cuya actividad principal no es la producción de energía eléctrica, se utiliza en procesos industriales o comerciales, (xm, 2020).

Autogeneración, proceso de producción de energía eléctrica cuya actividad principal es atender el consumo propio y que puede entregar sus excedentes de energía al Sistema Interconectado Nacional, (xm, 2020).

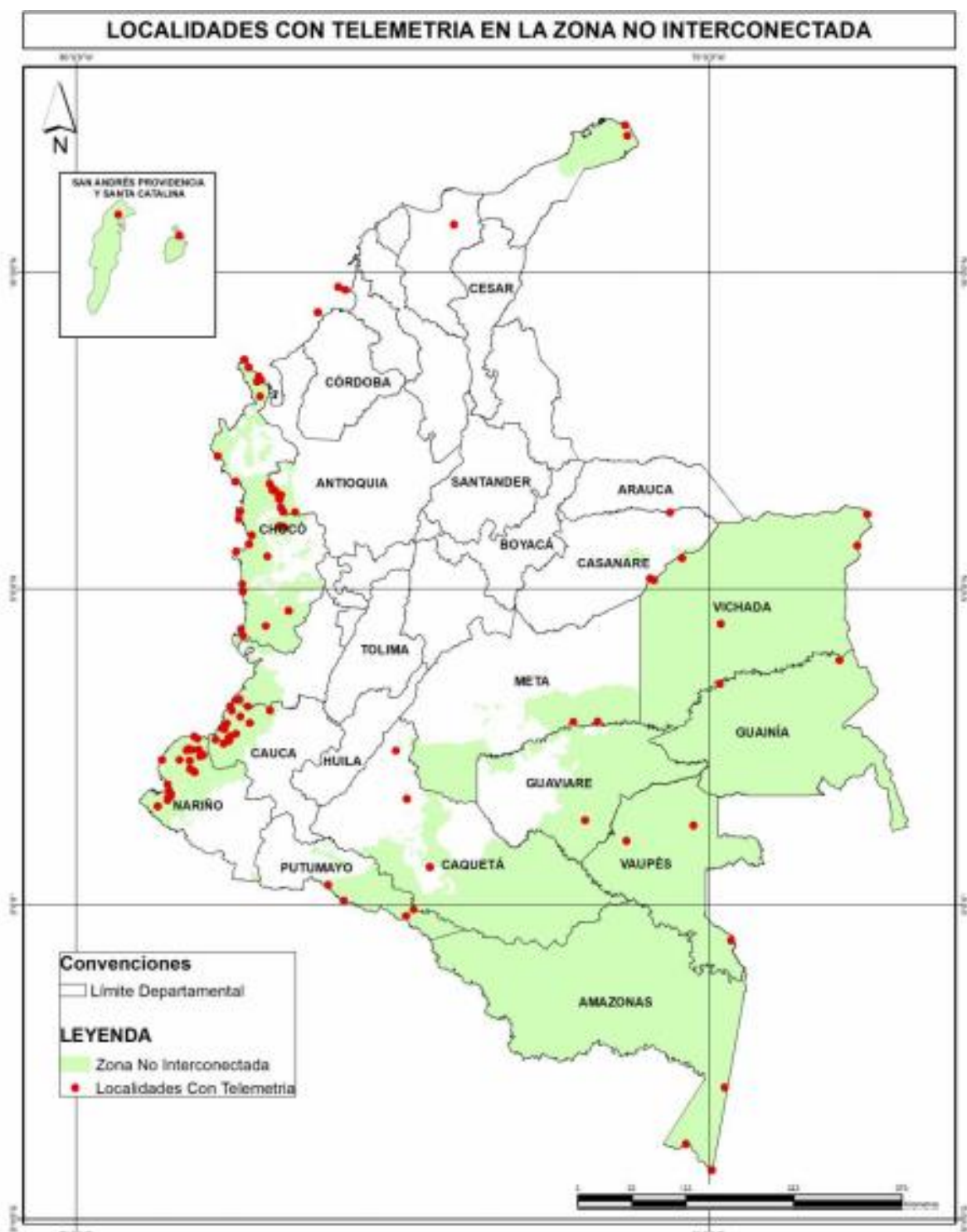
Generación, proceso de producción de energía eléctrica cuya actividad principal es la generación de energía eléctrica, (xm, 2020).

El SIN, está administrado por la empresa XM-Compañía de Expertos en Mercados a

través del Centro Nacional de Despacho (CND). La dirección está a cargo de la Presidencia de la República, a través del Ministerio de Minas y Energía, bajo parámetros de planeación realizados por la Unidad de Planeación Minero-Energética, UPME. La operación está liderada por el Consejo Nacional de Operación, asumiendo también las funciones de ejecutor del reglamento de Operación, y finalmente la operación y liquidación está bajo la dirección de la XM, (Celsia, 2020).

Se debe dejar claro que el acceso a los servicios energéticos no es igual en todas las regiones del país, el 52% del territorio nacional no hace parte de este sistema de interconexión, como se puede observar en la figura 11, donde se muestran la telemetría de Colombia con las zonas no interconectadas, resaltadas en Verde.

En estas regiones las comunidades no tienen un acceso a la energía eléctrica constante y de calidad, lo que indudablemente afecta calidad de vida y reduce notablemente las oportunidades de comunicación, educación y emprendimiento. Las zonas no Interconectadas están definidas y categorizadas en Colombia por el Artículo 11 de la Ley 143 de 1994 y la Resolución 18-2138 de 2007 del Ministerio de Minas y Energía, estableciendo que son zonas *“donde no se presta el servicio público de electricidad a través del Sistema Interconectado Nacional”*, e incluyen vastas regiones del territorio nacional en el Amazonas, la Orinoquia, la costa Pacífica, el choco, el Nariño, y la Guajira, (interconectadas, 2018; IPSE, 2018).



**Figura 11.** Localidades con Telemetría en las zonas no interconectadas del país, (IPSE, 2020).

De acuerdo con el IPSE (2020), en sus informes mensuales de telemetría del año 2020, se puede establecer que la mayoría de las zonas que no están interconectadas cuentan con plantas de energía que funcionan por combustión y proveen el servicio a los pobladores. Para que las plantas funcionen se debe usar combustible Diesel. Indudablemente el uso de los generadores Diesel en esas regiones, está causando un enorme impacto negativo al medio ambiente y a la salud de las personas, lo que hace urgente la necesidad de buscar alternativas, sostenibles, renovables y asequibles que permitirán brindar soluciones energéticas económicas y más limpias. La energía solar y la energía eólica son actualmente una opción viable en muchos países incluido Colombia, (Portafolio, 2016).

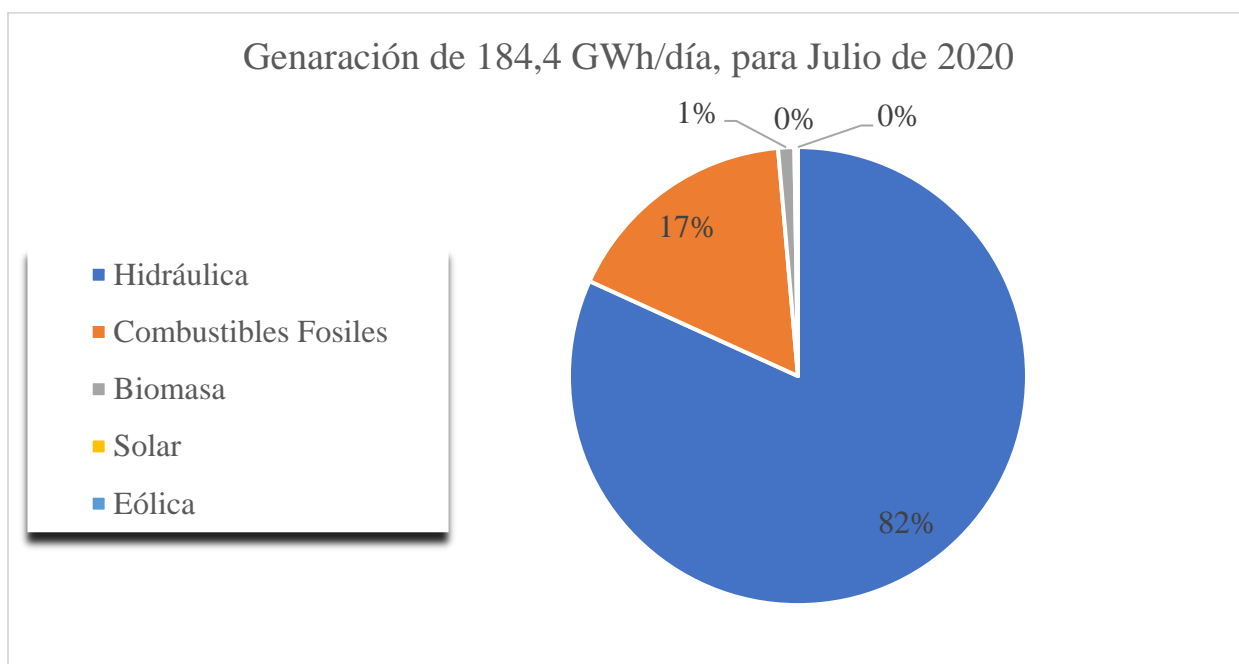
El artículo 9 de la Ley 1715 de 2014, indica que : *“El Gobierno Nacional implementará un programa destinado a sustituir progresivamente la generación con diésel en las ZNI con el objetivo de reducir los costos de prestación del servicio y las emisiones de gases contaminantes;”* para lo cual brinda incentivos a los prestadores del servicio de energía eléctrica, motivando la investigación, el desarrollo y la inversión, en el ámbito de la producción y utilización de energía a partir de fuentes no convencionales, y así lograr la transición paulatina de energías convencionales a no convencionales, (Republica, 2014).

