

**Desarrollo de un modelo de energía eólica y solar para el municipio de
Calarcá-Quindío, Colombia**

**Juan Camilo Ocampo Jaramillo
Cristhian Mateo Vásquez Gallego**

Tutora

Tatiana Pérez Gosteva

Ingeniera Electrónica

Magíster en Prevención de Riesgos Laborales, la Excelencia, el Medio Ambiente y la
Responsabilidad Corporativa

Universidad La Gran Colombia

Facultad de Ingenierías

Ingeniería Geográfica y Ambiental

Armenia, 2023

Tabla de contenido

Agradecimientos	6
Introducción	7
Línea, sublínea y cuenca	8
Línea.....	8
Sub línea.....	9
Cuenca.....	10
Planteamiento del problema.....	13
Formulación del problema.....	14
Justificación	15
Hipótesis	18
Objetivos	19
Objetivo general	19
Objetivos específicos.....	19
Antecedentes	20
Marco referencial	28
Marco Teórico	28
Marco Legal	31
Marco Conceptual	33
Marco Espacial	36
Metodología	38
Tipo.....	38
Método	38
Diseño	38
Unidad de análisis	38
Plan de análisis	41
Operacionalización de variables.....	42
Fases metodológicas.....	43
Resultados	49

Conclusiones	68
Impactos	70
Recomendaciones	72
Referencias bibliográficas.....	74

Índice de tablas

Tabla 1. Localización del proyecto. Fuente: Autores.	41
Tabla 2. Operacionalización de variables. Fuente: Autores.	42
Tabla 3. Ponderación de variables. Fuente: Autores.	49
Tabla 4. Disponibilidad de áreas. Fuente: Autores.	50
Tabla 5. Capas utilizadas. Fuente: Autores.	54
Tabla 6. Cantidad posible de energía producida por medio de energías renovables cada 120 m2. Fuente: Autores.	66
Tabla 7. Cantidad posible de energía producida por medio de energías renovables cada 10,000 m2. Fuente:	67

Tabla de ilustraciones

Ilustración 1. Plano de Localización. Fuente: Autores	37
Ilustración 2. Fase 1 de la metodología. Fuente: Autores	44
Ilustración 3. Fase 2 de la metodología. Fuente: Autores	45
Ilustración 4. Fase 3 de la metodología. Fuente: Autores	47
Ilustración 5. Consumo de energía en el municipio de Calarcá en Kwh. Fuente: Gobernación del Quindío	48
Ilustración 6. Fase 1 de la metodología. Fuente: O, A, Jaramillo Salgado; Energía Eólica Teoría y Conceptos Características del viento y evaluación del recurso energético; pág. 20.	52
Ilustración 7. Plano Irradiación Global Horizontal Calarcá. Fuente: Autores	54
Ilustración 8. Plano Radiación Solar Calarcá. Fuente: Autores	55
Ilustración 9. Plano Velocidad del Viento 10m Calarcá. Fuente: Autores.	55
Ilustración 10. Plano Velocidad del Viento 50m Calarcá. Fuente: Autores.	56
Ilustración 11. Plano Zonas óptimas para la implementación del modelo de Aerogeneradores y Paneles solares Calarcá. Fuente: Autores.	56
Ilustración 12. Plano Ley Segunda Calarcá. Fuente: Autores.....	58
Ilustración 13. Plano Áreas críticas Calarcá. Fuente: Autores.....	59
Ilustración 14. Plano Cobertura de Tierra Uso Actual Calarcá. Fuente: Autores.....	59
Ilustración 15. Plano Conflicto Pérdida Coberturas Naturales Calarcá. Fuente: Autores.	60
Ilustración 16. Plano Conflicto Pérdida Coberturas Naturales Calarcá. Fuente: Autores.	60
Ilustración 17. Plano Conflicto Uso del Suelo Calarcá. Fuente: Autores.....	61
Ilustración 18. Plano Conflicto Uso del Suelo Calarcá. Fuente: Autores.....	61
Ilustración 19. Plano Suelos Calarcá. Fuente: Autores.....	62
Ilustración 20. Distribución de paneles solares para producir 10 Kwh. Fuente: Autores.....	63
Ilustración 21. Distribución propuesta de aerogeneradores verticales. Fuente: Autores.....	65
Ilustración 22. Pabellón propuesto de paneles solares y aerogeneradores verticales. Fuente: Autores.....	66

Agradecimientos

En primer lugar, quisiera agradecer a toda mi familia, la cual con su presencia y ayuda constante fueron un pilar para construir todo lo que he logrado hasta este día. De igual manera, creo pertinente mostrar gratitud a todas las personas que fueron parte de este proceso, como cada uno de los docentes que me encontré en el camino, los cuales siempre me aportaron algo tanto para la vida profesional como para la vida personal. Por otra parte, se encuentran mis compañeros que gracias a su amistad y valores, hicieron de mí una persona alegre y que disfruto siempre del proceso de aprendizaje.

Por último, darle gracias a mi compañero de equipo, el cual desde el principio fue una persona que siempre estuvo para mí, incluso cuando yo no estaba para él.

¡Muchas gracias por todo!

Juan Camilo Ocampo Jaramillo

Le doy gracias a Dios por permitir forjarme primero como persona y luego como profesional, a mi mamá, mi abuelita y toda mi familia por enseñarme de que la vida está llena de obstáculos pero que con honestidad, humildad, trabajo y con amor se llega a donde se lo propone uno, le doy gracias a todas las personas que he conocido durante este proyecto, en especial a mi amigo de trabajo el cual siempre ha sido un apoyo incondicional durante esta carrera profesional y por último a nuestra tutora y docentes que aportaron un granito de arena en este proyecto de vida.

