



**EVALUACIÓN DEL APROVECHAMIENTO DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA,
EN EL MUNICIPIO DE LA DORADA – CALDAS, CON FINES DE USO DE ENERGÍAS
LIMPIAS.**

ESTUDIANTE: JUAN MANUEL BENAVIDES GUERRERO

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE MANIZALES
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
INGENIERÍA AMBIENTAL
MANIZALES, CALDAS**

2021



**EVALUACIÓN DEL APROVECHAMIENTO DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA,
EN EL MUNICIPIO DE LA DORADA – CALDAS, CON FINES DE USO DE ENERGÍAS
LIMPIAS.**

ESTUDIANTE: JUAN MANUEL BENAVIDES GUERRERO

DIRECTOR:

ALEXANDRA DIAZ GIL

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE MANIZALES
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
INGENIERÍA AMBIENTAL
MANIZALES, CALDAS**

2021

Dedicatoria

A mi madre María Rosiber Guerrero

con todo mi amor y cariño

le ofrezco toda mi dedicación

puesta en este proyecto

Agradecimientos

En primer lugar quiero agradecer a mi tutora Alexandra Díaz, quien me brindo apoyo y me impulsó a seguir adelante con el proyecto; quien con sus conocimientos me guió a través de todas las etapas para alcanzar los resultados que buscaba.

De igual forma quiero agradecer a la Universidad Católica de Manizales por brindarme nuevos conocimientos a lo largo de mi carrera, que fueron necesarios para el desarrollo de la investigación.

Gracias a mi madre María Rosiber Guerrero por darme una vida para mi futuro, por su apoyo incondicional, por sus consejos, y por querer lo mejor para mí en todo momento, a mi pareja Valentina Navarro por apoyarme y ser parte de mi vida. También agradezco a mis seres queridos Damares Guerrero, Alejandra Quintero, Ingrid Tatiana Vélez, Julieth Betancur, Orlando Pitigainza y Aurelio Guerrero, y por último a mis amigos que me acompañaron a lo largo de mi carrera profesional Johan Adrián Giraldo y Juan Esteban Zapata.

Nota de aprobación

*Como docente y directora de este proyecto,
doy mi aprobación al 100% del trabajo de
grado desarrollado por Juan Manuel Benavides,
quien se desempeñó de manera exitosa en el
transcurso de la investigación. Éxitos en esta
nueva etapa y futuros aprendizajes.*

Alexandra Díaz Gil



Contenido

| | |
|---------------------------------|----|
| Introducción | 12 |
| Planteamiento del Problema..... | 13 |
| Pregunta de Investigación..... | 15 |
| Hipótesis..... | 15 |
| Justificación..... | 15 |
| Objetivo General | 18 |
| Objetivos Específicos | 18 |
| Marco Contextual..... | 19 |
| Localización: | 19 |
| Contexto del Municipio | 20 |
| Clima: | 22 |
| Radiación Solar..... | 25 |
| Marco Teórico | 27 |
| Estado del Arte | 27 |
| Marco Conceptual | 30 |
| Marco Legal | 39 |
| Metodología | 40 |
| Modificación | 43 |
| Hora Pico Solar..... | 48 |

| | |
|----------------------------------|----|
| Distancia entre módulos (d)..... | 48 |
| Resultados: | 51 |
| Conclusiones | 56 |
| Bibliografía | 57 |

| | |
|---|----|
| Figura 1: Radiación Solar en Colombia | 17 |
| Figura 2: Ubicación geográfica La Dorada – Caldas | 20 |
| Figura 3: Clasificación Climática del Departamento de Caldas | 22 |
| Figura 4: Velocidad del viento en Colombia | 24 |
| Figura 5: Brillo solar departamento de Caldas..... | 27 |
| Figura 6: Partes de un panel solar fotovoltaico | 36 |
| Figura 7: Dispersión de los rayos del sol de acuerdo a la latitud | 42 |
| Figura 8: Distancia entre módulos. Tomado de: Montaje y mantenimiento de instalaciones fotovoltaicas. | 49 |
| Figura 9: Recomendación para la inclinación de módulos según latitud. Tomado de: Energía Solar Autónoma..... | 50 |
| Figura 10: Triángulo rectángulo. Tomado de:Universoformulas..... | 52 |

Resumen

El cambio climático en los últimos 150 años se ha intensificado por las actividades antropogénicas que se emiten a la atmósfera como gases de efecto invernadero, en el que la industria energética es una de las actividades que aportan más emisiones. Para reducir dichos impactos, se ha propuesto implementar diferentes fuentes de energía renovables a nivel mundial, en donde la energía solar fotovoltaica se presenta como una gran alternativa para diferentes países, como Colombia, teniendo un potencial alto para el aprovechamiento de energía solar fotovoltaica debido a la radiación solar que recibe. Esta investigación, tiene como enfoque, evaluar la posible disminución de emisiones de CO₂ producto del uso de energías convencionales en el municipio de La Dorada-Caldas, con el fin de proyectar una granja solar fotovoltaica.

Para el desarrollo de la presente investigación se realizó una búsqueda de información, teniendo en cuenta diferentes parámetros de importancia que permitan puntualizar una ubicación que registre valores de mayor radiación solar. Una vez realizada la investigación, se llevó a cabo un análisis en el municipio de La Dorada – Caldas, sobre los diferentes parámetros característicos del potencial solar, que permitieron concluir que para una población de 73000 habitantes se requieren 6490 módulos fotovoltaicos policristalinos aproximadamente, cada uno con una potencia de 405W, ocupando un área de 1,64 ha. De acuerdo con los resultados obtenidos, se puede concluir que el municipio de La Dorada - Caldas, posee un potencial considerable de energía solar, contando con los registros más altos en el departamento, considerándose este el mejor sitio de aprovechamiento para este tipo de energía renovable.

Palabras clave:

Energía solar fotovoltaica, cambio climático, radiación solar, panel solar

Abstract

Climate change in the last 150 years has been intensified by anthropogenic activities that are emitted into the atmosphere as greenhouse gases, in which the energy industry is one of the activities that contribute the most emissions. To reduce these impacts, it has been proposed to implement different renewable energy sources worldwide, where photovoltaic solar energy is presented as a great alternative for different countries, such as Colombia, having a high potential for the use of photovoltaic solar energy due to the solar radiation it receives. The focus of this research is to evaluate the possible reduction in CO₂ emissions resulting from the use of conventional energies in the municipality of La Dorada-Caldas, in order to design a photovoltaic solar farm.

For the development of this research, a search for information was carried out, taking into account different parameters of importance that allow to specify a location that registers values of higher solar radiation. Once the investigation was carried out, an analysis was carried out in the municipality of La Dorada - Caldas, on the different characteristic parameters of the solar potential, which allowed to conclude that for a population of 73,000 inhabitants, approximately 6490 polycrystalline photovoltaic modules are required, each one with a power of 405W, occupying an area of 1.64 ha. According to the results obtained, it can be concluded that the municipality of La Dorada - Caldas, has a considerable potential for solar energy, with the highest records in the department, considering this the best site of use for this type of renewable energy.

Key words:

Photovoltaic solar energy, climate change, solar radiation, solar panel.

Introducción

El Cambio Climático es una variación en el clima del planeta durante largos períodos de tiempo, el cual ya se ha dado anteriormente en diferentes ocasiones durante la historia geológica de la Tierra causado por ciclos solares, erupciones volcánicas, movimiento de las placas tectónicas, entre otros. (IPCC, 2013). Dado el contexto anterior y teniendo en cuenta que los movimientos del planeta son evidentes, se ha visto que la actividad antrópica en los últimos 150 años ha dirigido un aumento en el cambio climático debido a los gases de efecto invernadero, producto de la movilidad, la producción energética, la industria y el AFOLU (Agricultura, Silvicultura y Otros Usos del Suelo), donde uno de los mayores factores que generan los GEI son el uso de combustibles fósiles, los usos del suelo, la ganadería, la silvicultura y el desarrollo industrial en cada uno de los países, estas actividades son las que han tenido un mayor impacto por la cantidad de emisiones de gases GEI. (IPCC, 2014)

Para mitigar el cambio climático se deben reducir el impacto debido a las emisiones de GEI provocadas por la actividad del hombre. Una de las alternativas es realizar una transición energética hacia fuentes limpias como lo son la energía solar, eólica, geotérmica, mareomotriz, undimotriz, entre otras. La energía solar es de las más destacables, ya que es la principal fuente de energía que recibe el planeta, asimismo otras energías como la eólica y la hidráulica dependen de esta. (Agencia Europea de Medio Ambiente, 2017)

El aprovechamiento de energías renovables en los últimos años ha ido aumentando exponencialmente, por lo tanto la energía solar no es una excepción; “La cantidad de energía solar captada por la Tierra anualmente es aproximadamente de $5,4 \times 10^{24}$ J, una cifra que representa 4.500 veces la energía que se consume.” (Roldan, 2011) Sin embargo, se deben

considerar las pérdidas por reflexión es decir la fracción de radiación reflejada por una superficie y la absorción es la energía absorbida por un determinado gas en la atmósfera del planeta, además de las condiciones climatológicas como la nubosidad y la localización geográfica; todo ello repercute en la obtención de la energía solar.

Una de las evidencias dadas por el físico, emprendedor, inventor y magnate Elon Musk en el NGA Summer Meeting se refirió a la gran capacidad que posee la energía solar, ya que con la energía recibida en un solo polígono del estado de Nevada, se podría brindar Energía a todos los Estados Unidos, siendo esta superficie de 100 x 100 millas de paneles fotovoltaicos, donde las baterías necesarias para almacenar serían de 1 x 1 milla (Musk, 2017)

Planteamiento del Problema

El aumento de los gases de efecto invernadero, producto de la actividad humana ha generado un incremento en la temperatura de la atmósfera conllevando al calentamiento global, (ACNUR, 2016). La industria energética se caracteriza por ser la actividad que más emite gases de efecto invernadero, generando un 25% de $GtCO_2 \frac{eq}{año}$ (Gigatonelada de CO_2 — *equivalente al año*) (IPCC, 2014); esto se debe a la utilización de combustibles fósiles como el carbón, diésel y gas natural, los cuales producen grandes cantidades de gases como el CH_4 (Metano) y el CO_2 (Dióxido de Carbono), este último considerado como el de mayor impacto. Acorde con lo anterior es necesario enfatizar que el intervalo de tiempo para que el CH_4 sea eliminado de la atmósfera es de varios años hasta milenios, y el CO_2 emitido tarda

aproximadamente un siglo para eliminarse. No obstante, cerca del 20% continúa en la atmósfera durante muchos milenios. (IPCC, 2007)

Según Rodríguez, et al (2016), en Colombia se cuenta con un potencial altamente positivo de energía solar fotovoltaica frente al resto del mundo dado la ubicación geográfica. El interior del país cuenta con un gran recurso de brillo solar, que va desde 4,8 y 12 horas de sol al día, más que en otros países que cuentan con aproximadamente 3 horas de brillo solar al día. Lo anterior es un promedio de radiación uniforme de $4,5 \frac{kwh}{m^2}$ durante el año, superando el valor promedio mundial de $3,9 \frac{kwh}{m^2}$. (UPME, 2015). Las regiones de Colombia que cuentan con un mayor potencial de energía solar mayores a $4,5 \frac{kwh}{m^2}$ son: las islas de San Andrés y Providencia, la región Caribe, gran parte de la región de la Orinoquía, y la del Magdalena Medio. Los valores más altos, con valores superiores a los $5,5 \frac{kwh}{m^2}$ se encuentran en los departamentos de La Guajira, Magdalena, Norte del Cesar, y pequeños sectores de Atlántico, Arauca, Bolívar y Sucre. (IDEAM, 2015). El municipio de La Dorada se localiza en el Magdalena Medio, y posee una irradiación superior a $4,5 \frac{kwh}{m^2}$.