#### **4.4 Energías Renovables en Colombia**

La ONG Greenpeace y el Consejo Global Wind Energy, estiman que a nivel mundial es factible sacar de la balanza eléctrica el 80% de la energía fósil para el año 2050. Esto no está lejos de convertirse en una realidad ya que, para el mes de Julio de 2020, en Colombia la generación promedio diaria de energía fue de 184.4 GWh-día, a lo largo de su territorio nacional, el 83.20% equivalente a 153.4 GWh/día, de la generación fue producida de recursos

renovables y el 16.80% restante, equivalente a 31GWh/día promedio, fue restante de recursos no renovables (xm, 2020).

Como se evidencia en la Figura 12, la mayor participación referente a energías renovables fue la hidráulica con un 98.33%, equivalente a 150.82 GWh/día promedio, seguido de la biomasa con 1.37%, equivalente a 2.11 GWh promedio.



**Figura 12.** *Generación de electricidad promedio para el mes de julio de 2020, (xm, 2020).*

Nota: Se observa en la gráfica el uso de los recursos naturales para la generación de energía en el mes de julio de 2020, en Colombia de auditoría propia.

Esta meta no es difícil de alcanzar, teniendo en cuenta que para el 2022 y el 2023 se contará con el ingreso a la red, de 23 nuevas plantas de generación de energía, entre las cuales se tienen contempladas 12 térmicas, 3 hidráulicas, 6 eólicas y 2 solares, cubriendo la demanda definida por la CREG. Actualmente existen 271 proyectos fotovoltaicos en diferentes etapas de desarrollo, lo que suma 8.855 MW, iniciando su proceso de ejecución desde el año 2018.

El Ministerio de Minas y energía manifestó que para el año 2022, Colombia aumentará 50 veces su capacidad solar y eólica instalada en comparación con la ejecutada para el año 2018, (Molina, 2020), demostrando que, *“Colombia está avanzando a paso firme en la Transición Energética al aumentar su capacidad en fuentes no convencionales de energías renovables de menos del 1% al 12% en la matriz eléctrica para el año 2022. Esto significa que se tendrá más energía proveniente del sol y del viento. Con los incentivos tributarios se impulsarán energías cada vez más limpias, que permitirán complementar las fuentes hídricas y proteger el medio ambiente”*, (Bohorquez, 2020).

El sistema energético de Colombia ha estado presentando un cambio importante en su matriz energética, debido a que las fuentes de energía renovable no hidroeléctrica, principalmente la energía solar y eólica, prometen desempeñar un papel fundamental en la transformación energética, debido a su contribución con la provisión de un sistema resistente, confiable, asequible y limpio. La implementación de energía fotovoltaica y eólica aún se enfrentan a muchas barreras para su despliegue a gran escala y solo representan un insignificante 0.10% de la capacidad instalada en 2018 (Enkhtsetseg, 2020). Por otra parte, el ministro de Minas y Energía aseguró que *“La transición energética de Colombia es una realidad y no la para nadie”* se busca aumentar del 10% al 12% de la capacidad instalada para el año 2022, durante la inauguración de la Granja solar Espinal, (GOV.CO, 2020).

El Plan Energético Nacional 2020-2050, se plantea como objetivo implementar de un 12% a 20% la diversificación energética, para la cual logrará una descarbonización, descentralización y digitalización de las cadenas de valor del sector energético, de igual manera se busca para el 2050 tener una actualización de 44%, una modernización del 44% , una

Inflexión de 46% y una disrupción del 45%, en la eficiencia del uso de fuentes de energías no convencionales, (UPME, 2019).

#### **4.5 Potencial Solar en Colombia**

Las condiciones geográficas y climáticas son inherentemente importantes al considerar fuentes de energías renovables, que son de naturaleza variable o inconstante, tal como ocurre con la energía solar. Los países cercanos a la línea Ecuatorial, como Colombia, tiene una radiación solar promedio más alta que la mayoría de los países de Europa o Norte América, Colombia cuenta con una irradiación global horizontal media diaria anual que va desde 1.0 hasta 7.0 kWh/m<sup>2</sup> día, (IDEAM, 2014).

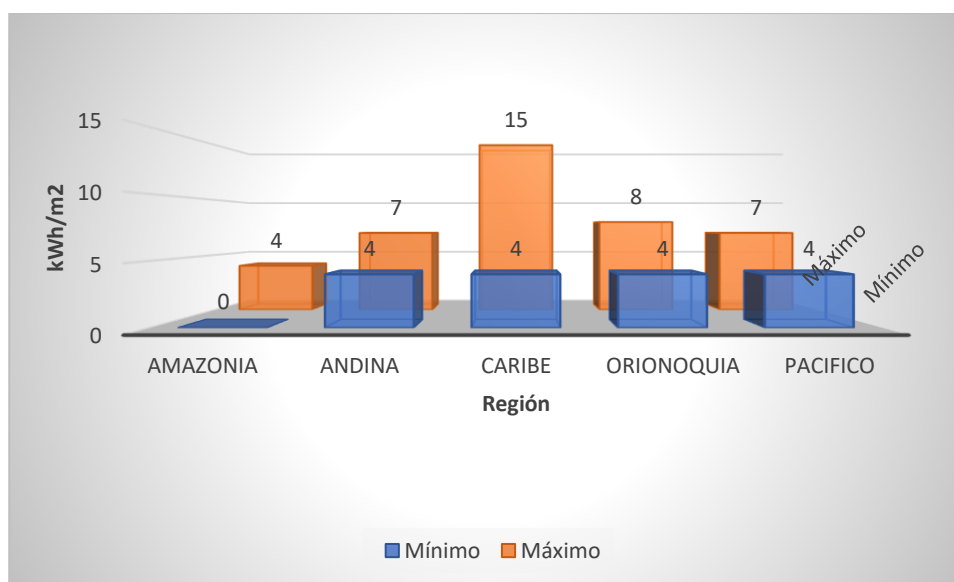
Colombia ha implementado el uso de energía solar, impulsada y administrada por industrias privadas, la energía que se genera por estas plantas eléctricas se entrega al Sistema Interconectado Nacional (SIN); sistema que se encarga de la distribución a los departamentos que se encuentran interconectados por la red en el país, según la demanda requerida. No obstante, no se atienden directamente las necesidades eléctricas de los municipios o departamentos en donde se encuentran ubicadas las centrales proveedoras, ya sean por manejo hídrico, eólico o solar, (Enel, 2019).

La tabla 1 y las figuras 13 y 14 ilustran la relación de irradiación y brillo solar en cada una de las regiones del país.