Muchas Gracias. ***“La vida es fácil el complicado es uno”***

Cristhian Mateo Vásquez Gallego

Introducción

Antes de hablar sobre la energía solar y eólica, hay que mencionar que toda la tecnología, producción, transformación y consumo final de tal cantidad de energía es la causa principal de la degradación ambiental, esto se debe a que según (Porrúa, 2001) estos sectores dependen únicamente de la energía eléctrica, y esta se genera gracias a diferentes recursos naturales como es el carbón, el gas natural y el petróleo, donde han provocado muchos de los problemas ambientales, como el cambio climático, residuos radiactivos, lluvias ácidas y la contaminación atmosférica.

Es ahí, donde el presente trabajo cobra importancia, puesto que tiene como objetivo principal encontrar un posible modelo de energía eólica y solar para el municipio de Calarcá, ubicado en el departamento del Quindío. Este modelo busca evaluar el potencial de aprovechamiento de estas fuentes de energía renovable en la región, considerando factores como la disponibilidad de recursos naturales, la infraestructura existente y las necesidades energéticas de la comunidad.

A través de un enfoque multidisciplinario, se pretende analizar y proponer soluciones sostenibles que contribuyan a la diversificación de la matriz energética local, reduciendo la dependencia de fuentes no renovables y mitigando el impacto ambiental. El desarrollo de este modelo se basará en la recopilación y análisis de datos, la aplicación de herramientas de simulación y la consideración de aspectos económicos, sociales y ambientales, para así generar resultados que puedan servir como base para la toma de decisiones, y que al mismo tiempo se tenga un estimado del posible modelo a implementar dentro del municipio de acuerdo a las características ya mencionadas.

Línea, sublínea y cuenca

Línea

La línea de investigación del grupo de energías renovables se encuentra adscrita al grupo gerencia de la tierra, corresponde a la Apropiación, uso y gestión de sistemas ambientales y territoriales desde una perspectiva de justicia espacial de cara a la diversidad del contexto global y local. Esta se basa en el estudio, análisis y consolidación de cada una de las energías bajo un modelo sostenible de gestión ambiental y desarrollo social. Gracias a esta línea de investigación, el conocimiento del potencial de las energías renovables es fundamental para dicho grupo. Es por esta razón que en el presente proyecto de investigación se pretende conocer la importancia de empezar con la aplicación de dichas energías y como la viabilidad de la energía tanto solar como eólica podrán ayudar a tener una matriz energética con mayor diversificación en el municipio de Calarcá, Quindío.

A pesar de ser un municipio de apenas 78.779 habitantes (DANE, 2019), y contar con un área de 219 km², Calarcá es el segundo municipio más importante del departamento del Quindío, debido a su ubicación geo-estratégica, ya que por este municipio hay un gran flujo de mercancía, hacia el centro del país, y sin dejar de lado el atractivo turístico que se tiene en esta región.

Actualmente, este municipio se encuentra en un estado de crecimiento, tanto turístico como residencial, por ende, la demanda energética es cada vez mayor con respecto a los años anteriores. Y a pesar de que se tiene una cobertura de energía eléctrica bastante aceptable en el área urbana y en las zonas rurales cercanas, algunas de las zonas más alejadas son las que no cuentan con este servicio y no pueden disfrutar de lo básico que según la constitución es un derecho para cada uno

de los colombianos, pero no deja de ser un porcentaje bajo en comparación a su excelente cobertura.

Sub línea

La sub línea de investigación corresponde a la gestión integral del territorio. Tiene un criterio de indagación, la cual es el desarrollo del territorio y cuidado del medio ambiente a través de acciones y procesos como pueden ser la utilización de manera adecuada de las energías no convencionales, esto con el fin de conseguir la implementación de un cuidado integral en materia de salud para los humanos y todos los ecosistemas que pueden verse afectados por el contexto de la extracción de los combustibles fósiles. Es por esto que, el Ministerio de Minas y Energía está promoviendo el uso y manejo de energías no contaminantes, en este caso, con prohibiciones de estudios de extracción de combustibles fósiles y con el incentivo de construir y mantener sistemas amigables con el medio ambiente.

Un aspecto a tener en cuenta en la red energética del país, es el de las políticas, las cuales no incentivan mucho la instalación y uso permanente de estas energías. Puesto que la selección de una política adecuada va de la mano con el adecuado análisis económico, social y ambiental, el cual por lo general debe de considerar no solo los costos de los materiales e instalación, sino también, las ventajas y aspectos positivos que trae consigo esta buena práctica.

Como parte culminante de un proceso de análisis de la matriz energética, se encuentra el problema del presupuesto, el cual conlleva a un proceso de selección de las políticas y de la priorización de sectores donde la red energética tendrá procesos de intervención, por lo cual se debe de considerar

aspectos como, por ejemplo: importancia social y económica del sector donde se quisiera implementar este tipo de energías, para así, tener una cobertura total. Visbal, (2018)

Actualmente, el municipio de Calarcá no se encuentra afrontando problemas de abastecimiento y cobertura de energía, no obstante, no quiere decir que empresas como EDEQ no estén en procesos de cambiar sus opciones de distribución como, por ejemplo, la implementación de medidas en pro del ambiente, como el uso de transformadores verdes, los cuales operan con aceite dieléctrico vegetal, biodegradable, no tóxico, y que permiten obtener mayor eficiencia energética. A pesar de esto, el uso de energías renovables es muy mínimo en comparación al uso convencional.