Siguiendo lo planteado en la investigación en La Dorada Caldas se ubica una central térmica, Termodorada, la cual se abastece a partir de combustible líquido (Diésel) y gaseoso (Gas Natural), la quema de estos combustibles en la Central aumenta la concentración GEI en la atmósfera, aumentando la contaminación, además es un hecho que el tiempo para evitar una catástrofe ocasionada por el cambio climático se nos está agotando (ONU, 2021), por ende se busca promover otra solución en la adquisición de energía eléctrica como el uso de tecnologías alternativas.

Pregunta de Investigación

¿Existe suficiente intensidad energética para cubrir la demanda de energía de La Dorada a partir de paneles fotovoltaicos y al mismo tiempo reducir las emisiones de GEI, como el CO₂?

Hipótesis

Con base a la pregunta de investigación que nos hicimos surge la siguiente hipótesis: El Municipio de La Dorada cuenta con la suficiente intensidad energética para satisfacer la demanda de energía eléctrica a partir de paneles fotovoltaicos.

Justificación

El CO₂ principalmente es generado por los combustibles fósiles y la deforestación contribuyendo en un 53% al cambio climático. De acuerdo con los datos obtenidos de las Naciones Unidas, las emisiones de CO₂ del ciclo biológico relativas a la energía fotovoltaica, se sitúan actualmente entre 25 y 32 g/kWh. Mientras que una central Térmica a gas natural emite unos 400g/kWh y si usa carbón 200 g/kWh. (ONU, 2019)

La presente investigación tuvo como enfoque evaluar la implementación de energías renovables con el fin de mitigar las emisiones de GEI producto del uso de energías convencionales en el municipio de La Dorada-Caldas, las cuales han generado impacto ambiental de índole atmosférico por emisiones de CO₂ y CH₄ principalmente por la utilización de combustibles fósiles para la generación de energía. La energía solar es una alternativa al uso de

energías convencionales que emiten gases contaminantes a la atmósfera, ya que es una tecnología que aprovecha la energía liberada por el sol la cual es inagotable y no contamina. La disminución en los costos de los proyectos fotovoltaicos, ha repercutido en que cada año el uso de la energía solar aumente constantemente, pasando de 0,25 GW en el 2008 a 3,0 GW en el 2018. (IRENA, 2019)

En Colombia el registro diario de radiación solar promedio es de $4,5 \frac{kWh}{m^2}$, no obstante, este varía con la ubicación. De acuerdo con el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2014), La Dorada posee un promedio anual de radiación solar entre 4,5 y $5,0 \frac{kWh}{m^2}$, siendo estos valores altos respecto al promedio nacional y aprovechable por el potencial energético del sol. Además, el sector cuenta con diferentes factores que lo ponen en ventaja para el aprovechamiento de la energía solar a diferencia de otros municipios de Caldas, entre estos factores se encuentra su localización geográfica en el valle del Magdalena confiriéndole mayor radiación solar y menor nubosidad. Figura 1

Es preciso señalar que Colombia así como los otros países del Planeta están ligados al Acuerdo de París, este tratado reemplaza al Protocolo de Kioto, donde se deben cumplir ciertos parámetros de mitigación que contribuyen contra el cambio climático, una de las medidas o alternativas que se acomodan al cumplimiento de estos acuerdos es el uso de energías limpias. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2016)

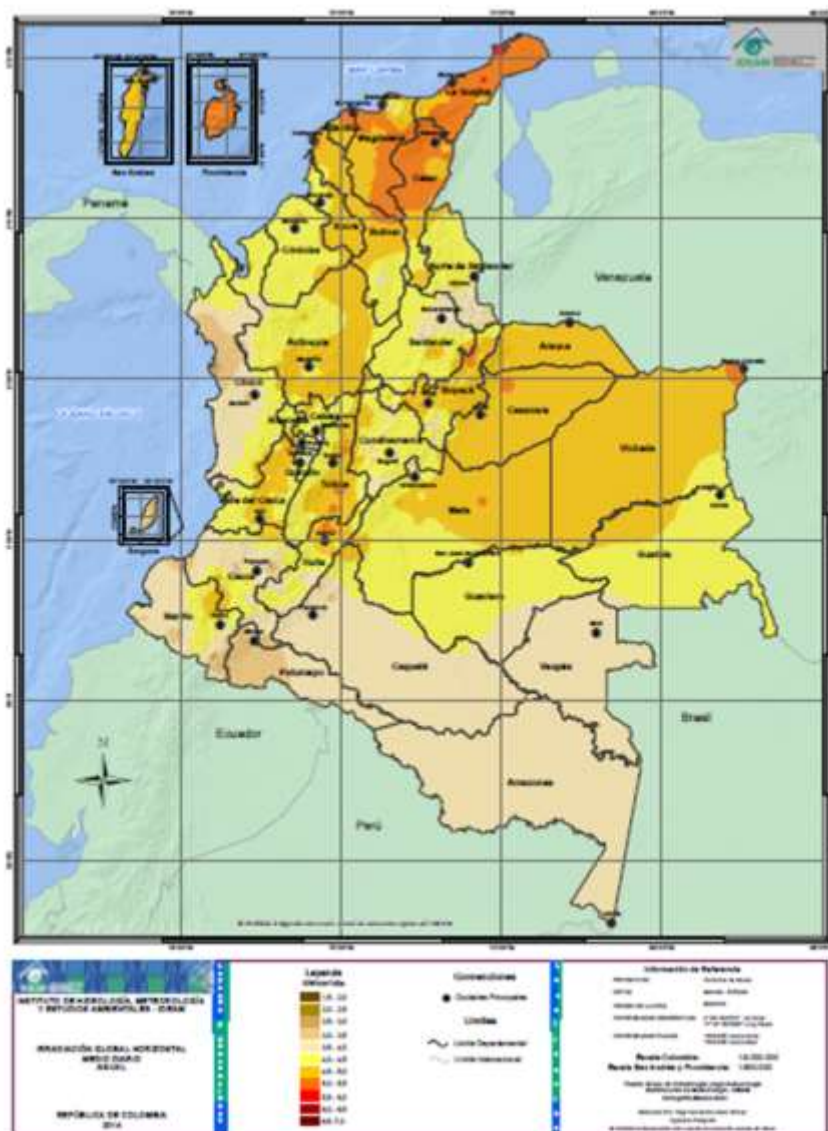


Figura 1: Radiación Solar en Colombia

La ubicación latitudinal también contribuye en la generación de energía solar esto se debe a que una menor latitud trasciende en una mayor cantidad de energía solar, dado a que los rayos llegan directos y no inclinados como ocurre en los círculos polares.

Objetivo General

Evaluar el potencial de energía solar fotovoltaica, en el municipio de La Dorada - Caldas, con el fin de proyectar una granja solar para proponer el uso de energías renovables a beneficio del municipio.

Objetivos Específicos

- Identificar las características potenciales de la zona de interés para fines del estudio que se realizará.
- Determinar el área óptima de acuerdo al registro de potencial solar por medio de sistemas de la información geográfica.
- Establecer el tipo y número de paneles solares posibles para la implementación de un sistema fotovoltaico.

Marco Contextual

Localización:

Según los datos obtenidos de la Alcaldía de La Dorada, el municipio se localiza a 5° 27" latitud norte y 74° 40" de longitud oeste, en el Magdalena Medio, en jurisdicción con los departamentos de Antioquia y Boyacá hacia el Norte, al Sur con el departamento del Tolima, al Este con el departamento de Cundinamarca y al Oeste con los municipios de la Victoria y Norcasia. Ocupa una superficie de 574 km² y una altitud de 180m. (Alcaldia Municipal de La Dorada Caldas, 2021)

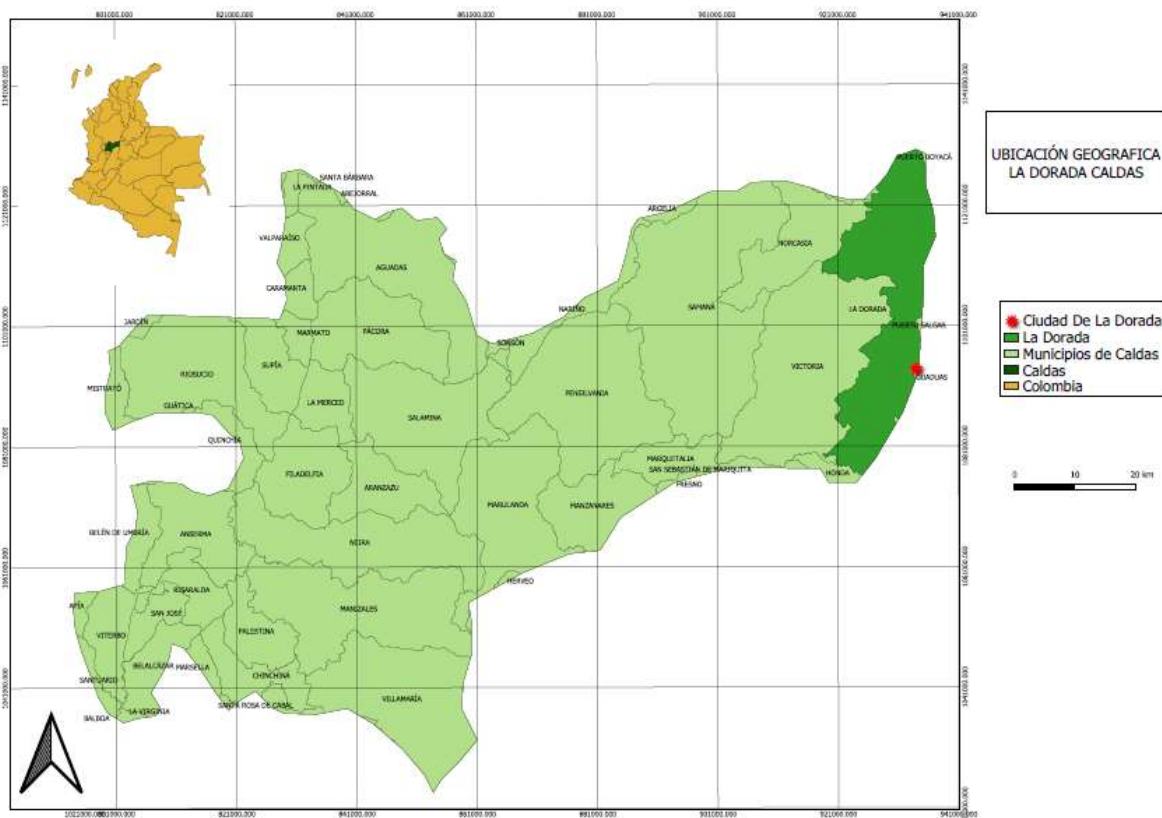


Figura 2: Ubicación geográfica La Dorada – Caldas

Contexto del Municipio

La Dorada posee una población de 72.925 habitantes (Alcaldía Municipal de La Dorada en Caldas, 2017), además cuenta con diferentes ventajas en cuanto al sector de energía solar fotovoltaica como: (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2018)

- **Ventajas económicas:** En este contexto se encuentra la reducción del costo de la energía eléctrica. También se presentan ahorros en el mantenimiento económicos ya que tiene un

menor costo en comparación con las centrales termoeléctricas y no prevé una continua financiación sino que es auto sostenible por el ahorro de energía.