**Tabla 1.** Irradiación global horizontal media diaria y brillo solar para Colombia, (IDEAM, 2014)

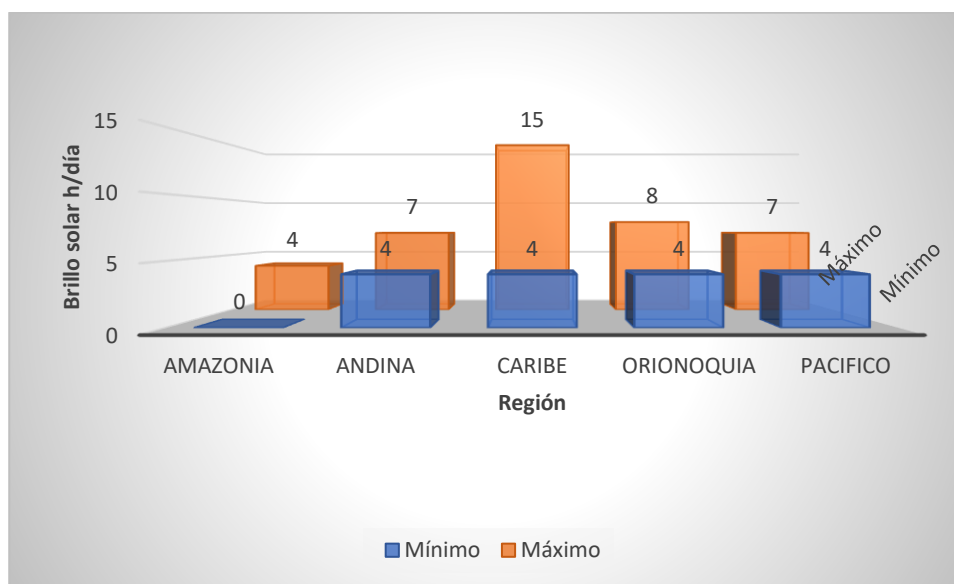
Región de Colombia	Irradiación Global horizontal media en kWh/m <sup>2</sup>	Brillo solar por horas al día
Amazonia	3.5 a 4 kWh/m <sup>2</sup>	4 a 5 h/día
Andina	4 a 5 kWh/m <sup>2</sup>	3 a 5 h/día
Caribe	4 a 6 kWh/m <sup>2</sup>	5 a 8 h/día
Orinoquia	4 a 5 kWh/m <sup>2</sup>	5 a 6 h/día
Pacífico	3 a 4 kWh/m <sup>2</sup>	3 a 4 h/día

Nota: Se evidencia la irradiación Global horizontal media diaria en kWh/m<sup>2</sup>, y brillo solar de acuerdo el cubrimiento por horas, para cada región de Colombia.



**Figura 13.** Irradiación global horizontal media en kWh/m<sup>2</sup> diaria para Colombia, (IDEAM, 2014).

Nota: Se evidencia la irradiación Global horizontal media en kWh/m<sup>2</sup> diaria para cada región de Colombia.



**Figura 14.** Brillo solar para Colombia, (IDEAM, 2014)

Nota: Se evidencia el brillo solar para cada región de Colombia por horas día.

Al realizar el análisis de la información contenida en las tablas se puede observar que la región Caribe, es la zona del país con mayor potencial solar, ya que por sus características geográficas y climatológicas recibe de 4 a 6 kWh/m<sup>2</sup> durante un periodo de entre 5 y 8 horas al día, brindando las mejores condiciones para la realización de proyectos fotovoltaicos en Colombia. Al ser comparado con China, país que tiene una de las plantas solares más grandes del mundo, que recibe una radiación solar de 8 kWh/m<sup>2</sup> y que logra una producción de 1,547 MW, es evidente que en la región Caribe hay posibilidades factibles para explotar el potencial solar.

El grado de implementación de la energía solar puede ser reconocido en algunos de los proyectos instalados de energía solar más importantes, de los cuales se hacen algunos comentarios a continuación:

Las granjas solares, ubicadas en el departamento de Bolívar y del Valle del Cauca, administradas por la empresa Celsia; con una capacidad instalada de 17.86 MW, y un uso de 32.000 paneles solares, y 35.000 módulos fotovoltaicos además de 9 inversores, logrando la generación de 32.04 MWh al año, (Celsia, 2018).

El día 09 de diciembre del 2020 se inauguró la granja solar “Celsia Solar Espinal” en el departamento del Tolima, con un montaje de 35.000 paneles cuya capacidad es de 9.9 megavatios (Mw), con la que se abastecerán 6.000 hogares, reduciendo 194.775 toneladas de CO2 en 25 años, (Suárez, 2020).

El Parque solar Castilla en el Meta, con un área de ocupación de 18 hectáreas, compuesto por 54.500 paneles solares en servicio, cuya capacidad instalada es de 20 megavatios MW, y una producción equivalente a los 115.000 barriles de petróleo por día, (Bohorquez, 2020)

El Parque solar EL PASO, ubicado en el departamento del Cesar, el cual funciona mediante la energía solar fotovoltaica, con un área de ocupación de 210 hectáreas, compuesto por 250.000 paneles solares inteligentes que siguen al sol para maximizar la producción de energía, con una capacidad instalada de 86.2 MW, y con una proyección anual de 176 GWh, evitando alrededor de 100.000 toneladas de CO2 a la atmósfera, respecto al uso tradicional de energías convencionales. Esta planta solar fotovoltaica se encuentra bajo la administración de la empresa Enel Green Power en Colombia, (Enel, 2019)

El parque Solar Bayunca I, ubicado en la ciudad de Cartagena de Indias, con una capacidad instalada de 3.560 MW, utilizando 9.810 paneles solares, generando 7.1 gigavatios hora/año, (GWh/año), cubriendo la necesidad de 4.000 hogares, (GOV.CO, 2020).

Una granja solar instalada en una institución educativa, en el municipio de Jerusalén

Cundinamarca, con una capacidad de 137 paneles solares, ubicados sobre estructuras metálicas, con cuatro inversores para mantener una constante de seis horas de energía sin interrupción en el día, generando una potencia de 330 vatios; resaltando que el tiempo de ejecución del proyecto fue de dos meses, (Barros, 2019).

#### 4.6 Potencial Eólico en Colombia

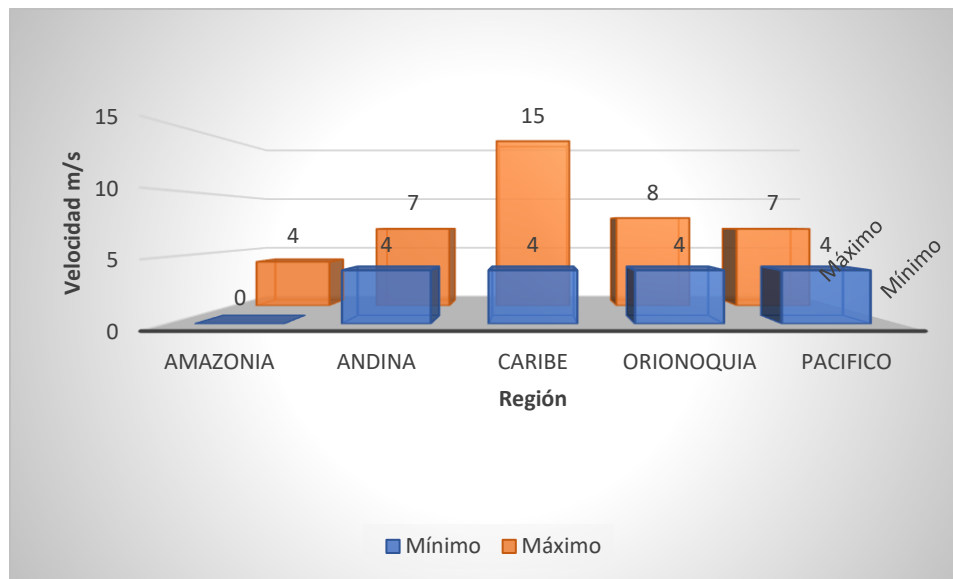
El viento o movimiento de aire es causado por el calentamiento diferencial de la superficie terrestre y la atmósfera, la posición de la Tierra permite que en la zona tropical se reciba más cantidad de energía solar que en los polos, este calentamiento desigual de la superficie terrestre y la atmósfera permite que se desarrollen sistemas de circulación de viento a diferentes escalas, variando también según tiempo y espacio y equilibrando los desbalances de redistribución de energía,(SERNA, "s.f")

La tabla 2 y la figura 15 ilustran la velocidad promedio del viento para Colombia a 50 metros de altura, aclarando que las mediciones se deben realizar a alturas de más de 10 metros para contrarrestar los efectos de las perturbaciones causadas por la fricción con la superficie.