Este segundo factor de uso de energías renovables, tiene un comienzo lento en comparación a otras ciudades del país, sin embargo, para el caso del Quindío, EDEQ adquirió energía de fuentes renovables no convencionales lo que permitirá que a partir de 2023 el 15% de la energía que venda a sus usuarios procederá de estas fuentes, y permitirá al desarrollo de estas ya que para adquirir energía en el periodo de 2023-2037 se podrá gracias a parques eólicos y solares.

Cuenca

La cuenca de problematización está definida por la línea y sublínea de investigación, por ende, la gestión ambiental para el desarrollo local sustentable en el contexto del cambio climático global, es una opción viable para dar una respuesta al tema en cuestión. El desarrollo es fundamental para el crecimiento de un país, y es por esto que diversificar la matriz de generación de energía juega un papel determinante en esto, ya que no depender de precios en el mercado internacional hará que la economía local esté más estable y en mejores condiciones.

La implementación de energías renovables promueve la sostenibilidad ambiental, por lo tanto, la aplicación de cualquier tipo de estas energías no convencionales ayuda tanto a la recuperación de los ecosistemas como a la disminución del agujero en la capa de ozono entre otros. Estos grandes beneficios se derivan de las reducciones de gases de efecto invernadero, así como de las ventajas para los negocios internacionales, como puede ser la venta de energía a los demás países y no comprar o depender de otras economías. En general, el país estaría con ganancias en aspectos económicos y ambientales.

Por lo tanto, en toda obra de implementación de cualquier alternativa a los combustibles fósiles, es necesario que la confiabilidad sea del 100%, puesto que sería para Soler (2022), contraproducente que el servicio de energía eléctrica tenga fallas recurrentes, ya sea por su mala planificación o por su corta inversión, para esto se plantea que a pesar de tener un costo inicial alto, hay que tener en cuenta que estos sistemas traen más beneficios y el retorno de la inversión podrá ser más rápido siempre y cuando sea más común su instalación.

Dado lo anterior, para esto, la construcción o instalación y el mantenimiento de la infraestructura de energías no convencionales tienen un impacto notable a nivel local, debido a que este tipo de proyectos aporta a la generación de empleo, directo e indirecto, disminuye los mencionados costos de importación, y también se contribuye a que se mitigue el cambio climático desde una perspectiva holística.

Por consiguiente, antes del estado han asegurado que, para incentivar las energías renovables, primero que todo no se puede atacar el problema en desorden, sino que se debe hacer un diagnóstico global que permita establecer condiciones óptimas y empezar a intervenir de manera gradual y estratégica. Lo segundo y como objetivo principal, según Externado (2021), es hacer un

inventario adecuado para instalar esta iniciativa en lugares donde no se cuente con el servicio, puesto que hay que priorizar los lugares más afectados y abandonados por el estado. Dándole así una jerarquización, la cual ayudará a que en los lugares que ya se cuenta con el servicio a través de la manera convencional, se trasladen a esta iniciativa ambiental.

Planteamiento del problema

En la actualidad el uso de energías convencionales provenientes de combustibles fósiles como el petróleo, el gas natural y el carbón han sido un factor determinante a la hora de generar efectos negativos, no solo en los ecosistemas, sino también, en los humanos. A pesar de esto, el suministro de energía eléctrica proviene generalmente de estas prácticas, y es vital para el desarrollo, ya que hoy en día es difícil vivir sin este recurso. Sin embargo, esa comodidad que se ha encontrado en este tipo de servicios y de instrumentos como la calefacción, iluminación entre otras, causan que se agoten estas reservas de combustibles fósiles y que también, aparezcan nuevos fenómenos como son el efecto invernadero, lluvia ácida, conflictos bélicos, tensiones y desequilibrio social entre otros.

Es por esto que, si se siguen implementando estas prácticas, en un futuro la dependencia a estos recursos será mayor, pero su disponibilidad será escasa, lo que causará problemas económicos a una escala sin precedentes. Por lo tanto, lo que se pretende en los últimos años, es que se haga uso de las energías renovables y que también su crecimiento sea exponencial, para así poder tener fuentes de energía que dependan únicamente de los comportamientos internos de la tierra, como corresponde a los recursos naturales renovables o los procesos atmosféricos.

Gracias a lo anterior, se entiende que estas energías denominadas renovables, son autóctonas, por ende, se podrían extraer y utilizar en el mismo sitio, es así, que las energías como la hídrica, mareomotriz, solar y eólica tienen un gran potencial. En general, los tipos de energías ya mencionados tienen más ventajas que desventajas, no obstante, dos de estas están relacionadas con la solar y eólica son las que tienen mayor relevancia, por esta razón, hay que mencionar que la energía solar se obtiene aprovechando la luz y el calor del sol, y se utiliza para generar calor, lo que se conoce como energía solar térmica, o electricidad, conocida como energía solar

fotovoltaica. En la actualidad es una de las energías más desarrolladas en el mundo. Los países que más uso hacen de ella son: Alemania, China, Japón, Italia, Estados Unidos, Francia y España.

Secretariat, R. (2020).

Adicionalmente, la energía eólica es aquella que aprovecha la energía del viento y se puede transformar en energía eléctrica, mecánica o térmica para producir electricidad. Los países con mayor potencia instalada son China, Estados Unidos, Alemania, España, India, Reino Unido y Canadá (REN 21 Renewables 2015 Global Status Report)

Ahora bien, aunque hoy en día estas energías están mejor desarrolladas que en años anteriores, sigue siendo imperativo que se empiece con el uso de esas prácticas, puesto que, es necesario que haya un progreso en el desarrollo de tecnologías para la implementación, utilización y distribución de las energías alternativas, y la manera en cómo cada una de estas se puede desarrollar en todos los rincones del planeta, no solamente en los países potencia, los cuales tienen la capacidad adquisitiva para conseguirlo; sino por el contrario, hasta en los países menos familiarizados con la práctica.