- **Ventajas ambientales:** En términos ambientales, la energía solar emite bastante menos GEI a comparación de los combustibles fósiles, por ende es posible disminuir la contaminación atmosférica y reducir la cantidad de industrias encargadas de la extracción de combustibles fósiles. Así mismo tiene un gran potencial para mitigar el cambio climático.
- **Ventajas Sociales:** Socialmente se tiene la oportunidad para instruir el uso de energías renovables a la comunidad. También se desarrollan nuevas fuentes de empleo para el mantenimiento y la instalación, ya que se requiere que las personas de dicha comunidad desempeñen labores que permitan el sostenimiento de los sistemas energéticos; aumentando en igual medida, la necesidad de generar programas de formación para los integrantes de estas sociedades.
- **Ventajas en la construcción, operación y mantenimiento:** La energía solar es una de los proyectos energéticos más amigables con el medio ambiente. Ya que se pueden instalar en la parte superior de las viviendas o en lotes de tierra los cuales serán ocupados pero no tendrán mayores impactos como filtración de contaminantes, erosión del suelo, etc. También su construcción se realiza en fábricas y solo se dispone en el lugar la instalación para su operación. En el mantenimiento se puede evidenciar ventajas referentes a solo cambio de baterías o limpieza de los paneles.

Clima:

La Dorada se caracteriza por tener un clima cálido semihumedo, esto se debe a su poca altitud sobre el nivel del mar y a una ubicación cercana a la línea del ecuador, cuenta con una temperatura media de 28°C, y en verano con valores que oscilan entre los 30°C y los 34°C. En cuanto a su distribución, presenta un clima bimodal, con altas precipitaciones entre los meses de marzo a mayo, y de septiembre a noviembre. La temporada seca se da en los meses de junio, julio y agosto y en los meses de enero y febrero. (IDEAM, 2015), esto de acuerdo con el contexto de variabilidad climática.

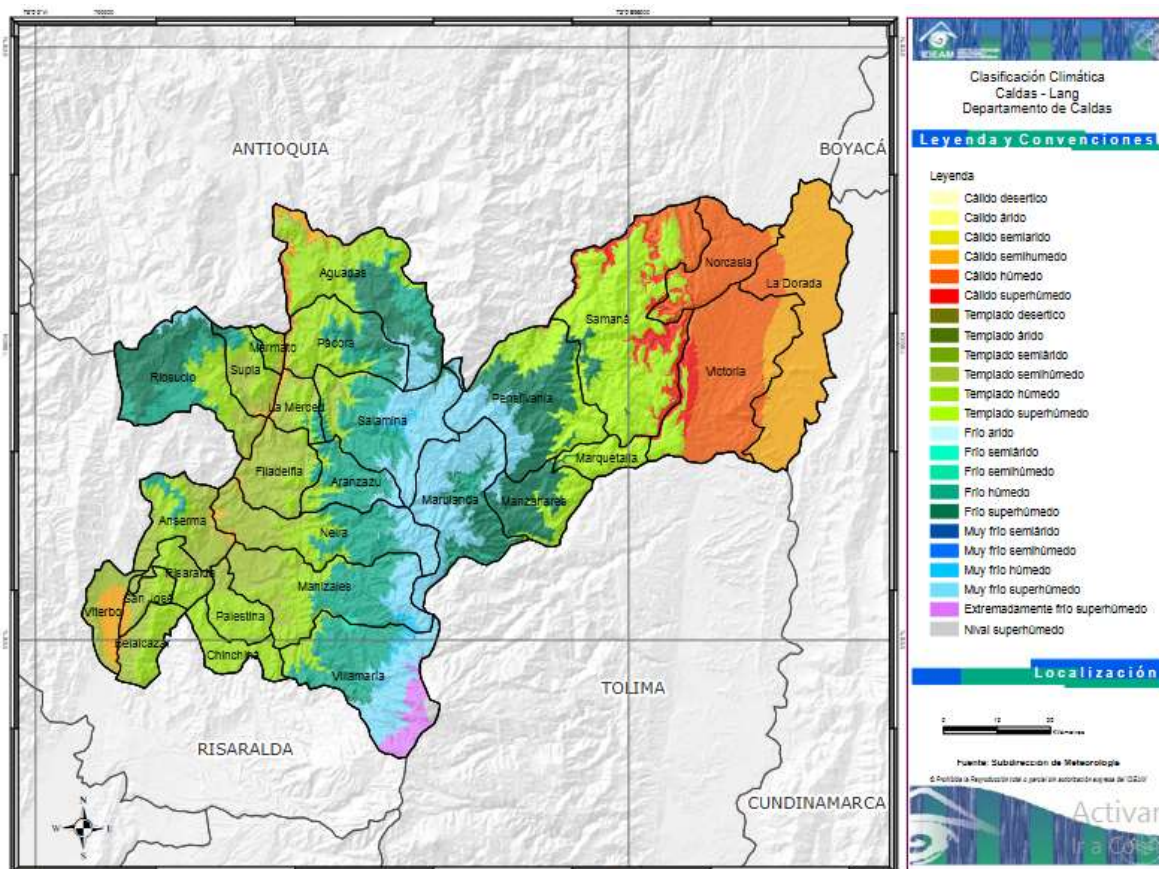


Figura 3: Clasificación Climática del Departamento de Caldas. Tomado de: IDEAM

Respecto a la dirección y velocidad del viento La Dorada cuenta con flujos de vientos alisos provenientes del Sur en el Magdalena Medio, en donde la velocidad media esta entre los 2 a $4 \frac{m}{s}$, según la Organización Meteorológica Mundial (OMM) se clasifica como vientos en calma hasta brisas suaves. (Gobierno de Caldas, 2019)

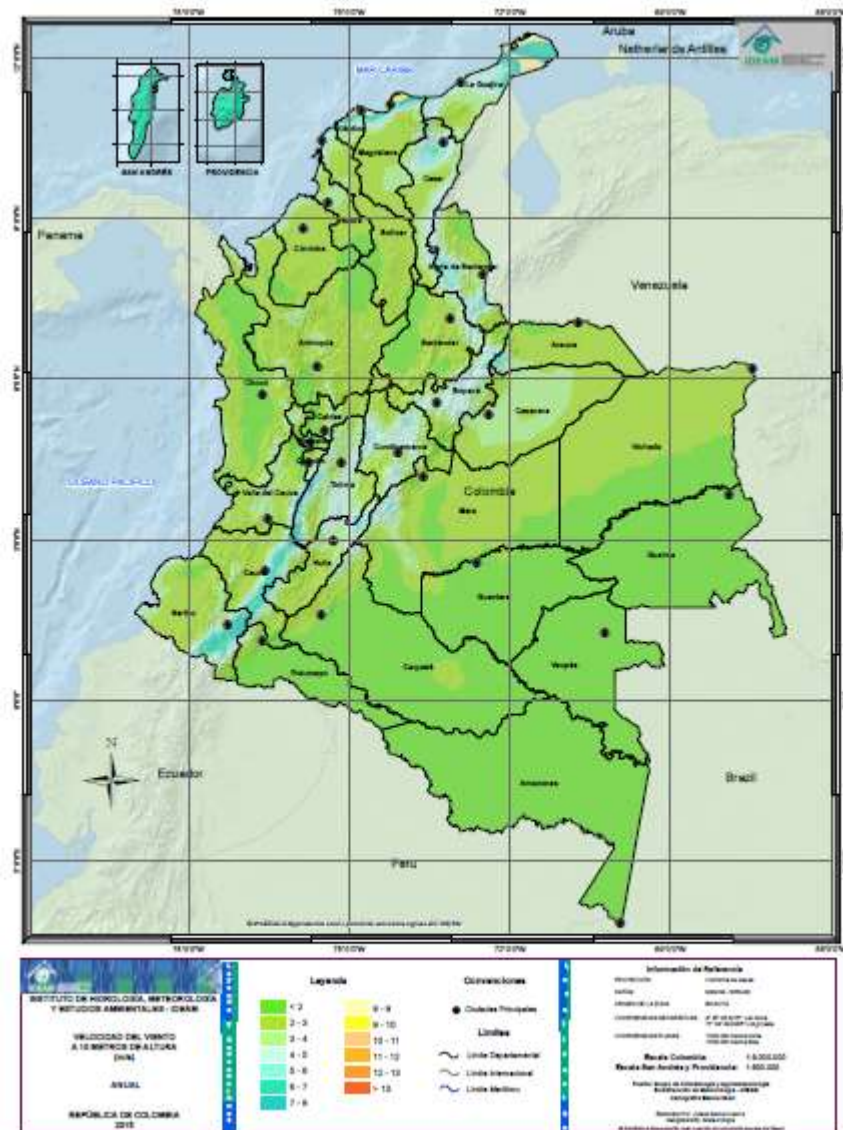
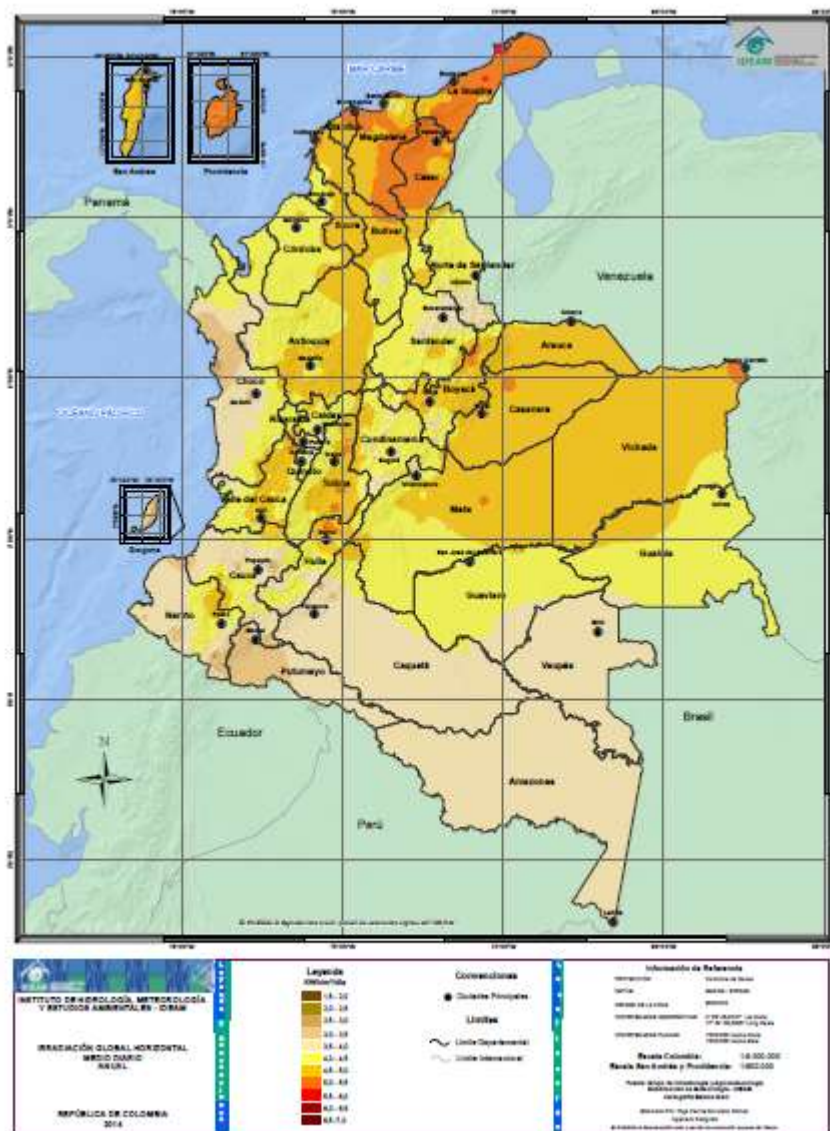