**Tabla 2.** *Velocidad promedio del viento para Colombia a 50 metros de altura (m/s), (IDEAM, 2014).*

Región	Velocidad m/s	
	Mínima	Máxima
<b>Amazonia</b>	0	4
<b>Andina</b>	4	7
<b>Caribe</b>	4	15
<b>Orinoquia</b>	4	8
<b>Pacífico</b>	4	7

Nota: Se muestra la velocidad promedio en metros sobre segundo del viento en las regiones de Colombia.



**Figura 15.** Velocidad promedio del viento para Colombia a 50 metros de altura (m/s), (IDEAM, 2014)

Nota: Se evidencia la velocidad promedio del viento en metros sobre segundo, en cada región de Colombia.

Al realizar el análisis de la información contenida en la tabla se puede observar que la región Caribe, es la zona del país con mayor potencial eólico, ya que por sus características geográficas y climatológicas los vientos tienen una velocidad de entre 4 y 15 m/s brindando las mejores condiciones para la realización de proyectos eólicos en Colombia, es evidente que en la región Caribe hay posibilidades factibles para explotar el potencial eólico.

El grado de implementación de la energía eólica puede ser reconocido con el único proyecto instalado en funcionamiento, llamado Parque eólico de Jepirachi, su construcción

inició el 2002 y se inauguró oficialmente el 21 de diciembre de 2003, con un total de 15 aerogeneradores de marca Nordex N60 con una capacidad de 1.300W cada uno, para una capacidad instalada total de 19.5 MW de potencia nominal, ubicado en el Municipio de Uribia en la alta Guajira colombiana, zona perteneciente al resguardo indígena Wayuu, (EPM, 2010), integrado al sistema interconectado nacional (SIN). Este proyecto tiene una vida útil de funcionamiento hasta el año 2023, después de haber tenido que suspender su funcionamiento desde enero de 2019 hasta Julio 21 de 2020, acatando la resolución No 060, del 20 de junio de 2019, emitida por la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), que modificó el reglamento de operación para las plantas fotovoltaicas de energía solar y eólicas, (MINMINAS, 2019).

En la inauguración de la granja solar “Celsia Solar Espinal”, comentó *“que el objetivo es llevar la generación de energía renovable no convencional (solar-eólica) desde menos de 30 gigavatios hora (Gw/h) mensuales en la actualidad hasta 200 Gw/h mensuales en el 2025. Eso dejaría una generación total al final del año 2025 de 2.273 Gw/h”*, (Suárez, 2020).

Por otra parte, la base de datos del Business News Américas (BNamericas), nos presenta información de los 7 principales parques eólicos, por capacidad de potencia que actualmente se encuentran registrados en la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) del Ministerio de Minas y Energía de Colombia, (bnamericas, 2020), relacionados en la tabla No 3.

**Tabla 3.** *Proyectos eólicos de Colombia en etapa de estudio en la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) del Ministerio de Minas y Energía de Colombia, (bnamericas, 2020).*

<b>Proyecto</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Capacidad Proyectada</b>	<b>Fecha de Finalización</b>	<b>Propietario</b>
<b>Andrea Jusayu</b>	La Guajira	378MW	Diciembre de 2023	Desarrollos Eólicos Uribia
<b>Guajira II</b>	La Guajira	325 MW	Diciembre 2022	Isagén
<b>Alpha</b>	Maicao, La Guajira	212 MW	Junio 2022	Vientos del Norte
<b>EO200I</b>	Uribia, La Guajira	201 MW	Febrero 2023	Empresas Públicas de Medellín
<b>San Martin Energy Green</b>	Piojo, Atlántico	200MW	Enero 2022	San Marin Energy Green
<b>Carrizal</b>	Uribia, La Guajira	195MW	Febrero 2023	Jemeiwaa Kai
<b>Casa Eléctrica</b>	Urubia, La Guajira	180MW	Febrero de 2023	Jemeiwaa Kai
<b>TOTAL</b>		<b>1.681MW</b>		

Nota: Se evidencian los diferentes proyectos que están actualmente en estudio para ser ejecutados en Colombia.

## Capítulo 5 Perspectivas y retos de las energías renovables en Colombia

Aunque la historia de las energías renovables en referencia del marco legal se partió en dos desde el año 2014, con un antes y un después de la ley 1715 de 2014, Colombia ha venido presentando una serie de resoluciones y decretos, los cuales han fortalecido las dificultades de algunas empresas en cuanto a la parte económica, brindando disminución del IVA, en los 15 primeros años del proyecto, disminución de las tasas arancelarias, subastas que van encaminadas para el almacenamiento de la energía para evitar constantes caídas en el suministro de la electricidad al usuario final.

El gobierno debe diversificar su matriz energética con la estimulación e inversión, en la implementación de más proyectos en los que se utilice todo el potencial eólico y solar, en zonas del país donde su ejecución es viable debido a los factores climáticos y geográficos que favorecen la instalación y eficiencia de los sistemas, según la demanda de cada zona, especialmente esas regiones no interconectadas, las cuales generan una necesidad mayor de combustibles fósiles para generar su propia electricidad-

La potencial incursión en proyectos de implementación de energías renovables solar o eólica residencial o industrial es costosa, cuando el usuario decide invertir en este tipo de proyectos de manera independiente, sin contar con el apoyo del gobierno o realizando proyectos no comunales, debido a que la comunidad en general desconoce todos los beneficios y subsidios a los que se tiene acceso y que están estandarizados por la ley 1715 de 2014, la cual incluye todos los incentivos brindados a la inversión en fuentes de energías no convencionales, entre los que se pueden mencionar la reducción de impuesto sobre la renta, la exención de pago de IVA y

de aranceles de importación a todos los equipos, herramientas, maquinaria y materiales destinados a la ejecución de los proyectos.

Existen dificultades técnicas que se pueden llegar a presentar para la implementación de energías renovables solar o eólica, que indudablemente representan obstáculos a la hora de querer incursionar en estos proyectos. Por ejemplo, la falta de personal altamente capacitado en normas de competencia laboral específicas para este tipo de tecnologías, el desconocimiento de los protocolos necesarios para realizar estudios geológicos, topográficos y de suelos en las zonas en las que se van a ubicar los proyectos, la no producción de algunas partes de los equipos de manera local, lo que implica costos y logística para la importación, y la falta de fuentes de alta efectividad para el almacenamiento de la energía producida por el sol y los vientos, ya que al ser energías con alta variación por el clima, se debe garantizar el flujo continuo y evitar intermitencias del servicio.

La transición a energías renovables implica también la obligatoria implementación de proyectos que van a lograr mitigar o reducir los gases de efecto invernadero, estos proyectos se pueden enmarcar dentro de los protocolos de Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL) y/o a Mecanismos de Reducción de la Deforestación y Degradación (REDD) y podrán aportar a la meta nacional de reducción de emisiones, en forma de bonos de carbono. Lo que subsecuentemente lograría el cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible enfocados en garantizar el acceso a una energía asequible, fiable, sostenible y moderna para todos en América Latina y el Caribe, y en adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos, (ONU, 2019).

En el mercado carbono, un bono de carbono es equivalente a una tonelada de CO<sub>2</sub> que ha sido removida de la atmósfera, o que ha dejado de emitirse a ella. Un bono de carbono debe ser

certificado por un ente acreditado y debe cumplir con estándares y metodologías aprobadas. Los proyectos tienen que pasar por una validación para comprobar la cantidad de bonos generados, (Christian Dannecker, 2020).

Por otra parte, uno de los retos a superar en Colombia, en cuanto a la energía eólica, es el emplazamiento, debido a que se requiere tener en cuenta el factor del transporte y la infraestructura necesaria para la instalación, actualmente las aspas requieren ser de mayor longitud para garantizar una eficiencia en su funcionamiento, aspas que están entre los 60 y 70 metros de longitud, esto nos indica que Colombia debe promover este tipo de proyectos cerca del mar, donde su instalación sería más fácil, en cuanto a la implementación de proyectos onshore se observa que el gobierno ha realizado un trabajo bilateral con la empresa Cerrejón, para que el muelle de Puerto Bolívar, el cual estaba siendo solo de uso exclusivo de la empresa, ahora comparta las instalaciones para el descargue de las aspas de los proyectos eólicos que se están llevando a cabo en la región de la Guajira.