Formulación del problema

Teniendo en cuenta lo anterior, y en relación al aprovechamiento de fuentes de energías renovables y la disminución del uso de combustibles fósiles, se pretende desarrollar una matriz energética más limpia en el municipio de Calarcá; es por esto que se formula la siguiente interrogante:

¿Cuál es el modelo de energía eólica y solar para el municipio de Calarcá- Quindío?

Justificación

Conocer la problemática de la crisis medio ambiental que se está dando no solo a nivel nacional, sino, a nivel mundial, implica según (Rodríguez, Izquierdo, Rodríguez, & Pedro Unamunzaga Falcón, 2008) que tanto las ideas innovadoras como los métodos alternativos de ejecutar las tareas diarias, empiezan a cambiar. El cambio climático representa en la actualidad un desafío para el planeta debido a los diferentes eventos que se han presentado y que evidencian un deterioro notable de los ecosistemas y los recursos naturales, Colombia no se escapa a estas dificultades ambientales que presentan un riesgo para el desarrollo humano y su calidad de vida.

Es así que el cambio climático y la energía son dos caras de la misma moneda como lo señala Labandeira, X., Linares, P., & Würzburg, K. (2011): ya que buena parte de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) provienen del sector energético en sus diversas formas (incluyendo transporte). Es por ello que la solución al problema pasa por un cambio fundamental en el sistema energético, que en gran medida sólo será posible con una mayor participación de las energías renovables en la matriz energética. De acuerdo con Valencia, L. P., Moreno, F. L., & Rodríguez, J. C. (diciembre de 2015) la creciente demanda de las necesidades sociales a nivel global, impulsada por los hábitos de vida y la forma en la que se organizan las regiones ha llevado al crecimiento paralelo de la industria y al aumento del consumo de energía.

Gracias a esto, el uso de las energías renovables se convierte en un punto ineludible para el desarrollo de políticas en la República de Colombia, cuya intención de acuerdo al presidente electo en 2022, es de reducir la dependencia de los hidrocarburos y promover el desarrollo de energías renovables. En cuanto a la explotación de hidrocarburos, se busca implementar medidas de regulación y control más estrictas para garantizar la protección del medio ambiente y los recursos naturales.

En cuanto a la minería, se busca impulsar prácticas más sostenibles y responsables, promoviendo la protección de los ecosistemas y la participación de las comunidades locales en la toma de decisiones. En definitiva, es de implementar las diferentes técnicas de producción de energía, dejando a un lado el uso de combustibles fósiles, que deterioran su entorno y aumentan la emisión de Gases de Efecto de Invernadero (GEI). Sin embargo, y citando a Villamil, M. A. (s.f.) es por este motivo que se expidió la Ley 1715 de 2015 que busca fomentar el uso de energías renovables.

Por otra parte, se expide la ley 2099 de 2021, que tiene como objetivo modernizar la legislación vigente y lograr una transición energética, para así, dinamizar el mercado a través de la utilización, desarrollo y promoción de fuentes no convencionales de energía; no obstante, hasta la fecha no se ha logrado el desarrollo integral de todos los factores asociados a la autogeneración de energía eléctrica.

También, ante el incremento de la demanda energética y el aumento considerable en la contaminación, los recursos naturales como la flora, fauna y el agua se ven afectados de manera directa, en especial este último, que es requerido para las necesidades humanas. Es por esto, que para la protección de estos servicios ecosistémicos se necesita con urgencia el desarrollo de nuevas tecnologías capaces de aprovechar los diferentes recursos renovables, como pueden ser la radiación solar, la intensidad de los vientos, movimiento de las olas entre otros.

Sin embargo, el uso o aplicación de este tipo de tecnologías en la República de Colombia, se viene tratando de manera no muy profunda, puesto que a pesar de que existen iniciativas para la utilización de estas, las leyes no incentivan a las diferentes entidades a investigar e implementarlas de manera consistente. Incluso la opinión de Gualteros, M. V., & Hurtado, E. (09 de junio de 2013) respalda lo anterior ya que concluye que, a pesar de los esfuerzos del Estado, el análisis de los aspectos legales como incentivos, impuestos, entre otros y las regulaciones actuales siguen siendo insuficientes en este ámbito.

Es así, que, ante la ausencia de investigaciones en este tema, este trabajo cobra mayor relevancia, puesto que no existe un camino claro en la investigación y en la generación de propuestas, ya que no son lo suficientemente sólidas para la implementación de las mencionadas energías renovables. De igual manera, este trabajo permitirá la evaluación de las condiciones que tiene el municipio de Calarcá, ubicado al oriente del departamento del Quindío, y posteriormente, qué potencial tiene en cuanto a la producción de energía. Además, hay que considerar que la utilización de estas aportará en la disminución de costos y un menor uso de los combustibles fósiles, lo que a su vez representará menor emisión de GEI.

Hipótesis

¿El municipio de Calarcá es un lugar apto para implementar estas energías renovables?

Con el planteamiento de este proyecto de investigación se quiere conocer qué tan viable es la instalación de dos de las energías renovables que corresponden a la solar y eólica en el municipio de Calarcá, Quindío. Puesto que, debido a su ubicación geográfica cuenta con la capacidad de aprovechar su radiación solar y las velocidades del viento; por ende, es imperativo que se analice de manera adecuada el potencial de ambas, para así, tener una metodología (modelo más apto) adecuada en el momento de su instalación.