Figura 4: Velocidad del viento en Colombia. Tomado de: IDEAM

Radiación Solar

Medir la radiación solar es de gran importancia a la hora de realizar un estudio sobre el potencial energético en una determinada zona. La irradiación solar horizontal es la suma de la irradiación directa y la difusa, siendo el parámetro de mayor importancia para evaluar el potencial energético del sol en una región, dado a que permite conocer la cantidad de energía solar que se irradia en una superficie. Esta magnitud se expresa en potencia por unidad de área. El brillo solar es otro parámetro a tener en cuenta, el cual es expresado en horas, y representa las horas de sol que inciden directamente sobre una zona. (IDEAM, 2014)



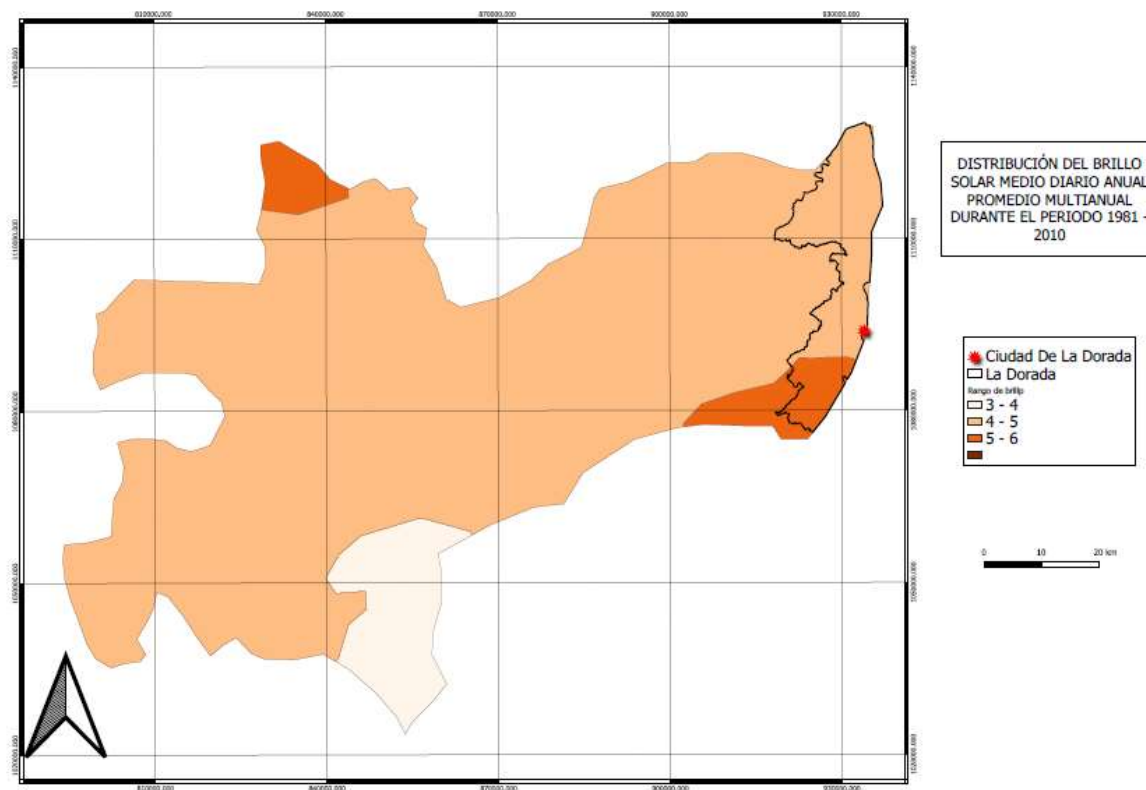


Figura 5: Brillo solar departamento de Caldas

Marco Teórico

Estado del Arte

Los gases de efecto invernadero tienen una gran influencia en el cambio climático (IPCC, 2014); gran parte de estos gases provienen de la industria energética por el uso de combustibles fósiles los cuales se están agotando (IPCC, 2018). Las energías renovables como la solar, eólica, geotérmica, mareomotriz, entre otras. Son fuentes inagotables, que generan en

menor medida gases de efecto invernadero de acuerdo con su funcionamiento, y contribuyen en gran medida con las medidas de mitigación contra el cambio climático.

A nivel mundial la energía solar fotovoltaica aprovechada ha ido en aumento, en el año 2014 la capacidad de energía solar era de 177 GW, y para el año 2015 se instalaron 50 GW, logrando un valor de 227 GW teniendo un crecimiento del 25%. Para el año 2015 las energías renovables representaron el 23,7% de la capacidad a nivel mundial, donde la fotovoltaica figuraba el 1,2%. (Gómez et al, 2017) En el año 2016 se instalaron 71 GW y para el 2017 98,9 GW. A finales del 2018 se alcanzaban los 500 GW con una instalación de 99,8 GW, representando el 2,6% de la demanda mundial. En cuanto al año 2019 se instalaron 118 GW de energía solar fotovoltaica en el mundo, logrando una capacidad de 651 GW, superando así la capacidad de energía eólica la cual se situaba en 644 GW. (ENERGÍAS RENOVABLES, 2019)

La producción de energía eléctrica en Colombia en su mayoría es hidroeléctrica, con un 68%, la cual se obtiene por el aprovechamiento de las corrientes de agua, donde ocurre un proceso de generación energético que comienza por la transformación de energía potencial en cinética y posteriormente en mecánica, para finalizar con eléctrica. Uno de los impactos generados es la emisión de metano, que se produce en las presas por la descomposición de la biomasa. Aun así el metano no es el único GEI generado, también lo es el vapor de agua que se origina en los embalses. El metano provoca que la temperatura aumente y hace que el agua del embalse se evapore con mayor facilidad, el vapor de agua al ser otro GEI ocasiona que aumente más la temperatura y así produciendo una mayor evaporación, es decir, una retroalimentación positiva. Aunque hay otra retroalimentación que reprime el proceso, esto se debe a que si hay más vapor de agua en la atmósfera, más precipitaciones habrá.

En el País también se produce energía en Centrales Térmicas, aproximadamente un 37%, mientras que la energía solar no alcanza el 1% del total de la producción (Acolgen, 2021). Sin embargo esta última ha tenido un crecimiento exponencial y se espera que para el 2028 el 10% provenga de proyectos solares fotovoltaicos, de acuerdo con las proyecciones del Ministerio de Minas y Energía y la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME).

En Colombia según el Registro de Proyectos Vigentes (RPV) de la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), hay vigentes 306 proyectos de energía solar fotovoltaica, de los cuales 23 con una generación mayor a 100 MW (UPME, 2021). Entre los 306 proyectos más importantes y los que ya se inauguraron se encuentran:

El Paso: La multinacional Italiana Enel Green Power la cual opera en la industria energética en el campo de las energías renovables inauguró en el departamento de Cesar Colombia el 5 de abril del 2019 la planta fotovoltaica más grande del país, la cual posee una capacidad de 86,2 MW y puede producir 176 GW/h al año logrando satisfacer aproximadamente a 102.000 hogares, alrededor de 400.000 personas en el consumo de energía eléctrica. (enel, 2019)

Bosques Solares de los Llanos I: A principios de Octubre del 2020, Trina, una multinacional China de energía solar, inauguró en el municipio de Puerto Gaitán en el departamento del Meta Colombia, una instalación fotovoltaica con la capacidad de generar 20 MW, y alcanza una producción al año de 51 GW/h, esto le otorga poder suplir las necesidades de consumo energético de aproximadamente 23.800 familias. (UPME, 2021)

Sebastosol: Es el proyecto con la mayor capacidad en Colombia, unos 700 MW, este parque solar estará ubicado en el municipio de Cimitarra, en el departamento de Santander. El

proyecto se encuentra en Fase 2, y se espera que entre en operación el 1 de diciembre del 2022. (UPME, 2021)

Parque Solar Cuestecitas: Este proyecto estará ubicado en Maicao, La Guajira, este tendrá una potencia de 600 MW, generando 1500 GWh/año, y beneficiará a 710.000 habitantes. El proyecto se encuentra en Fase 2, y entrara en operación el 1 de octubre del 2024. (UPME, 2021)

Marco Conceptual

Efecto Invernadero:

Uno de los procesos naturales de la superficie terrestre implica su calentamiento, esto ocurre por la acción del sol y gases atmosféricos en el planeta, algunos gases en la atmosfera bloquean el calor que recibimos del sol, impidiendo que escape de la atmósfera, produciendo un efecto invernadero. Los gases se caracterizan por su escasa proporción en ppm en el aire, así mismo cambian el balance energético de la Tierra. El metano, el vapor de agua y el dióxido de carbono son algunos de los GEI, este último solo representa el 0,035% en la atmosfera. No obstante, su presencia es fundamental, esto se debe a su propiedad de absorber la radiación infrarroja emitida por el planeta, por ende tiene un papel crítico en el control del clima, lo mismo ocurre con los otros GEI. Es por esto que sin el efecto invernadero la vida en el planeta no sería posible. (Aguilar, 2003).