En todos los proyectos ya sea de tipo solar o eólico se presenta un reto relacionado con la evacuación de la energía que se pueda llegar a producir, debido a la falta de infraestructura para transportar la electricidad a la red nacional interconectada, para lo cual el gobierno de Colombia se ha comprometido a tener lista la infraestructura necesaria para lograr transportar la electricidad una vez finalicen los proyectos.

Se presenta un reto a nivel social con las comunidades especialmente étnicas de las zonas de los proyectos eólicos en la Guajira, debido a que en los estudios previos se realizan reuniones con poblaciones que existen en el área de influencia, pero cuando se inician los temas de licenciamiento o construcción, muchas comunidades que no son directamente de las zonas de influencia, comienzan una disputa legal para recibir beneficios por el uso de las tierras.

Existe un reto para cualquier empresa que requiera iniciar por primera vez la implementación de energías renovables y está inmerso en la construcción de plataformas de instalación y mantenimiento, adicional con la entrada de nuevos proveedores se denota falta de incentivos tributarios, debido a que lo citado en la ley 1715 no es motivo suficiente para iniciar con la planeación de proyectos, que tengan un retorno a corto plazo.

Colombia y muchos países de la región se enfrentan a retos para aumentar la tecnología que ofrezca una energía constante y eficiente, lo cual está siendo superado con el fortalecimiento del almacenamiento de la energía que se genera con fuentes solar y eólica, lo cual va de la mano con el fortalecimiento de la evacuación o suministro a la red interconectada.

Otro reto se encuentra evidenciado en la demora de los trámites para las licencias ambientales, en relación con la implementación de proyectos eólicos, especialmente en la etapa de la infraestructura eléctrica para la distribución o evacuación de la energía almacenada, esto se ha venido superando actualmente con la implementación de una autorización que dio el gobierno de nombrar a los proyectos renovables, como proyectos de interés nacional estratégico (PINES), lo cual aceleraría todos los trámites administrativos con el ANLA.

En el país la energía solar y eólica, han aumentado su tendencia año tras año, pero la infraestructura vial en Colombia se queda corta, presentando un reto a nivel nacional para el apropiado transporte de las piezas de los parques eólicos, teniendo en cuenta la necesidad de movilizar cargas inseparables con longitudes de hasta 60 metros, extra dimensionadas con diámetros de hasta 6.5 metros y extrapesadas con peso de hasta 170 toneladas; requiriendo vehículos especiales o diseñados para este tipo de carga, presentando una limitación para el transporte y ubicación, de las diferentes partes de los aerogeneradores, lo cual incurriría en una sobre valoración de precios, actualmente se ve reflejado en la Guajira debido a que la línea o vía

que está construida para el transporte del carbón desde el Cerrejón hasta el Muelle de exportación, genera obstáculos para el transporte de los aerogeneradores, muchas veces cruzándose entre sí, y se pone en riesgo la continuidad del trabajo de la refinería, adicional estas vías solo tienen 2 carriles, bidireccionales limitando la movilización de grandes cargas.

## Capítulo 6 Conclusiones y recomendaciones

Colombia tiene vientos de talla mundial y radiación solar que se prestan para generar un gran potencial de energía no convencional, actualmente la guajira presenta la mayor opción para proyectos eólicos, pero el gobierno tiene que suplir la necesidad existente para poder evacuar la energía que se genera, debido a la falta de integración con la red, por falta de infraestructura.

Las energías renovables basadas en los recursos eólico y solar han aumentado a nivel mundial su potencial instalado, beneficiando a la población y al entorno y buscando también la disminución de los gases de efecto invernadero que cada proyecto obtiene. No obstante, a nivel mundial no todos los países cuentan con los requerimientos para instalar estos proyectos, debido a su ubicación geográfica y condiciones meteorológicas.

Colombia ha incrementado el uso y ocupación de sus suelos, como consecuencia de los avances tecnológicos, el aumento de la población y el crecimiento del sector industrial, generando un crecimiento significativo en la demanda energética del país, lo que implica que la matriz energética existente no está en la capacidad de proveer la adecuada prestación del servicio a todas las regiones del país, demostrando la necesidad urgente de un cambio en su operación y forma de obtención de la energía.

Los mapas de radiación solar y velocidad del viento ubican a Colombia como un país con un gran potencial para la implementación de la energía solar y eólica especialmente en la región del Caribe, donde se alcanzan vientos de hasta 15 m/s y una radiación solar de hasta 6 kWh, brindando posibilidades factibles para explotar estos recursos.

Se puede evidenciar que actualmente Colombia cuenta con un proyecto en operación de energía eólica y siete en estudio de viabilidad, ubicados en un 99 % en la región de la Guajira y

un 1% en la zona del Atlántico, con lo que se espera proveer con un total de 1,681 GW, a la matriz energética del país, una vez inicie el proceso de operación de los proyectos.

En cuanto a los proyectos de energía solar, Colombia ha implementado un formato para efectuar fácilmente el diseño y determinar la viabilidad de los proyectos solares en todo el territorio nacional, evidenciado principalmente en los proyectos que actualmente están en fase de aprobación en el Ministerio de Minas y Energía.

Al ser viable la ejecución y puesta en marcha de los proyectos que actualmente se encuentran en proceso de estudio en el país, relacionados con energía solar y eólica, la matriz energética aumentaría su capacidad de provisión del servicio, disminuyendo potencialmente los precios de generación en comparación con la energía a base de combustibles fósiles.

Se requiere también cambiar y fortalecer la red física, la infraestructura de la operación de las zonas interconectadas y no interconectadas del País, ya que la gran mayoría de los proyectos de energías no convencionales que actualmente se encuentran funcionando, están conectados a la red de las Zonas Interconectadas, olvidando comunidades en regiones como la Amazonia, la Orinoquia y el Pacífico, incumpliendo con lo que está consagrado en la constitución Política de Colombia, ya que el gobierno no está garantizando igualdad de derechos a todos los ciudadanos proveyendo disponibilidad ininterrumpida del servicio de energía.

Es fundamental la puesta en marcha de planes para formación técnica y tecnológica, con los que se enseñe la formulación, ejecución y mantenimiento de proyectos de energía solar y eólica, a pequeña y gran escala, para lograr que estos proyectos no se vean como algo de difícil implementación.

Se requiere modificar el reglamento sismo resistente 2010, ya que en dicha norma no están estandarizados los requerimientos en cuanto a diseños y niveles de carga, de las

construcciones para la instalación de proyectos con paneles solares en cubiertas y techos, incluso no se contemplan las instalaciones y estudios de suelo necesarios para la construcción de zapatas o pilotes para los aerogeneradores.

Se hace inminente necesario la aplicación y cumplimiento del Plan Energético Nacional Colombia, realizado por la Unidad de Planeación Minero-Energética para el año 2015, donde se presentaron ideas para el desarrollo en el sector energético colombiano, ratificado con el nuevo Plan Energético Nacional 2020-2050 en su quinta versión, planes que están orientados a lograr el cumplimiento de la descentralización, descarbonización y digitalización de la matriz energética para el año 2050.

Los proyectos de pequeña escala de autogeneración son de más fácil implementación en Colombia, debido a que la energía que se va a generar va a ser exclusiva para una zona sin tener que pensar en la infraestructura para la evacuación de lo generado.

### **DECLARACIÓN DE DERECHOS DE PROPIEDAD INTELECTUAL**

Los autores de la presente propuesta manifestamos que conocemos el contenido del Acuerdo 06 de 2008, Estatuto de Propiedad Intelectual de la UNAD, Artículo 39 referente a la cesión voluntaria y libre de los derechos de propiedad intelectual de los productos generados a partir de la presente propuesta. Asimismo, conocemos el contenido del Artículo 40 del mismo Acuerdo, relacionado con la autorización de uso del trabajo para fines de consulta y mención en los catálogos bibliográficos de la UNAD.