A pesar de lo anterior, la carencia de una metodología uniforme en todo el territorio departamental y nacional, hace que, a la hora de desarrollar estos tipos de proyectos, se llegue a tal punto en el que las obras realizadas son innecesarias y al mismo tiempo, que se malgasten recursos, generando, que se tenga poca confiabilidad en estas energías y que los gobiernos o empresas privadas sean reacios a su instalación. Gracias a esto, se insta a que planifique de manera adecuada y se hagan estudios previos de las diferentes energías, para así, implementar la que más se adecua al lugar de estudio.

Para dar respuesta a la interrogante, se plantearon los siguientes objetivos de investigación, los cuales permitirán construir los indicadores para medir los resultados de las variables de investigación.

Objetivos

Objetivo general

Desarrollar un modelo mediante el análisis de energía eólica y solar para el municipio de Calarcá, Quindío – Colombia.

Objetivos específicos

- Identificar las variables climáticas y físicas asociadas con la energía eólica y solar para el municipio estudiado.
- Analizar el comportamiento de las variables y su viabilidad para el uso de energía híbrida.
- Determinar mediante las variables estudiadas, el mejor modelo para la zona de estudio

Antecedentes

Las energías renovables solucionarán muchos de los problemas ambientales, como el cambio climático, los residuos radiactivos, las lluvias ácidas y la contaminación atmosférica. Pero para ello hace falta voluntad política y dinero. Gracias a Terranova, R. (2013) Bajo la denominación de energías renovables, alternativas o blandas, se engloban una serie de fuentes energéticas que a veces no son nuevas, como las centrales hidroeléctricas, ni renovables en sentido estricto (geotermia), y que no siempre se utilizan de forma blanda o descentralizada, y su impacto ambiental puede llegar a ser importante, como los embalses para usos hidroeléctricos o los monocultivos de biocombustibles. Actualmente suministran un 20% del consumo mundial (las estadísticas no suelen reflejar su peso real), siendo su potencial enorme, aunque dificultades de todo orden han retrasado su desarrollo en el pasado.

Así mismo, según Cortés, S. y Londoño, A. (2017), son una alternativa para aumentar la capacidad de generación del sistema eléctrico. Sin embargo, Colombia debe diversificar su matriz energética con más proyectos en los que se aproveche el potencial eólico y solar de la región; para tal fin, es necesario que la regulación impulse el desarrollo de este tipo de proyectos energéticos. Al estimular los proyectos en generación de energía con fuentes renovables, Colombia sigue la dinámica mundial donde los entes gubernamentales y la comunidad científica concluyen que la solución para disminuir las emisiones de CO₂ y preservar el medio ambiente se encuentra en las energías alternativas.

Por consiguiente, Puig, M. (2013), afirma que la obtención directa de electricidad a partir de la luz se conoce con el nombre de efecto fotovoltaico. Para conseguirlo, se requiere un material que absorba la luz del Sol y sea capaz de transformar la energía radiante absorbida en energía

eléctrica, justo lo que son capaces de hacer las células fotovoltaicas. El aprovechamiento de la energía solar para la generación de electricidad contribuye a la sostenibilidad del sistema energético, pues evita que se genere electricidad a partir de combustibles fósiles no renovables (reduciendo las emisiones de gases asociados a éstos) y de centrales nucleares. La energía solar fotovoltaica distribuida, además, no requiere ocupación de espacio adicional, dado que se puede instalar en tejados o integrar en edificios. Se puede observar, como Colombia apenas se inicia en la implementación de los sistemas fotovoltaicos. El nivel de aprovechamiento de Colombia es inferior frente a países como Alemania en los cuales la disponibilidad del recurso solar (radiación) es menor que la de este país; Debido a la capacidad instalada de energía solar fotovoltaica en Colombia que crece anualmente alrededor de 1 GW, lo cual no es notorio. En el año 2015 se alcanzaban valores de 12 GW, y al finalizar el 2017 se estimó que llegaría a 15 GW. La ubicación geográfica de Colombia es favorable, en el sentido de que la mayor parte de la radiación recibida en todo el territorio es alta y se mantiene por varias horas en el día. Esto hace que Colombia disponga de un potencial positivo de energía solar. Para futuros proyectos es importante trabajar las Regiones Insular, Caribe, Andina y Orinoquia, pues estas cuentan con el mayor potencial en el país y pueden resultar técnica y económicamente más viables que las Regiones Amazónica y Pacífica.

Es por esto, que, según Serrano, M., Pérez, D., Galvis, J., Sierra, M. y Correa, S. (2017), la alternativa de energía solar puede ser una opción viable para el abastecimiento en comunidades rurales de Colombia. Además, aunque el uso de la tecnología termo solar requiere mayor cantidad de agua que la fotovoltaica debido a sus procesos térmicos, ambas liberan menos CO₂ que los combustibles fósiles. La decisión de la puesta en marcha de uno u otro sistema requiere el apoyo de entidades gubernamentales mediante incentivos tributarios a los productores y consumidores

de energía solar. En algunos países donde existen políticas definidas con inversión en tecnología se han logrado proyectos solares eficientes y los impactos ambientales generados durante la operación de las centrales solares pueden ser mitigados con mantenimiento preventivo a la infraestructura existente en las inmediaciones de la estación solar. Un factor a estudiar es que, las nuevas tendencias económicas, el agotamiento de los recursos no renovables, han logrado que los economistas vean una nueva oportunidad de ingresos en las energías limpias, Colombia como tal es un país muy rico en recursos naturales lo que le ha permitido contar con importantes fuentes de generación de energía eléctrica , a través de termoeléctricas e hidroeléctricas, y hoy puede estar a la vanguardia de los países del continente en generación de energía a través de fuentes no convencionales, que corresponden a las energías limpias renovables, que aunque es una política de interés nacional relativamente nueva, se está avanzando rápidamente en su implementación, por lo cual es importante destacar la energía solar fotovoltaica, como una de las que más impacto social y económico genera, esto por su facilidad de implementación y cobertura, en toda la geografía nacional colombiana, también es importante resaltar su evolución científica, técnica, jurídica y económica.