Gases de Efecto Invernadero (NASA, 2021)

Vapor de Agua: Es el GEI más abundante, sin embargo, se caracteriza por su retroalimentación, ya que ocasiona que aumente más la temperatura y así produce una mayor evaporación, es decir, una retroalimentación positiva. Aunque hay otra retroalimentación que reprime el proceso, esto se debe a su relación con la precipitación ya que a mayor concentración de vapor de agua en la atmósfera, más precipitaciones habrá.

Dióxido de Carbono:

Es producido por procesos naturales como las erupciones volcánicas o la respiración, además es generada por actividades antropogénicas como el uso de combustibles fósiles, la deforestación y el cambio en el uso del suelo, estas actividades han hecho que este gas aumente su concentración en el aire en una tercera parte desde comienzos de la revolución industrial.

Metano:

Este gas es producido por fuentes naturales como la descomposición de la materia orgánica, y por actividades humanas como la agricultura, la ganadería y los rellenos sanitarios. El metano es el más destructivo de los GEI, dado a que tiene 20 veces más poder calorífico que el dióxido de carbono.

Óxido de Nitroso y Óxido de Azufre

Gas de efecto invernadero el cual es producido por la incineración de combustibles fósiles y de biomasa, incluyendo las prácticas de cultivo en el suelo, principalmente por el uso inadecuado de fertilizantes. Adicionalmente, estos dos GEI son generadores de lluvia ácida cuando se encuentran en concentraciones elevadas en la atmósfera.

Clorofluorocarbonos:

Son derivados de los hidrocarburos enteramente industriales con diversas aplicaciones, están regulados por tratados internacionales dado a que contribuyen con la destrucción de la capa de ozono.

Cambio Climático:

El cambio climático contempla y engloba las acciones de cada uno de los anteriormente mencionados, este es una variación en el clima del planeta durante largos períodos de tiempo, el cual ya se ha dado anteriormente en diferentes ocasiones durante la historia geológica de la Tierra causado por ciclos solares, erupciones volcánicas, movimiento de las placas tectónicas, entre otros. Igualmente estos también son producidos por actividades antropogénicas, las cuales repercuten en la atmósfera durante un período de tiempo. (IPCC, 2013)

Energía Renovable:

Las energías renovables son aquellas energías que se obtienen de fuentes inagotables, como el aprovechamiento de la radiación solar la cual no supone un agotamiento de dicha energía, lo mismo ocurre con otras fuentes como el agua o el viento. Estas fuentes energéticas son respetuosas con el medio ambiente A diferencia de las energías basadas en combustibles fósiles, las renovables permiten un aprovechamiento indeterminado de tiempo (Jarauta, 2010)

Energía Eólica:

La energía eólica se obtiene a partir del aprovechamiento del viento. El viento se origina por las diferencias de presión provocadas por el sol en el planeta; es decir que se deriva de las irregularidades de la superficie terrestre y el calentamiento de la atmósfera provocado por el sol.

El aerogenerador es un dispositivo mecánico de rotación, donde ocurre una conversión de la fuerza del viento en electricidad, donde el viento hace girar las palas y el generador eléctrico del aerogenerador. (S.A.U, 2007).

Biomasa:

La biomasa o también conocida como la energía verde del planeta corresponden al aprovechamiento de materia orgánica como fuente de energía. La materia orgánica puede provenir de diferentes fuentes, bien sea como producto de fuentes naturales, cultivos de fuentes

energéticas, o residuos orgánicos de actividades agrícolas. Sin embargo, la biomasa sólo será renovable si lo que consumimos es directamente proporcional a lo que se recupera. La obtención de energía eléctrica mediante la biomasa es a partir de calderas en las que se introduce la materia orgánica para posteriormente quemarse y aprovechar el calor generado en el proceso. (Cámara de Comercio de Bogotá, 2018).

Energía Hidráulica:

La energía hidráulica se obtiene por el aprovechamiento de las corrientes de agua. Donde ocurre un proceso de generación energético que comienza por la transformación de energía potencial en cinética y posteriormente en mecánica, para finalizar con eléctrica. No obstante, la energía eléctrica es la encargada de regular el proceso de conversión de la energía según la demanda.

Las centrales hidroeléctricas son instalaciones que cuentan con unas turbinas hidráulicas que aprovechan la energía potencial de una masa de agua, haciendo girar un generador eléctrico para así obtener la energía eléctrica. Hidráulica (Ortiz, 2011)

Energía Geotérmica:

La tierra almacena energía en forma de calor en los materiales que componen el Manto y el Núcleo, donde se genera un flujo ascendente hacia la Corteza terrestre, una vez alcanza la superficie, esta se disipa en la atmósfera.

La energía geotérmica se obtiene a partir del aprovechamiento de la energía proveniente del interior de la tierra. En las centrales geotérmicas, el vapor originado en el interior de la tierra pasa a través de una turbina la cual hace girar un generador eléctrico, produciendo electricidad. (Secretaría de Energías Renovables y Eficiencia Energética, 2019)

Energía Solar:

El sol es la principal fuente de energía, siendo de vital importancia para la vida en el planeta. Este genera su energía por medio de la fusión nuclear liberando grandes cantidades de energía en forma de luz y calor. “La luz y el calor que percibimos del Sol es el resultado de estas reacciones nucleares de fusión: núcleos de hidrógeno chocan entre sí, y se fusionan dando lugar a un núcleo más pesado de helio liberando una enorme cantidad de energía.” (Planas, 2009) La energía liberada por el Sol puede ser aprovechada mediante el uso de diferentes tecnologías a fin de generar energía eléctrica, una de ellas es la energía solar fotovoltaica, la cual permite convertir la radiación solar en electricidad por medio de células fotovoltaicas integradas en módulos fotovoltaicos. (Méndez & Cuervo, 2007)

Otras fuentes de energía como la energía nuclear, la mareomotriz, la geotérmica, la undimotriz, o las centrales termoeléctricas son superadas con creces por la energía solar, así mismo otras energías dependen directamente de la radiación que proporciona el sol, como la energía hidráulica, la eólica, la biomasa, entre otras. Además un indicador de la cantidad de energía solar que llega a la Tierra es el cambio climático. (Tous, 2009)

Panel Solar

Un panel solar es un conjunto de celdas solares individuales compuestas normalmente de silicio, el cual genera una desigualdad de tensión o de potencia en los extremos de las celdas al recibir la energía del sol en forma de luz. **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

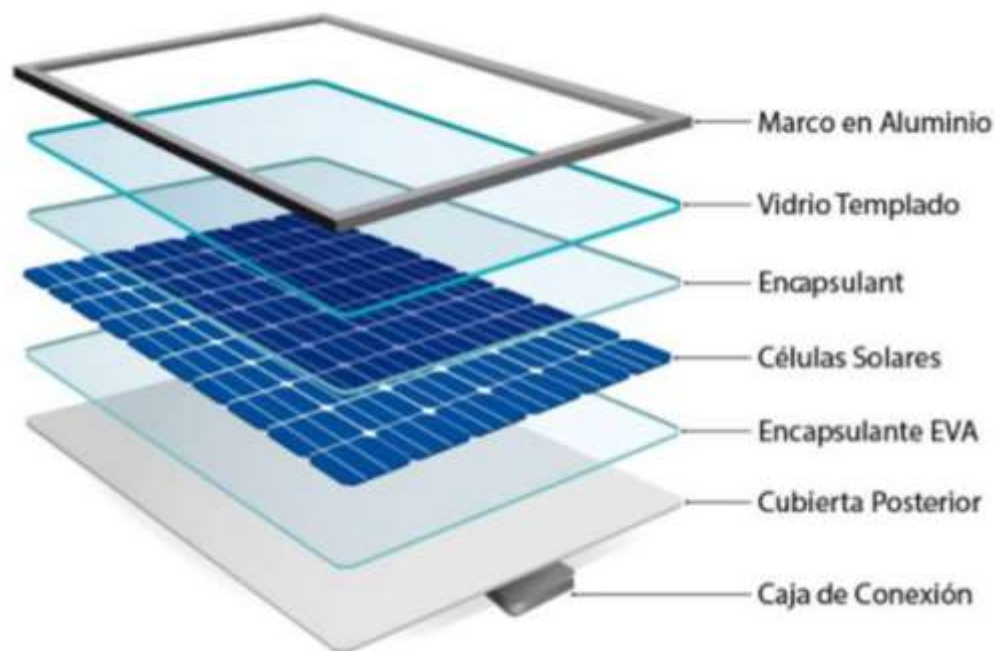


Figura 6: Partes de un panel solar fotovoltaico

Partes de un panel solar fotovoltaico: (Planas, 2016)

Marco de Soporte:

Permite la fijación de los diferentes componentes, normalmente es de Aluminio aunque puede ser de otros materiales, el material debe ser resistente ante cualquier situación meteorológica.

Cubierta Frontal:

Su función principal es proteger al panel frente a situaciones meteorológicas o agentes externos que puedan provocar algún daño a los componentes; normalmente se utiliza el vidrio templado.

Encapsulado:

Las células solares son protegidas por el encapsulado, en el cual se utilizan los materiales Etil Vinil Acetileno (EVA). Estos transmiten de forma eficiente la radiación solar.

Cubierta Posterior:

Es un sellado de láminas de fluoruro de polivinilo (PFV), encargadas de proteger el encapsulado EVA de los efectos de la radiación ultravioleta, además de ser un aislante eléctrico.

Célula Solar:

Una célula solar es un dispositivo el cual permite convertir la luz en electricidad. Absorbiendo los fotones de luz y emitiendo electrones, los cuales son capturados producen una corriente eléctrica que se utiliza como electricidad.

Caja de Conexión:

Parte la cual se ubican los terminales de interconexión; uno positivo y otro negativo, permitiendo la continuidad del circuito eléctrico. En el interior están los diodos de protección los cuales tienen como función proteger los módulos de efectos en las sombras parciales y de la inversión de la polaridad. (Baselga, 2019)

Tipos de Páneles:

(Roldan, 2011)

Monocristalino:

Son páneles compuestos de una barra cilíndrica de silicio cristalizado con un alto porcentaje de pureza y presentan rendimientos en torno al 14 y 18%. Su vida útil es de 20 años.