## Bibliografía

- AEE, A. e. e. (2019). *La eólica y sus ventajas*. <https://www.aeeolica.org/sobre-la-eolica/la-eolica-y-sus-ventajas>
- Arancibia C, B. R. (2010). *Energía solar*.  
 "https://www.anh.gov.co/Banco%20de%20informacion%20petrolera/Colombia%20Petro-  
 lera/Paginas/default.aspx"
- Association, C. W. E., CWEA. (2017). Statistics 2017, China. Overview and market development.  
[https://community.ieawind.org/HigherLogic/System/DownloadDocumentFile.ashx?Docu-  
 mentFileKey=46f86d9b-7b90-ab73-f974-e23f97039fb1](https://community.ieawind.org/HigherLogic/System/DownloadDocumentFile.ashx?DocumentFileKey=46f86d9b-7b90-ab73-f974-e23f97039fb1)
- Barros, J. (2019). Jerusalén, un pueblo que sana sus heridas con proyectos ambientales. *Semana*.  
[https://semanarural.com/web/articulo/proyectos-ambientales-innovadores-en-jerusalen-  
 cundinamarca/1086](https://semanarural.com/web/articulo/proyectos-ambientales-innovadores-en-jerusalen-cundinamarca/1086)
- bnamericas. (2020). Los 7 principales proyectos eólicos en Colombia.  
<https://www.bnamericas.com/es/noticias/los-principales-proyectos-eolicos-de-colombia>
- Bohorquez, K. (2020). La republica. *Impulsan beneficios tributarios para el desarrollo de las energías renovables*. Retrieved 06 11, from  
[https://www.larepublica.co/economia/gobierno-impulsa-beneficios-tributarios-para-el-  
 desarrollo-de-las-energias-renovables-3017254](https://www.larepublica.co/economia/gobierno-impulsa-beneficios-tributarios-para-el-desarrollo-de-las-energias-renovables-3017254)
- Canarias, I. T. d. (2008). Energías renovables y eficiencia energética. Primera edición.  
[https://www.cienciacanaria.es/files/Libro-de-energias-renovables-y-eficiencia-  
 energetica.pdf](https://www.cienciacanaria.es/files/Libro-de-energias-renovables-y-eficiencia-energetica.pdf)
- Catalina, & Siabato. (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>
- Celsia. (2018). La nueva era de la energía.  
[https://www.celsia.com/Portals/0/Documentos/RI\\_CELSIA2018\\_Mar27-  
 NAVEGACION\\_11.18.pdf](https://www.celsia.com/Portals/0/Documentos/RI_CELSIA2018_Mar27-NAVEGACION_11.18.pdf)
- Celsia. (2020). Documento de trabajo sobre el Sistema Interconectado Nacional SIN.  
[https://www.celsia.com/Portals/0/Documentos/Documento%20de%20trabajo%20sobre%  
 20el%20Sistema%20Interconectado%20Nacional.pdf](https://www.celsia.com/Portals/0/Documentos/Documento%20de%20trabajo%20sobre%20el%20Sistema%20Interconectado%20Nacional.pdf)
- Christian Dannecker, V. G. T. A. M. P. F. (2020). El Mercado de Carbono en Colombia: elementos de diseño para lograr su eficiencia. *south pole Group*.
- cienciaplus. (2020). Medidas sencillas para evitar muerte de aves en parques eólicos.  
[https://www.europapress.es/ciencia/cambio-climatico/noticia-medidas-sencillas-evitar-  
 muertes-aves-parques-eolicos-20200826125532.html](https://www.europapress.es/ciencia/cambio-climatico/noticia-medidas-sencillas-evitar-muertes-aves-parques-eolicos-20200826125532.html)
- Corradine, L. F. (2018). Efectos de hidroeléctricas: urge una visión integral. *Pesquisa Javeriana*.  
[https://www.javeriana.edu.co/pesquisa/efectos-de-hidroelectricas-urge-una-vision-  
 integral/#:~:text=La%20construcci%C3%B3n%20y%20operaci%C3%B3n%20de,dulces  
 %20que%20recorren%20nuestro%20territorio.&text=Entre%20otros%20impactos%20qu  
 e%20genera,a%20lo%20largo%20del%20tiempo.](https://www.javeriana.edu.co/pesquisa/efectos-de-hidroelectricas-urge-una-vision-integral/#:~:text=La%20construcci%C3%B3n%20y%20operaci%C3%B3n%20de,dulces%20que%20recorren%20nuestro%20territorio.&text=Entre%20otros%20impactos%20que%20genera,a%20lo%20largo%20del%20tiempo.)
- Data, O. W. i. (2021). *Annual change in renewable energy generation*.  
<https://ourworldindata.org/grapher/annual-change->

- renewables?tab=chart&time=earliest..latest&country=CHN~IND~DEU~BRA~GBR~IRN~ESP&region=SouthAmerica
- DIARIO\_RESPONSABLE. (2021). Paneles solares: Cómo funcionan y de qué modo instalarlos en casa?
- DNP, D. N. d. P. (2016). Instalación de sistemas solares fotovoltaicos individuales en zonas no interconectadas. In.
- Domiciliarios., S. d. S. P. (2018). Zonas no interconectadas – ZNI diagnóstico de la prestación del servicio de energía eléctrica 2018. *Superintendencia delegada para energía y gas dirección técnica de gestión de energía*.  
[https://www.superservicios.gov.co/sites/default/archivos/Publicaciones/Publicaciones/2018/Dic/diag\\_zni\\_2018\\_7122018.pdf](https://www.superservicios.gov.co/sites/default/archivos/Publicaciones/Publicaciones/2018/Dic/diag_zni_2018_7122018.pdf)
- E&L. (2017). Granjas solares, una alternativa sostenible que toma fuerza en Colombia. *Revista Empresarial & Laboral*. <https://revistaempresarial.com/industria/alimentos/granjas-solares-alternativa-sostenible-toma-fuerza-colombia/>
- El Hagggar, S. M., S. y El Morsi, M. (2016). Sistemas de energía solar sostenible. In B. S. P. Ltd. (Ed.).
- Enel. (2019). Enel Green Power inaugura El paso Solar, la planta fotovoltaica más grande de Colombia. Enelgreenpower. Retrieved Abril 08, from  
<https://www.enelgreenpower.com/es/medios/news/2019/04/planta-fotovoltaica-el-paso-colombia-puesto-marcha>
- Energía, M. d. M. y. (2019). Comisión de regulación de energía y gas (CREG). Resolución 060. Retrieved Junio 20, from  
[http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/ca640edbe4b7b5100525842d0053745d/\\$FILE/Creg060-2019.pdf](http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/ca640edbe4b7b5100525842d0053745d/$FILE/Creg060-2019.pdf)
- Enkhtsetseg, M. L. M., Arash Vahidnia. (2020). Long-term voltage stability with large-scale solar-photovoltaic (PV) generation.  
 (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0142061519315170>)
- Factorenergía. (2018). Energía eólica. Qué es, cómo funciona, ventajas y desventajas.  
<https://www.factorenergia.com/es/blog/eficiencia-energetica/energia-eolica/>
- GOV.CO, P. d. I. R. (2020). *Duque anuncia nueva subasta para energías renovables en el primer semestre de 2021*. Retrieved from <https://idm.presidencia.gov.co/prensa/duque-anuncia-nueva-subasta-para-energias-renovables-en-el-primer-semestre-201110>
- Hemstreet, R. (2015). Chief Energy Officer, Kaiser permanente. Importance of Renewable Energy in the Fight against Climate Change. *World Wildlife Magazine*.  
<https://www.worldwildlife.org/magazine/issues/summer-2015/articles/importance-of-renewable-energy-in-the-fight-against-climate-change--3>
- Hernandez, L. (2015). Energía Solar. <https://www.slideshare.net/leonidashernandez9847/energiasolar-51909455/7>
- Hoyos, B. G. G., Macias, F. D. V., & Quintero, D. E. M. (2019). Eolic Energy and Territory: Geographic Information Systems and Multi-Criteria Decision-Making Methods in La Guajira (Colombia) [Article]. *Ambiente Y Desarrollo*, 23(44), 20.  
<https://doi.org/10.11144/Javeriana.ayd23-44.eets>
- IDEAM, I. d. H. M. y. E. A.-I. (2014). *Irradiación Global Horizontal medio diario anual*.  
<http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>