Además, Pinzón, V. (2016), indica que Colombia es un país que, a pesar de su riqueza natural, ha centralizado sus fuentes energéticas, en métodos convencionales como las hidroeléctricas y combustibles fósiles, sistemas vulnerables y poco eficientes, como se ha venido demostrando en los últimos años, los fenómenos climáticos generan alertas que ponen en amenaza la continuidad del servicio. El uso de energías alternativas en el mundo es una tendencia cada vez más predominante, sin embargo, el país aún no se incluye en ese panorama, aun sabiendo que posee varias ventajas que determinarían un uso eficiente de este tipo de energías renovables. Entre esas características favorables, se encuentra su gran potencial energético solar, el cual está

influenciado por su posición geográfica y como consecuencia el clima que favorece todas las condiciones de brillo solar para que varias regiones del país capten y transformen a través de tecnologías aplicadas la energía solar, la cual es una fuente inagotable y permanente.

De manera análoga, en cuanto a la energía Eólica según Moragues, J. y Rapallini, A. (2015), se deben tener en cuenta aspectos ambientales con respecto a estas energías renovables, en el caso de la energía eólica puede ser positivo, ya que, es limpia, no emite contaminación de gases de efecto invernadero, ni consumen recursos naturales, sin embargo, en lo negativo las máquinas que producen energía eólica ocasiona molestias en las personas que viven cerca, a través del ruido y afectan el hábitat de la flora y fauna. Posterior a esto, el Ente Nacional de Regulación Eléctrica (ENRE) en Argentina debe establecer normas para su instalación. Además, este país se proyecta a reducir por medio de las turbinas emisiones entre 20.000 y 30.000 toneladas de CO₂ por más de 20 años.

De hecho, con respecto al tema de las centrales eólicas según Perlomo, D., Jaimes, M., Almeida, E. (2014), esta energía renovable no genera ningún residuo peligroso, así mismo, la energía eólica como energía alternativa para el futuro en Colombia cumple un factor importante en el ámbito tanto económico como ambiental, puesto que, el país se encuentra en un punto estratégico geográfico y climático. Por consiguiente, se encuentra elementos a considerar para llevar a cabo este proyecto, siendo el sol uno de los principales para este propósito, ya que, gracias a su temperatura en diferentes zonas se permite la circulación de aire; otro componente que genera esta energía renovable, es el viento, existiendo dos tipos: Una que son las brisas marinas generando el viento por la diferencia de la temperatura entre el mar y la tierra y el segundo son las montañas que produce la densidad del aire por las laderas y el calentamientos de estas. Por último, ahorra en tema de costos y no produce desechos, ni basuras.

El crecimiento del calentamiento global para Amin, I. y Sanchez, J. (2011), ha provocado que grandes naciones como Alemania quiera disminuir este fenómeno a través de las energías renovables siendo uno de los pilares a seguir, puesto que, en el año 2006 se convirtió en el primer país en construir grandes estructuras eólicas y solar fotovoltaica, mitigando a gran escala las emisiones de CO₂. Posterior a esto, se procede a realizar un análisis a partir de la Institución de la ley de energía renovable (LER) describiendo los aspectos relacionados con las características del recurso eólico y sus cualidades para solucionar los problemas técnicos, siendo útiles para llevar a cabo la energía eólica en Colombia. Por consiguiente, esta institución ha generado empleos, mejorando la calidad de los esquemas de gestión de carga y las estrategias de almacenamiento de energía.

Siendo así, según Guerrero, B., Vélez, F. y Morales D. (2019), Colombia es un país, que se encuentra en un punto geográfico con condiciones aptas para llevar a cabo este proyecto de la energía eólica, por consiguiente, se debe buscar zonas con potencial eólico. Según el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) el departamento de la Guajira cumple con las expectativas, tanto así, que existe el primer y único parque eólico ubicado en Jepirachi Municipio de Uribia. Los sistemas de información geográfica (SIG), cumplen un papel importante para seleccionar una zona que cumpla con una rentabilidad económica y que los impactos ambientales sean mínimos, ofreciendo la adquisición de información georeferenciada, además, los métodos de decisión multicriterio (MDMC) obtienen técnicas y sus respectivos procedimientos para poder replantear la decisión y evaluar sus posibles alternativas para que sean un proyecto viable tanto a nivel económico como a nivel ambiental.

En adición, M. Mikatia , M. Santos (2012) aseguran que hay que advertir que, los combustibles fósiles son recursos que son derivados del petróleo, gas natural y carbono, jugando un papel importante en el calentamiento global, puesto que, estos recursos son finitos y además de que son perjudiciales para el medio ambiente. Por otro lado, se obtiene dos subsistemas, la vivienda o el comercio, implicando que esto requiere gran demanda de energía eléctrica, llevando a cabo este proceso, lo que se propuso fue crear un conjunto de módulos fotovoltaicos y un aerogenerador de pequeña escala, con el fin de poder disminuir los costos, el calentamiento global a través de esta red eléctrica proporcionada por estos subsistemas, teniendo en cuenta, que estos procesos varían según su altitud, su ángulo, latitud y su azimut puesta al sol, para así generar un rendimiento eficaz en estos subsistemas.