Policristalino:

Son páneles compuestos por secciones en una barra de silicio, que a diferencia del monocristalino, el cristalizado no es de una sola pieza, sino que son granos cristalinos; el rendimiento del panel esta entre el 10% y el 15%

Amorfo:

Son páneles compuestos de silicio en forma de una capa, sin embargo no presenta cristalizado, su rendimiento es del 10%.

Tándem:

Son páneles compuestos de dos o más materiales además del silicio, como el dióxido de titanio, con esta combinación ambos materiales aprovechan la radiación solar logrando rendimientos alrededor del 35%. El mayor problema para la construcción de estos páneles son los elevados costos que presentan. (Varela, 2018)

La temperatura a la que están expuestos los páneles está relacionada con la eficiencia de estos; los páneles policristalinos se comportan mejor a altas temperaturas que los

monocristalinos. Las células de Silicio policristalino poseen un coeficiente de temperatura menor, por ello al aumentar la temperatura la disminución de potencia es menor (Baselga, 2019)

Marco Legal

La Ley 1715 de 2014 (Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional). Esta es la ley más importante para el tema de energías renovables, es expedida por el congreso de la República en conjunto con el ministerio de minas y energía. (Congreso de la República, 2014).

Ley 1844 de 2017 (Por medio de la cual se aprueba el Acuerdo de París, adoptado el 12 de Diciembre de 2015 en París Francia). Esta Ley tiene como objetivo establecer medidas para la reducción de emisiones de GEI. (Congreso de la República, 2017).

El ministerio de minas y energía expidió el Decreto 1543 de 2017 mediante el cual creó el Fondo de Energías no Convencionales y Gestión Eficiente de la Energía (Fenoge). (Presidente de la República, 2017)

La Ley 1931 de 2018 (Por la cual se establecen directrices para la gestión del cambio climático). Ley de mayor importancia en Colombia en la lucha contra el cambio climático. (Congreso de la República, 2018)

La Ley 2036 de 2020 (Por medio la cual se promueve la participación de las entidades territoriales en los proyectos de generación de energías alternativas renovables y se dictan otras disposiciones). Esta ley promueve a las organizaciones la utilización de fuentes alternativas de energía. (Congreso de la República, 2020)

Metodología

El presente proyecto cuenta con un componente de análisis investigativo y un componente práctico. Desde el componente de análisis investigativo se realizó una descripción meteorológica de la zona de estudio, esto a fin de identificar cuál es el tipo de panel solar que mejor se ajuste según las características de la zona. Además se permitió conocer los diferentes parámetros de importancia para que una ubicación registre mayor radiación solar.

Desde el componente práctico con ayuda de herramientas de Sistemas de la Información Geográfica - SIG, se realizó un estudio para identificar cual es la localización con una mayor viabilidad según la topografía y radiación solar del municipio. Los SIG también permitirán conocer parámetros necesarios para el cálculo del potencial solar, una vez se obtengan datos numéricos de la radiación se realizan los cálculos de la energía generada por panel solar. Esto para sugerir la cantidad de paneles que atenderían la necesidad energética, lo cual está ligado a su capacidad y por ende a su tamaño.

El planeta recibe una gran cantidad de radiación solar, la cual una parte es reflejada al espacio, y otra se encarga de calentar la atmósfera y los océanos. La cantidad que llega a la atmósfera se conoce como constante solar y es de 1367 W/m^2 , este valor tiene variaciones bajas y se mantiene estable durante centenares de años, depende principalmente de la actividad solar y planetaria. La radiación que llega a la superficie de la Tierra es solo una fracción de la que recibe la atmósfera, y varía dependiendo de la transmisividad, la latitud, la heliofanía, el día del año, y la elevación del sol en el horizonte. (IDEAM, 2014)

La latitud es una de las variables a tomar en cuenta para medir la radiación solar, esto se debe a que en las latitudes bajas se presenta mayor potencial de radiación, en el ecuador los rayos solares llegan de forma más directa en comparación al hemisferio norte o sur, donde hay una mayor dispersión de los rayos del sol, teniendo en cuenta la inclinación. Al llegar más directos los rayos en el Ecuador, hay mayor cantidad de energía por metro cuadrado. En el Ecuador y en los Trópicos hay un excedente de cantidad de energía, esto se debe a que la cantidad de luz absorbida es mayor a la cantidad de calor irradiado, mientras que en los Polos hay un déficit de energía anual, ya que la cantidad de luz absorbida es mucho menor a la cantidad de calor irradiado. (NASA, 2009)



Figura 7: Dispersión de los rayos del sol de acuerdo a la latitud

En su paso por la atmósfera la radiación proveniente del sol pierde energía, esto se debe a las diferentes moléculas de gases que se encuentran en ella, como el vapor de agua, el dióxido de carbono, el nitrógeno, o el oxígeno absorben o dispersan las radiaciones electromagnéticas. Cada gas presente en la atmósfera contribuye con un espesor óptico (t), siendo el espesor óptico total la suma de cada espesor de las diferentes moléculas, y se denomina transmisividad total de la atmósfera (T). Cada uno de los espesores ópticos depende de la interacción que hay entre el gas y la radiación electromagnética.

Modificación

Durante la elaboración del proyecto Se planteó una metodología la cual consistió en obtener datos de radiación solar horarios a lo largo de los últimos 20 años; entre las variables que se necesitaban para llevar a cabo dicha metodología estaban:

- Temperatura horaria
- Humedad relativa horaria
- Día Juliano
- Constante Solar
- Ángulo solar con respecto a la horizontal
- La posición angular de la tierra en su órbita.
- Presión atmosférica
- Columna Vertical de Ozono
- Declinación Solar
- Transmitancias debido al ozono, vapor de agua, gases uniformemente mezclados, y aerosoles

Así mismo las ecuaciones necesarias para el cálculo de la radiación solar en el municipio de La Dorada fueron las siguientes:

La irradiación directa horizontal está dada por la siguiente ecuación. (Villicaña, 2012)

$$I_{DH} = [0.9662 \times C \times T_{CTA}] \text{Sen } A \left(\frac{W}{m^2} \right)$$

Donde:

C: Constante solar en función del día juliano.

A: Altitud solar en grados

0.9662: Factor de corrección que se ajusta a las longitudes de onda de 0.3 a 3 μm del espectro solar.

T_{CTA} : Coeficiente de transmisibilidad atmosférica, el cual se calcula a partir de $T_o T_g T_w T_{aa}$, las cuales son las transmitancias de ozono, transmitancia de los aerosoles, transmitancia de vapor de agua, y transmitancia debida a los gases uniformes mezclados.

La radiación difusa horizontal está dada por la siguiente ecuación. (Canales, 2010)

$$I_{dh} = I_{dr} + I_{da} + I_{dm}$$

I_{dr} : Radiación difusa debida a la dispersión por moléculas de aire (difusión por Rayleigh)

$$I_{dr} = [0,79(Cr)(T_o T_g T_w T_{aa})(0,5)] \left[\frac{1 - T_r}{(1 - m_a + m_a^{1.02})} \right] SenA$$

Para el cálculo de este parámetro se utilizó la transmitancia de ozono T_o , transmitancia de los aerosoles T_{aa} , transmitancia de vapor de agua T_w , y transmitancia debida a los gases uniformes mezclados T_g , la constante de radiación solar Cr, y la masa de aire m_a .

I_{da} : Radiación difusa debida a la presencia de aerosoles

$$I_{da} = [0,79(Cr)(T_o T_g T_w T_{aa})(Fc)] \left[\frac{1 - T_r}{(1 - m_a + m_a^{1.02})} \right] SenA$$

En el cálculo de la radiación difusa debida a la presencia de aerosoles se emplean los mismos valores de la anterior ecuación, excepto la dispersión por aerosoles F_c cuyo valor es de 0.84, según Iqbal. (Iqbal, 1983).

I_{dm} : Radiación difusa debida a la reflexión de la superficie

$$I_{dm} = [I_{DH}(\text{Sen } A + I_r + I_{da})] \left[\frac{P_g x p'a}{(1 - p_g x p'a)} \right] \text{Sen } A$$

Para calcular este parámetro, se necesitaron valores de coeficiente de reflexión de la superficie p_g , así mismo el albedo atmosférico $p'a$, es decir la reflexión que existe entre el suelo y el cielo.

Para implementar dicha metodología se realizó una búsqueda intensiva de dichos parámetros.

Indagando sobre las diferentes variables necesarias, se encontró que de la temperatura horaria y la humedad relativa horaria no se encuentran con acceso libre a dichos, ya que se buscó información en diferentes entidades, como el IDEAM, en corporaciones autónomas regionales como Corpocaldas, La CVC y demás estaciones que posee la Universidad Nacional, en la UDEGER y en las estaciones meteorológicas disponibles con registros como la de La Dorada. Dicha búsqueda no arrojó suficiente información necesaria, por lo tanto al no encontrar los datos

precisos para llevar a cabo la metodología se hizo una modificación adecuada para el desarrollo de la investigación, la cual permitió realizar la investigación de manera adecuada y precisa.

Esta consiste en la búsqueda e investigación de datos teniendo en cuenta los diferentes parámetros de importancia que acoten una ubicación en donde se registre mayor radiación solar.

Una vez realizada la investigación se llevó a cabo un análisis en el municipio de La Dorada sobre los diferentes parámetros como lo son: La radiación solar global horizontal, brillo solar, latitud, Hora Pico Solar de los que depende la irradiación solar en un área.

Definiciones (IDEAM, 2014)

Radiación Global Horizontal:

La radiación global horizontal es toda la radiación que llega al Planeta, está se mide sobre un plano horizontal en un ángulo de 180° , este parámetro es el más importante para la evaluación del potencial solar en una determinada región, también se puede expresar como la suma entre la radiación difusa y directa.

Radiación Directa:

La radiación directa, como su nombre lo indica, es aquella radiación que llega directamente del sol a la superficie de la Tierra sin haber sufrido difusión, y depende de los siguientes factores.

- Transparencia atmosférica.
- Constante Solar
- Altura del Sol sobre el Horizonte

Radiación Difusa:

La radiación difusa es aquella radiación que interactúa con las diferentes moléculas que se encuentra en su paso por la atmósfera como las nubes, o una elevada concentración de gases de efecto invernadero y provoca difusión en todas las direcciones, y depende de los siguientes factores:

- Nubosidad.
- La altura del Sol sobre el horizonte
- Altura sobre el nivel de Mar
- Cantidad de partículas en la atmósfera

Hora Pico Solar

La Hora Pico Solar (HSP) de un día, es el número de horas de energía por unidad de superficie con una irradiancia ficticia constante de 1000 w/m^2 . (Mascarós, 2016). Para el diseño de un sistema fotovoltaico, la radiación solar se mide en HSP.

Factor de Seguridad (Jimenez, 2012)

El factor de seguridad es un incremento o sobredimensionar el consumo de energía, con el fin de compensar gastos de corriente eléctrica.