- Ingemecánica. ("s.f"). *PVGIS, Photovoltaic Geographical Information System*.  
<https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn188.html>
- interconectadas, I. d. p. y. p. d. s. e. p. l. z. n. (2018). Contexto zonas no interconectadas ZNI.  
<http://190.216.196.84/cnm/imag.php?v1=1.png>
- IPSE, I. d. p. y. p. d. s. e. p. l. z. n. i. (2018). Contexto zonas no interconectadas ZNI.  
<http://190.216.196.84/cnm/imag.php?v1=1.png>
- IPSE, I. d. P. y. P. d. S. E. p. l. Z. n. I. (2020). *Informe telemetría Mensual de octubre 2020*.  
<http://ipse.gov.co/blog/2020/11/27/informe-de-telemetria-en-octubre/>
- J.D. Molina, H. H. (2011). The 9th latin-american congress on electricity generation and transmission – CLAGTEE. Expansión de la red para la integración de ERNC: ¿Oportunidades para América Latina?  
<http://hrudnick.sitios.ing.uc.cl/paperspdf/CLAGTEE2011.pdf>
- López, J. M. (2020). Los aerogeneradores sin palas de Vortex Bladeless quieren reinventar la energía eólica. <https://hipertextual.com/2020/09/aerogeneradores-reinventar-energia-eolica-vortex-bladeless>
- McCarthy, G. (2015). Administrator, Environmental Protection Agency. Importance of Renewable Energy in the Fight against Climate Change. World Wildlife Magazine.  
<https://www.worldwildlife.org/magazine/issues/summer-2015/articles/importance-of-renewable-energy-in-the-fight-against-climate-change--3>
- Melendez, J. I. O. M. C., Juan D. Bastidas, Oscar A. Quiroga. (2017a). Aspectos técnicos y regulatorios para la implementación de generación eléctrica fotovoltaica a nivel residencial en Colombia. *Simposio Internacional sobre Calidad de la Energía Eléctrica 2017*. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/SICEL>
- Melendez, J. I. O. M. C., Juan D. Bastidas, Oscar A. Quiroga. (2017b). Aspectos técnicos y regulatorios para la implementación de generación eléctrica fotovoltaica a nivel residencial en Colombia. *Simposio Internacional sobre Calidad de la Energía Eléctrica 2017*. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/SICEL>
- Mesa, J. D. (2009). Descripción y análisis del efecto fotovoltaico en la región. *Scientia et Technica*. file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Dialnet-DescripcionYAnalisisDelEfectoFotovoltaicoEnLaRegio-4703438.pdf
- MINMINAS, M. d. M. y. E. (2019). Comisión de regulación de energía y gas (CREG). Resolución 060. Retrieved Junio 20, from [http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/ca640edbe4b7b5100525842d0053745d/\\$FILE/Creg060-2019.pdf](http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/ca640edbe4b7b5100525842d0053745d/$FILE/Creg060-2019.pdf)
- Molina, P. S. (2020). Colombia: los 271 proyectos fotovoltaicos vigentes en el país suman 8.855 MW. *pv magazine*.
- ONU, O. d. l. N. U. (2019). Acción Climática. Cumbre sobre la Acción Climática.  
<https://www.un.org/es/climatechange/un-climate-summit-2019.shtml>
- Ostos, R. I. M., Collazos Morales, C. A., Castellanos Acuña, H. E., & Fernández Arévalo. (2017). Sistema híbrido fotovoltaico (FV) con interacción a la red para zonas rurales de Colombia. *Sistema híbrido fotovoltaico (FV) con interacción a la red para zonas rurales de Colombia*, 8(1), 169-182. <https://doi.org/10.22490/21456453.1847>
- Pedro, & Vergara, J. R., Germán Osma, Gabriel Ordóñez. (2014). Revista UIS Ingenierías. Evaluación del potencial solar y eólico del campus centra de

- la Universidad Industrial de Santander y la ciudad de Bucaramanga, Colombia., 13.  
<https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistausingenierias/article/view/49-57>
- Perdomo, D. D. A., Maria Teresa Jaimes Herrera y Juan Ernesto Almeira. (2014). La energía eólica como energía alternativa para el futuro de Colombia. *El Centauro*.  
<https://revistas.unilivre.edu.co/index.php/centauro/article/view/2437/1878>
- POLITECNICO. (2017). Diplomado Virtual en Gestión de energías Renovables. In *Energía Solar*.
- Portafolio. (2016). Sección Innovación. Energías renovables, la apuesta que debe hacer el país. Por su ubicación en la línea ecuatorial, sus climas y ecosistemas diversos, el país cuenta con un gran potencial para implementar energías limpias.
- Republica, C. d. I. (2014). Ley No 1715,. Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional. Retrieved Mayo 13, from [https://www.upme.gov.co/Normatividad/Nacional/2014/LEY\\_1715\\_2014.pdf](https://www.upme.gov.co/Normatividad/Nacional/2014/LEY_1715_2014.pdf)
- Roger, D. D. (2015). Evolución del tamaño de las turbinas eólicas desde 1980 y prospectiva. [https://www.researchgate.net/figure/Figura-2-23-Evolucion-del-tamano-de-las-turbinas-eolicas-desde-1980-y-prospectiva\\_fig26\\_312304898](https://www.researchgate.net/figure/Figura-2-23-Evolucion-del-tamano-de-las-turbinas-eolicas-desde-1980-y-prospectiva_fig26_312304898)
- Roser, H. R. a. M. (2020a). *Renewable energy generation*. <https://ourworldindata.org/renewable-energy#how-much-of-our-primary-energy-comes-from-renewables>
- Roser, H. R. a. M. (2020b). *Renewable energy generation (Figura)*. <https://ourworldindata.org/renewable-energy#how-much-of-our-primary-energy-comes-from-renewables>
- Rúa, & Ramírez, E. B., Barrera Siabato, A. I., & Gómez Orduz, M. (2017). *Análisis técnico, socioeconómico y ambiental de la electrificación con energía solar fotovoltaica aislada para vivienda rural en Hato Corozal, Casanare, Colombia*.  
<https://doi.org/10.22490/21456453.1853>
- SIAC, S. d. I. A. d. C. (2016). *Fenómenos del Niño y la Niña*. Retrieved from <http://www.siac.gov.co/web/siac/ninoynina>
- SDG7, S. D. A. (2019). Sustainable Development Goal 7. *The energy progress report. Tracking SDG 7*.  
[https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/2019\\_Tracking\\_SDG7\\_Report.pdf](https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/2019_Tracking_SDG7_Report.pdf)
- SERNA, F. R. J. ("s.f"). Viento. In IDEAM (Ed.).
- Spitzer, M. (2015). Director for us climate and renewable energy policy. Importance of Renewable Energy in the Fight against Climate Change. World Wildlife Magazine. <https://www.worldwildlife.org/magazine/issues/summer-2015/articles/importance-of-renewable-energy-in-the-fight-against-climate-change--3>
- Suárez, A. L. (2020). Comenzó a operar la primera planta solar en el Tolima. *Portafolio*.
- UN., U. N. (2016). *Major milestones reached on renewable energy investments, UN reports*. <https://news.un.org/en/story/2016/03/525392-major-milestones-reached-renewable-energy-investments-un-reports>
- Viviescas, C., Lucas Lima, Fabio A. Diuana, Eveline Vasquez, Camila Ludovique, Gabriela N. Silva, Vanessa Huback, Leticia Magalar, Alexandre Szklo, André F.P. Lucena, Roberto Schaeffer, Juan Roberto Paredes,. (2019). Contribution of Variable Renewable Energy to increase energy security in Latin America: Complementarity and climate change impacts on wind and solar resources,

- Renewable and Sustainable Energy Reviews. In (Vol. 113).
- Wu, J. W. T. (2015). Ensure Access to Affordable, Reliable, Sustainable and Modern Energy for All. *UN Chronicle. Goal 7*. <https://unchronicle.un.org/article/goal-7-ensure-access-affordable-reliable-sustainable-and-modern-energy-all>
- WWF, W. W. F. (2017). Las energías renovables: motor del desarrollo sostenible, documento de discusión.  
[http://d2ouvy59p0dg6k.cloudfront.net/downloads/energias\\_renovables\\_b19\\_c4\\_b\\_1.pdf](http://d2ouvy59p0dg6k.cloudfront.net/downloads/energias_renovables_b19_c4_b_1.pdf)  
(1ra)
- xm, S. e. (2020). *En julio, generación promedio diaria de energía fue de 184.4 GWh/día*.  
<https://www.xm.com.co/Paginas/detalle-noticias.aspx?identificador=2886>

### Resumen analítico especializado – RAE

**Tema:** Identificar el rol de la energía solar y eólica en la transición energética en Colombia: Actualidad, Perspectivas y Retos, que se vienen presentando en el país para lograr materializar el cumplimiento del objetivo de desarrollo sostenible No 7, el cual trata de asegurar una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos.