Por consiguiente, según Beltran, A., Morera, M., Lopez, F. y Villela R., (2017), el incremento en el precio de los combustibles fósiles y los problemas de contaminación derivados de su quema, han provocado la intensificación del aprovechamiento de las energías renovables para producir energía eléctrica. Las plantas de generación de energía eléctrica, a partir de energía eólica y solar-fotovoltaica, son competitivas respecto a las plantas que utilizan recursos fósiles. A corto plazo, se esperan leyes regulatorias, con sanciones por contaminación, para limitar los efectos en el cambio climático, lo que elevará el costo de producción de las plantas convencionales, favoreciendo el desarrollo de las plantas de energías renovables, principalmente la solar-fotovoltaica, la cual tiene el mayor crecimiento de las energías renovables. El análisis de costos indica que la construcción de una planta de generación de electricidad, a partir de combustibles fósiles, sigue siendo una alternativa económicamente viable.

Para finalizar, según Gobernación Risaralda (2023) se están coordinando esfuerzos institucionales para generar condiciones que permitan reducir el impacto negativo del cambio climático. En cuanto a las energías alternativas, se ha instalado sistemas fotovoltaicos en instituciones educativas. La instalación de paneles solares ha permitido mejorar los procesos

educativos en las instituciones, especialmente en el área de Informática, y ha generado ahorros significativos en el consumo de energía eléctrica. Además, se ha brindado formación a los estudiantes sobre tecnología solar, sostenibilidad y la importancia de las energías renovables.

Incluso, la granja solar Celsia Solar Yumbo es la primera granja solar de Colombia conectada al Sistema Interconectado Nacional. Con una capacidad instalada de 9,8 MW, genera cerca de 16,5 GWh al año, equivalente al consumo de 8 mil hogares. La granja evita la emisión de 160.000 toneladas de CO₂ durante 25 años y se construyó en el lugar donde funcionaba Termo yumbo, pasando de una producción de energía a partir de carbón a una renovable. Celsia también tiene presencia en Panamá y Honduras con plantas solares conectadas al SIN. La inversión para la construcción de la granja fue de aproximadamente USD 8 millones y se financió con recursos provenientes de bonos verdes y beneficios tributarios otorgados por la Ley 1715.

En adición, a lo descrito con anterioridad, se tiene que la tecnología de energías eólicas y solares ha experimentado una importante evolución en Colombia en los últimos años. A medida que el país busca diversificar su matriz energética y reducir la dependencia de los combustibles fósiles, las energías renovables han ganado protagonismo. Aquí se presenta un resumen de los aspectos más importantes y la evolución de estas tecnologías en Colombia:

1. Energía Eólica:

- En 2004, se inauguró el primer parque eólico en La Guajira, el Parque Eólico Jepírachi, con una capacidad instalada de 19,5 MW.
- Desde entonces, se han desarrollado varios proyectos eólicos en diferentes regiones del país, como La Guajira, Norte de Santander y Cesar, entre otros.
- La capacidad instalada de energía eólica en Colombia ha aumentado significativamente en los últimos años, superando los 300 MW en 2021.

2. Energía Solar:

- La radiación solar en Colombia es abundante, lo que ha impulsado el desarrollo de proyectos de energía solar fotovoltaica.
- En 2014, se inauguró el primer parque solar a gran escala en el país, el Parque Solar Yumbo, con una capacidad instalada de 1,1 MW.
- Desde entonces, se han instalado numerosos sistemas solares en techos de viviendas, edificios públicos y empresas en diferentes regiones del país.
- La capacidad instalada de energía solar en Colombia ha experimentado un crecimiento acelerado, superando los 500 MW en 2021.

3. Marco Regulatorio:

- El gobierno colombiano ha implementado medidas para fomentar el desarrollo de las energías renovables, como la Ley 1715 de 2014 y la Ley 1931 de 2018.
- Estas leyes establecen incentivos y beneficios para la generación de energía a partir de fuentes renovables, así como metas de participación de estas fuentes en la matriz energética del país.

4. Beneficios y Desafíos:

- Las energías eólicas y solares ofrecen beneficios

Marco referencial

Marco Teórico

Diversas investigaciones han demostrado diferentes métodos para evaluar el comportamiento y consecuencias del uso de las energías renovables, con el fin de obtener grandes cambios positivos en el medio ambiente. Gracias a la información recopilada por Labandeira, X., Linares, P., & Würzburg, K. (2011), se logró evaluar el papel que pueden jugar las energías renovables en la reducción de las emisiones de GEI, puesto que se analizó cómo cambia la matriz energética dentro de la cotidianidad. Así, según datos del informe especial del IPCC (2011) sobre fuentes de energías renovables y mitigación del cambio climático (SRREN), en 2008 la energía renovable representó globalmente el 12,9 % de la energía primaria. La mayor aportación la realizó la biomasa (10,2 %) con un 60 % de utilización de biomasa tradicional para calefacción y para cocinar en países en desarrollo, y un menor papel de la energía hidráulica (2,3 %). Y aunque en este informe no se menciona un gran aporte de las demás energías renovables, se evidenció como estas pueden ser igual de eficientes a las extraídas a través de los combustibles fósiles.