Nota: Para el dimensionamiento de instalaciones fotovoltaicas, si no se dispone de datos adicionales, el factor de seguridad será de 1,2.

Distancia entre módulos (d).

(Baselga, 2019)

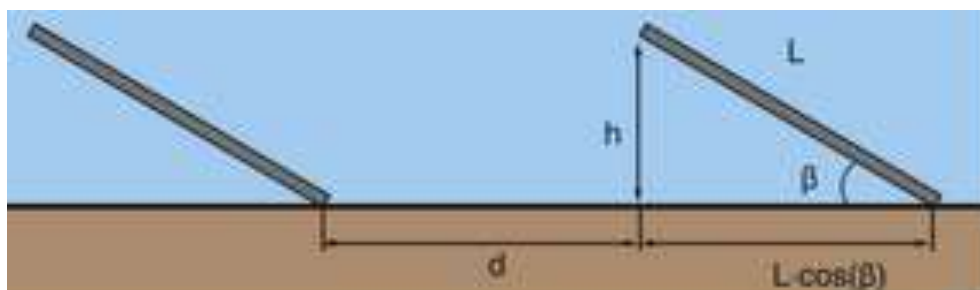


Figura 8: Distancia entre módulos. Tomado de: Montaje y mantenimiento de instalaciones fotovoltaicas.

$$d = \frac{h}{\tan(61^\circ - \textit{latitud})}$$

h = altura del obstáculo que se interpone al sol y que precede a otros módulos, en metros (m).

Nota: En el hemisferio Norte la inclinación de los paneles será al Sur, y en el hemisferio Sur la inclinación será al Norte. (Roldan, 2011).

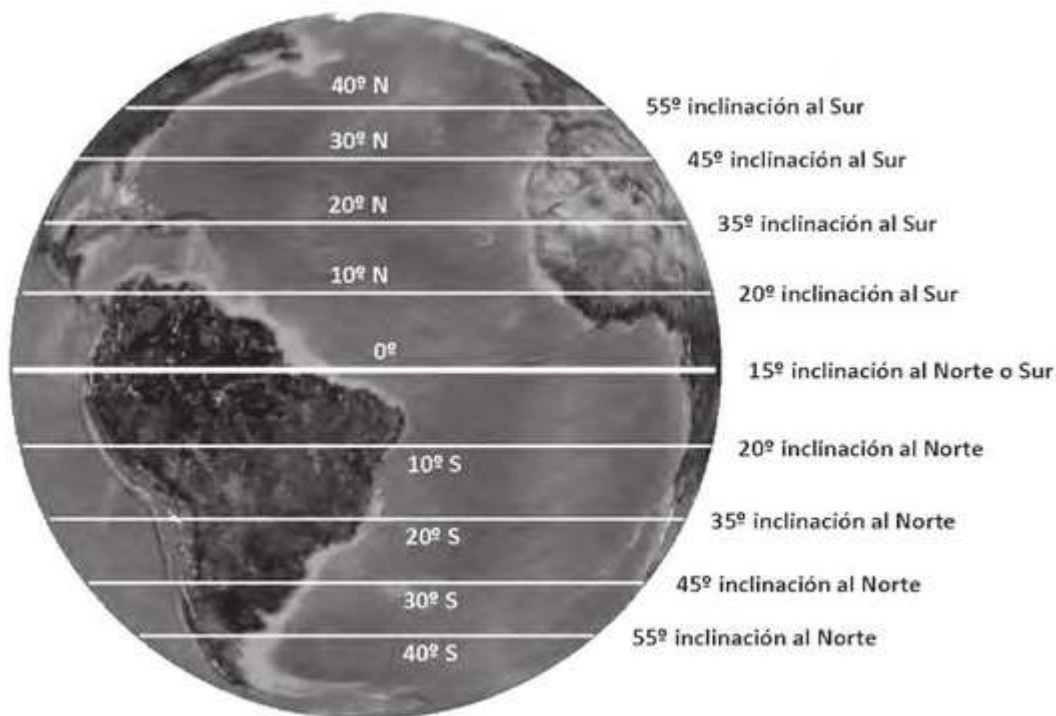


Figura 9: Recomendación para la inclinación de módulos según latitud. Tomado de: Energía Solar Autónoma.

De acuerdo a la investigación realizada, el tipo de panel que presenta un mejor rendimiento en el municipio de La Dorada – Caldas es el Policristalino, ya que estos paneles se comportan mejor a altas temperaturas aumentando así su eficiencia. La placa solar seleccionada es una Placa Canadian Solar 405W Policristalina, tiene unas dimensiones de 2108 x 1048 x 40 mm y un peso de 25 kg. (CANADIAN SOLAR INC, 2021)

Características del Panel Solar

- Placa Canadian Solar 405 W Policristalino Hiku.

- Potencia máxima del panel: 405 W
- Voltaje a máxima potencia (VMP): 38,9 V
- Corriente a máxima potencia (IMP): 10,42 A
- Voltaje: 24V
- Dimensiones: 2108 mm x 1048 mm x 40 mm y un peso de 25 kg

Resultados:

Latitud de La Dorada: 5° 27''

La inclinación del panel en el municipio de La Dorada es de 15° Sur acorde con la Figura 9

Conforme con el mapa de radiación global horizontal medio diario anual de Colombia, La Dorada se beneficia de un registro entre 4,5 y 5,0 $\frac{kWh}{m^2}$, lo que es igual a 4,5 y 5,0 Horas Solar Pico.

$$HSP = \frac{4500 \frac{W}{m^2}}{1000 \frac{W}{m^2}} = 4,5 h$$

1. Calcular la altura del módulo utilizando el Teorema de Pitágoras.

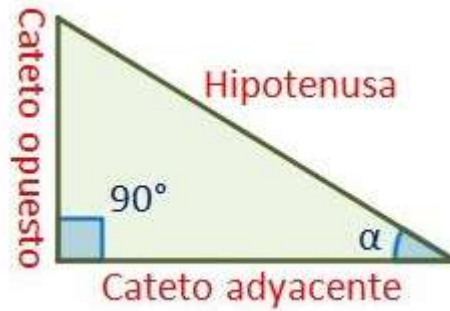


Figura 10: Triángulo rectángulo. Tomado de:Universoformulas

$$\sin \alpha = \frac{\text{cateto opuesto}}{\text{hipotenusa}}$$

$$\text{cateto opuesto} = \text{hipotenusa} \times \sin \alpha$$

$$\text{Hipotenusa} = \text{Longitud del módulo}$$

$$\alpha = \text{Inclinación del módulo}$$

$$\text{Cateto opuesto} = h$$

$$h = 2,108 \text{ m} \times \sin 15^\circ$$

$$h = 0,545 \text{ m}$$

2. Calcular la distancia entre paneles fotovoltaicos (d)

$$d = \frac{h}{\tan(61^\circ - \text{latitud})}$$

$$h = 0,545 \text{ m}$$

$$\text{latitud} = 5^\circ$$

$$d = \frac{0,545 \text{ m}}{\tan(61^\circ - 5^\circ)}$$

$$d = 0,367 \text{ m}$$

3. Calcular la energía que puede entregar el panel solar en la ubicación.

$$E_{pt} = P_{max} \times HSP \left(\frac{V_{pmax}}{V_p} \right)$$

$$E_{pt} = 405 \text{ W} \times 4,5 \frac{\text{h}}{\text{día}} \left(\frac{38,9 \text{ V}}{24 \text{ V}} \right)$$

$$E_{pt} = 2953,96 \text{ Wh} \approx 2954 \text{ Wh}$$

4. Cálculo del número de paneles.

Tomando como referencia la granja solar El Paso, el cual genera 86,2 MW para una población de 400000 habitantes, se realizaron los cálculos aproximados de energía demandada para La Dorada, que cuenta con una población de 73000 habitantes.

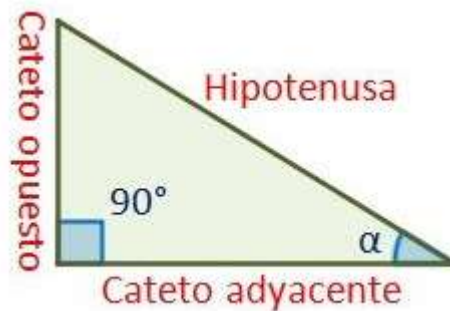
$$X = \frac{73000 \text{ hab} \times 86,2 \text{ MW}}{400000 \text{ hab}} = 15,73 \text{ MW}$$

$$N_{tp} = \frac{E_{demandada}}{E_{totalpanel}}$$

$$N_{tp} = \frac{15730000 \text{ Wh} \times 1,2}{2954 \text{ Wh}} = 6389,9 \approx 6490 \text{ paneles}$$

5. Cálculo del área que ocuparán los paneles

Los 6490 paneles serán distribuidos en 89 x 73



$$\cos \alpha = \frac{\text{Cateto adyacente}}{\text{hipotenusa}}$$

$$\text{Cateto adyacente} = \text{hipotenusa} \times \cos \alpha$$

Hipotenusa = Longitud del módulo

$\alpha =$ *Inclinación del módulo*

cateto adyacente = l

$$l = 2,108m \times \cos 15^\circ = 2,036m$$

$L =$ *distancia entre páneles + l*

$$L = 0,367m + 2,036m = 2,406m$$

longitud del proyecto = 2,406m \times 73 paneles

$$\text{logitud del proyecto} = 175,6m \approx 176m$$

amplitud del proyecto = 1,048m \times 89 paneles

$$\text{amplitud del proyecto} = 93,27m \approx 93m$$

$$\text{área del proyecto} = 176m \times 93m = 16398m^2$$

$$1 \text{ hectárea} = 10000m^2$$

$$16398m^2 \times \frac{1 \text{ ha}}{10000m^2} = 1,639ha \approx 1,64ha$$

Conclusiones

- La energía solar fotovoltaica, es una alternativa para reducir las emisiones de GEI generadas por fuentes de energía convencional, ya que no produce emisiones hacia la atmósfera caracterizándose por ser una fuente inagotable de energía, contribuyendo en gran parte con las medidas de mitigación contra el cambio climático.
- El municipio de La Dorada - Caldas, posee los registros más altos de radiación solar del departamento, considerándose éste, el mejor sitio de aprovechamiento de la zona.
- La intensidad energética, en el municipio de La Dorada – Caldas, es suficiente para satisfacer la demanda de energía eléctrica a partir de paneles fotovoltaicos.
- De acuerdo a los estudios, cada módulo fotovoltaico con una potencia de 405W puede generar 2954 Wh de energía en el municipio de La Dorada – Caldas.
- De acuerdo con los resultados, los módulos fotovoltaicos que tienen unas dimensiones de 2108 x 1048 x 40 mm y un peso de 25 kg, deben de tener una inclinación de 15° hacia el hemisferio Sur, asimismo la distancia entre paneles es aproximadamente de 0,367 m.
- Conclusión zona con mayor radiación... Sureste

- La cantidad de energía solar fotovoltaica aproximada para suplir las necesidades de la población de La Dorada - Caldas, es de 15,73 MW, para un aproximado de 73000 habitantes totales.
- La granja solar, ocupa un área aproximada de 1,64 hectáreas, la cual estaría compuesta por 6490 paneles aproximadamente, cada uno con una potencia de 405W, generando 2954Wh de energía.