**Título:** Rol de la energía solar y eólica en la transición energética en Colombia: actualidad, perspectivas y retos.

**Autor:** Christian Camilo Ortegata Escobar

**Director:** MSc Luis Alejandro Duarte Rodríguez

**Fuente Bibliográfica:** Se referencia 62 fuentes bibliográficas, entre las que se pueden destacar las siguientes: Canarias, I. T. d. (2008). Energías renovables y eficiencia energética. Primera edición. <https://www.cienciacanaria.es/files/Libro-de-energias-renovables-y-eficiencia-energetica.pdf>

ONU, O. d. I. N. U. (2019). Acción Climática. Cumbre sobre la Acción Climática. <https://www.un.org/es/climatechange/un-climate-summit-2019.shtml>

U. N. (2016). Major milestones reached on renewable energy investments, UN reports. <https://news.un.org/en/story/2016/03/525392-major-milestones-reached-renewable-energy-investments-un-reports>

Roser, H. R. a. M. (2020a). Renewable energy generation. <https://ourworldindata.org/renewable-energy#how-much-of-our-primary-energy-comes-from-renewables>

xm, S. e. (2020). En julio, generación promedio diaria de energía fue de 184.4 GWh/día. <https://www.xm.com.co/Paginas/detalle-noticias.aspx?identificador=2886>

**Año:** 2021

**Resumen:** El presente trabajo es el resultado de una investigación de carácter descriptivo, estudiando el rol y el aumento de la demanda del uso de la energía solar y eólica, en la transición hacia la diversificación de la matriz energética en Colombia, describiendo de manera general la situación actual de las energías renovables a nivel mundial, la capacidad de los mercados energéticos y las características de las Energías Renovables (ER) en el país, determinando las regiones, donde se podrá obtener una mayor potencia para la implementación de parques eólicos y granjas solares, incluso proyectos independientes para urbanizaciones, en Zonas No Interconectadas (ZNI). A partir de una revisión de propuestas actualmente en desarrollo, y proyectos ejecutados a lo largo del territorio nacional, se evidenció la evolución

tecnológica que han tenido los proyectos solares y eólicos en el país, determinando los impactos, ventajas y desventajas, durante su implementación. De la misma forma, se establecieron los desafíos que existen para que estas alternativas energéticas sean consideradas con mayor interés por las autoridades competentes. Concluyendo que la energía solar y eólica son una opción viable debido a su fácil desarrollo e implementación.

**Palabras clave:** Recursos energéticos, Matriz energética, Demanda Energética.

**Contenidos:**

Energía solar

La energía solar fotovoltaica

Energía solar térmica

Energía solar térmica de alta temperatura

Aspectos técnicos de la energía solar

Energía eólica

Aspectos Técnicos de la energía eólica

Marco regulatorio en el país.

Actualidad de las energías renovables en el mundo y en Colombia

Energías Renovables

Energías Renovables en el Mundo

Matriz Energética Colombiana

Energías Renovables en Colombia

Potencial Solar en Colombia

Potencial Eólico en Colombia

Perspectivas y retos de las energías renovables en Colombia

Conclusiones y recomendaciones

**Descripción del problema de investigación:** El crecimiento demográfico y económico en Colombia, ha aumentado directamente proporcional con la demanda energética, haciendo necesario la implementación de nuevas fuentes de generación como lo son las energías renovables denominadas eólica y solar; Actualmente el país tiene su principal demanda de generación eléctrica a base de combustibles fósiles los cuales pueden ser limitados, generando una cantidad masiva de gases efecto invernadero, por otro lado el país cuenta con un gran potencial de energía hidroeléctrica directamente relacionado con el uso del recurso hídrico, ocasionando un impacto ambiental negativo masivo al tener que realizar proyectos para el desvío de cauces, generando deforestación, impactos sobre el ciclo natural del agua y sus ecosistemas, e impactos profundos en las actividades económicas de las comunidades, adicional a esto la eficiencia energética de las hidroeléctricas se ve afectada al presentarse las variables climáticas

como el Niño y la Niña, reflejando un déficit significativo en la demanda energética del usuario final.

### **Objetivo general**

Investigar acerca del rol de la energía solar y energía eólica en la transición hacia la diversificación de la matriz energética en Colombia.

### **Objetivos específicos**

Identificar las regiones con mayor potencial solar y eólico y su nivel de integración al Sistema Interconectado Nacional (SIN).

Reconocer el grado de implementación de la energía solar y eólica en el país y los proyectos de mayor significancia desarrollados en torno a estas tecnologías.

Estudiar los aspectos y los retos a superar para aumentar significativamente la participación de la energía solar y eólica en la matriz energética colombiana.

### **Referentes teóricos**

Se consulta diferentes fuentes científicas, artículos especializados, en el sector del uso e implementación de energías renovables basadas en la solar y eólica, a nivel mundial y en Colombia, se indaga también sobre la matriz energética de Colombia, y la infraestructura actual para definir zonas interconectadas a la red y zonas no interconectadas, determinando las zonas con mayor potencial para la implementación de este tipo de proyectos.

### **Referentes conceptuales**

Se reseña diferentes conocimientos que contribuyen a determinar el cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible en el país, referente al uso de energía limpia, de la misma forma se contextualizan los retos que se presentan, para lograr una integración de la energía eólica y solar, en la diversificación de la matriz energética en el País.

### **Resultados**

Se evidencia que Colombia presenta una riqueza en la generación de energía renovable, basadas en la solar y eólica, debido a su ubicación geográfica, mostrando vientos de clase mundial y radiación solar, suficientes para la implementación de proyectos que pueden llegar a diversificar la matriz energética del país de forma contundente, eficiente y con calidad final en su servicio, especialmente en esas zonas No Interconectadas del país, para lo que se hace necesario superar una serie de retos en cuanto a infraestructura vial, transporte de carga larga, ancha y pesada, conciliación del uso de los suelos con las comunidades que se encuentran en las áreas de influencia, la ampliación de la infraestructura

para la evacuación de la energía que se proyecta generar, la construcción de plataformas de fabricación y emplazamiento, adicional a una correcta regulación de las normas existentes para darle mayor aceleración a los procesos de licitaciones.

## **Conclusiones**

Actualmente la Guajira en la zona norte de Colombia, presenta los mejores vientos y radiación solar para la implementación de proyectos, logrando llegar hasta vientos de 15 m/s y una radiación solar de 6 kWh, pero se requiere ampliar la infraestructura para poder evacuar la energía que se genera.

Colombia y su población en general, deben perder el miedo al tema de costos de inversión debido a que en la actualidad ha bajado un 70% el costo de la implementación de los proyectos de energías renovables, comparados con los costos del 2010, adicional a esto las ayudas del estado en la reducción de impuestos, pago de aranceles y eliminación del IVA.

En Colombia la demanda energética se ve limitada por la falta de estructura para la evacuación de la energía que se puede llegar a generar, logrando que, en muchas zonas del país, se continúe utilizando energía a base de combustibles fósiles, demostrando la necesidad urgente de un cambio en su operación y forma de obtención de la energía.

Es necesario la formación de planes de estudio a nivel técnico y tecnológico para la formulación ejecución y mantenimiento de proyectos de energía solar y eólica a pequeña y gran escala.

Es necesario modificar la NSR10, incluyendo aspectos técnicos para la implementación de proyectos solares y eólicos.

Se requiere la implementación del Plan Energético Nacional, PEN 2020-2050 para lograr una descentralización, descarbonización y digitalización de la matriz energética para el año 2050.

Los proyectos de pequeña escala de autogeneración son de fácil implementación en Colombia, según lo mencionado por empresas del gremio de generación de energía con fuentes no convencionales, debido a que no se requiere una infraestructura masiva para evacuar la energía producida.