Recomendaciones:

En base a los resultados obtenidos en la presente investigación, se recomienda:

- Implementar una mayor cantidad de estaciones climatológicas.
- Mejorar la accesibilidad a los registros de datos climatológicos.
- Aprovechar la radiación solar en el municipio de La Dorada – Caldas, con el fin de implementar una granja solar.
- Generar conocimiento investigativo con fines de aprovechamiento de energías alternativas.

Bibliografía

ACNUR. (02 de 2016). *¿Cuáles son las causas del calentamiento global?* Obtenido de UNHCR

ACNUR: <https://eacnur.org/blog/causas-del-calentamiento-global/>

Acolgen. (2021). *Generación eléctrica en Colombia 2021*. Obtenido de La energía que impulsa a Colombia: <https://www.acolgen.org.co/>

Agencia Europea de Medio Ambiente. (25 de 09 de 2017). *La energía y el cambio climático*. Obtenido de <https://www.eea.europa.eu/es/senales/senales-2017-configuracion-del-futuro/articulos/la-energia-y-el-cambio-climatico>

Aguilar, J. (13 de 05 de 2003). *El Efecto Invernadero, el Cambio Climático, la Crisis Medioambiental y el Futuro de la Tierra*. Madrid: Real Academia Nacional de Medicina.

Alcaldía Municipal de La Dorada Caldas. (05 de 03 de 2021). *Nuestro municipio*. Obtenido de <http://www.ladorada-caldas.gov.co/tema/municipio>

Alcaldía Municipal de La Dorada en Caldas. (12 de 12 de 2017). *Información General*. Obtenido de Alcaldía Municipal de La Dorada en Caldas: <http://www.ladorada-caldas.gov.co/municipio/informacion-general-254820>

Baselga, M. C. (2019). *Instalaciones Solares Fotovoltaicas*. España: Editex.

Cámara de Comercio de Bogotá. (11 de 2018). *Biomasa, la energía verde del planeta*. Obtenido de <https://www.ccb.org.co/Clusters/Cluster-de-Energia-Electrica/Noticias/2018/Noviembre-2018/Biomasa-la-energia-verde-del-planeta>

Canales, R. (2010). *Modelo atmosférico y de radiación solar para reconocimiento de firmas*. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña.

Congreso de la República. (13 de mayo de 2014). *Ley 1715 del 2014*. Obtenido de http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1715_2014.html

Congreso de la República. (14 de 07 de 2017). *Ley 1844 de 2017*. Obtenido de Secretaria del Senado: http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1844_2017.html

Congreso de la República. (27 de 07 de 2018). *Ley 1931 de 2018*. Obtenido de Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible: <https://www.minambiente.gov.co/index.php/ley-de-cambio-climatico>

Congreso de la República. (27 de 07 de 2020). *Ley 2036 de 2020*. Obtenido de http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_2036_2020.html

enel. (8 de 04 de 2019). *enel Green Power*. Obtenido de Enel Green Power inaugura El Paso Solar, la planta fotovoltaica más grande de Colombia: <https://www.enelgreenpower.com/es/medios/news/2019/04/planta-fotovoltaica-el-paso-colombia-puesto-marcha>

ENERGÍAS RENOVABLES. (17 de 04 de 2019). *En el mundo ya hay medio teravatio de energía solar fotovoltaica instalada*. Obtenido de RENEWABLE ENERGY MAGAZINE: <https://www.energias-renovables.com/fotovoltaica/en-el-mundo-ya-hay-medio-teravatio-20190417>

Gobierno de Caldas. (2019). *Boletín Climático Gestión del Riesgo para Caldas*. Manizales: Gobierno de Caldas.

Gómez et al, J. (2017). LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN. *Universidad Santo Tomás*, 17.

IDEAM. (2014). *CARACTERÍSTICAS DE LA RADIACIÓN SOLAR*. Obtenido de RADIACIÓN SOLAR: <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/caracteristicas-de-la-radiacion-solar>

- IDEAM. (2014). *Distribución global de la irradiación global horizontal*. Obtenido de Atlas Climatológico de Colombia: <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasClimatologico.html>
- IDEAM. (2014). *La radiación solar y su paso por la atmósfera*. Obtenido de IDEAM: <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/la-radiacion-solar-y-su-paso-por-la-atmosfera>
- IDEAM. (2015). *Atlas Climatológico - Caldas*. Obtenido de Atlas Climatológico de Colombia: <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasClimatologico.html>
- IDEAM. (2015). *DISTRIBUCIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL DE LA IRRADIACIÓN GLOBAL HORIZONTAL EN COLOMBIA*. Bogotá: IDEAM.
- IPCC. (09 de 2007). *AR4 Climate Change: Synthesis Report*. Geneva: IPCC. Obtenido de IPCC Fourth Assesment Report: Climate Change 2007.
- IPCC. (2013). *Cambio Climático 2013. Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo Ial Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Cambridge y Nueva York: Cambridge University Press.
- IPCC. (2014). Summary for Policymakers. : *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, 32.
- IPCC. (2014). *Summary for Policymakers*. Ginebra: Intergovernmental Panel on Climate Change.
- IPCC. (2018). *Summary for Policymakers*. Ginebra: Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Iqbal, M. (1983). *An introduction to solar*. New York: Academic Press.

IRENA. (2019). *EL FUTURO DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA*. Abu Dabi:

International Renewable Energy Agency.

Jarauta, L. (2010). *Las Energías Renovables*. Barcelona: UOC.

Jimenez, A. M. (2012). *Dimensionamiento de instalaciones solares fotovoltaicas*. Madrid:

Paraninfo.

Mascarós, V. (2016). *Gestión del montaje de instalaciones solares fotovoltaicas*. Madrid:

Paraninfo.

Méndez, J., & Cuervo, R. (2007). *ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA*. Madrid: FC

EDITORIAL.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (21 de 04 de 2016). *Colombia hace parte de los*

países que se comprometen a frenar el cambio climático . Obtenido de Miniambiente:

<https://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias-asuntos-cambio-climatico/2275-colombia-hace-parte-de-los-paises-que-se-comprometen-a-frenar-el-cambio-climatico>

Musk, E. (2017). Introducing the New Chair's Initiative "Ahead of the Curve". *NGA Summer*

Meeting, <https://www.youtube.com/watch?v=2C-A797y8dA&t=1644s>.

NASA. (14 de 01 de 2009). *Heating Imbalances*. Obtenido de NASA earth observatory:

<https://earthobservatory.nasa.gov/features/EnergyBalance/page3.php>

NASA. (2021). *The Causes of Climate Change* . Obtenido de Global Climate Change:

<https://climate.nasa.gov/causes/>

ONU. (2019). *La promesa de la energía solar: Estrategia energética para reducir las emisiones*

de carbono en el siglo XXI. Obtenido de Naciones Unidas:

<https://www.un.org/es/chronicle/article/la-promesa-de-la-energia-solar-estrategia-energetica-para-reducir-las-emisiones-de-carbono-en-el>

ONU. (21 de 04 de 2021). *El tiempo se acaba para evitar que el cambio climático se convierta en una catástrofe permanente*. Obtenido de Naciones Unidas:

<https://news.un.org/es/story/2021/04/1490982>

Ortiz, R. (2011). *Hidráulica Generación de Energía*. Bogotá: Ediciones de la U.

Planas, O. (18 de 12 de 2009). *¿Qué es la fusión nuclear?* Obtenido de Energía Nuclear:

<https://energia-nuclear.net/que-es-la-energia-nuclear/fusion-nuclear#:~:text=Fusi%C3%B3n%20nuclear%20en%20la%20naturaleza&text=La%20luz%20y%20el%20calor,una%20enorme%20cantidad%20de%20energ%C3%ADa>.

Planas, O. (25 de 2 de 2016). *¿Cuál es la composición de un panel fotovoltaico?* Obtenido de Energía Solar: <https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/elementos/panel-fotovoltaico/estructura-de-un-panel-fotovoltaico>

Planas, O. (18 de 2 de 2016). *¿Qué es una célula fotovoltaica?* Obtenido de Energía Solar :

<https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/elementos/panel-fotovoltaico/celula-fotovoltaica>

Presidente de la República. (16 de Septiembre de 2017). *Decreto 1543 de 2017*. Obtenido de

<https://dapre.presidencia.gov.co/normativa/normativa/DECRETO%201543%20DEL%2016%20DE%20SEPTIEMBRE%20DE%202017.pdf>

Ramírez et al. (2017). LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN COLOMBIA:

POTENCIALES, ANTECEDENTES Y PERSPECTIVAS. *Universidad Santo Tomás, Colombia*.

- Roldan, J. V. (2011). *Estudios de Viabilidad de instalaciones solares. Determinación del potencial solar*. España: Paraninfo.
- S.A.U, E. I. (2007). *Energía Solar Fotovoltaica*. Madrid: FUNDACIÓN CONFEMETAL.
- Secretaría de Energías Renovables y Eficiencia Energética. (2019). *Energía Geotérmica*. Buenos Aires: Ministerio de Hacienda.
- Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (25 de 09 de 2018). *Beneficios de usar energías renovables*. Obtenido de Gobierno de México:
<https://www.gob.mx/semarnat/articulos/beneficios-de-usar-energias-renovables-172766>
- Tous, M. R. (2009). *Energía Solar Térmica*. Barcelona: Ediciones Ceac.
- UPME. (2015). *Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia*. Bogotá: La Imprenta.
- UPME. (15 de 04 de 2021). *Informe Dinámico de Registro de Proyectos de Generación de Energía Eléctrica*. Obtenido de REGISTRO DE PROYECTOS DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA:
<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiODRjNWY2NmEtZDI5MC00OGJhLWVmMTI0YmU3NTNiMDE4MTM2IiwidCI6IjUxYzFhOGQwLTMyYmQtNDZlYi05YmRILTlxZTZINGU3MDRmZCJ9>
- Varela, C. M. (2 de 5 de 2018). *Páneles fotovoltaicos: páneles de células tándem*. Obtenido de Universidad Politecnica de Madrid: [https://blogs.upm.es/innovaqr/asignatura/energias-renovables/páneles-fotovoltaicos-paneles-de-celulas-tandem/](https://blogs.upm.es/innovaqr/asignatura/energias-renovables/paneles-fotovoltaicos-paneles-de-celulas-tandem/)

Villicaña, E. (2012). *Método de evaluación de la radiación solar por transmisibilidad*. Oviedo:
Universidad de Oviedo.