Gracias a lo anterior, se logra afirmar la idea de que es posible que cualquier tipo de energía renovable aporte de manera significativa a la matriz energética de un país, por lo tanto, el objetivo a corto plazo es el de transformar el concepto de consumo responsable, y al mismo tiempo de combatir el desconocimiento y la tendencia de los países en vía de desarrollo a seguir los pasos de los países desarrollados, reflejando una propensión a él desmejoramiento de la sostenibilidad que se pretende alcanzar para el 2030. (Jimenez, Rubiano, Jhon, & Cortés, 2019)

Dicho lo anterior, es imperativo que se empiece la transición a este tipo de energías, las cuales tienen mayor eficiencia si se logran combinar adecuadamente los diferentes métodos de

aprovechamiento de los recursos renovables.

En este sentido, las plantas de generación híbrida, se muestran como una práctica que garantizan un suministro más estable; ya que (Rodríguez, Fernández, & García, 2012) afirman que los sistemas de energía híbridos utilizan fuentes de energía primaria como la energía solar, eólica, hidroeléctrica, geotérmica, mareomotriz y biomasa, entre otras. Por lo tanto, un sistema que utiliza alguna combinación de estas fuentes tiene la ventaja de presentar un mayor equilibrio y estabilidad, disfrutar de una mejor calidad de la energía y proporcionar salidas estables a partir de sus fuentes primarias, generando así que se reduzca la dependencia de combustibles fósiles.

Por lo tanto, los sistemas de energía híbrida según (Iberdrola, s.f.) Son aquellos que generan electricidad a partir de dos o más fuentes, generalmente de origen renovable, compartiendo un mismo punto de conexión; y a pesar que la suma de generación de energía sea superior a la capacidad de evacuación, la energía vertida nunca puede sobrepasar este límite. De este modo, una planta de generación híbrida puede servirse, por ejemplo, de la energía solar o fotovoltaica cuando brilla el sol y de otra fuente, como pudiera ser la eólica, cuando el tiempo está nublado, garantizando así un suministro más estable y eficiente.

Así mismo, cabe resaltar que Alemania es uno de los países pioneros en implementar estos dos tipos de energía, reconociendo que son altamente eficaces tanto en el ámbito económico, como en el social y cultural. La energía solar se da través de un proceso fotovoltaico, por consiguiente, se necesita de elementos esenciales que sean capaces de atraer la luz del sol y poder transformar la energía radiante absorbida en energía eléctrica, que en este caso se le conoce como paneles solares capaces de captar esta luz convirtiéndola en energía renovable.

Adicional, se tiene que según Henderson et al. (2003) y Chinchilla, Arnaltes y Burgos, (2006),

“la energía eólica se presenta como una energía limpia y no contaminante, y que no deteriora el medio ambiente ni consume recursos naturales, como lo que sucede con las fuentes fósiles como el petróleo y el carbón, que son altamente nocivas para la atmósfera y en general para todos los ecosistemas del planeta”. Al respecto conviene decir que el aprovechamiento de la energía eólica comienza en la captación del viento ocasionado por las brisas marinas o por las montañas a través de la densidad de las laderas, todo esto es posible gracias a los aerogeneradores y turbinas de eje horizontal que su trabajo es captar ciertas velocidades de viento transformándose en energías limpias, sin embargo, cabe resaltar que en las zonas donde no se evidencia este tipo de corrientes de aire se procede con la instalación de aerogeneradores de eje vertical donde su trabajo es captar el aire sin la necesidad de que esté presente vientos de altas velocidades.

Conviene decir que en el municipio de Calarcá se pretende implementar la utilización de dos distintos tipos de energía denotadas por la solar y eólica, tomando como ejemplo las investigaciones realizadas según REN21 (2011) en Europa, las cuales indican que “España ha evolucionado como uno de los países líderes en las áreas de energía solar y eólica. De momento, es uno de los primeros países en el mundo en cuanto a instalaciones de módulos fotovoltaicos y aerogeneradores, así como en la generación eléctrica con los mismos”

Marco Legal

Energías Renovables No Convencionales en Colombia

El cambio climático se ha venido configurando como uno de los principales desafíos para las sociedades contemporáneas. En la actualidad hay un alto consenso científico sobre las causas y efectos del cambio climático, tal y como reflejan los informes del Grupo intergubernamental sobre Cambio Climático de la ONU (IPCC) desde comienzos de los noventa.

En un informe de evaluación, el IPCC (2007) enumera algunas de las consecuencias vinculadas a la subida de temperaturas y otras modificaciones en el clima de la tierra: mayor frecuencia de fenómenos meteorológicos extremos, subida en el nivel del mar, pérdida de tierra útil para el cultivo y por ello mayor escasez de alimentos, redistribución de los recursos hídricos, pérdidas de biodiversidad, intensificación de flujos migratorios, entre otros.

Referente al aspecto legal, las energías solar y eólica tienen grandes opciones de proporcionar soluciones al cambio climático, debido a que, con un impacto medioambiental mínimo y una mejor calidad del aire, entre otras; estas energías producen una mejor calidad de vida. De igual manera, estas energías están enfocadas en disminuir la alta dependencia que se tiene de la energía proveniente de combustibles fósiles, y es gracias a esto, que se está buscando incorporar estas fuentes de energías renovables no convencionales, para generar diversos beneficios, como puede ser dinamizar el mercado y tener fuentes constantes de energía.

A nivel nacional, el decreto 2811 de 1974 determina el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente, para posteriormente hacer uso de estos recursos en la Resolución 1283 de 2016, la cual 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.

Ahora bien, la ley 697 de 2001 decreta que debe de haber un uso racional y eficiente de la energía, para así promover la utilización de energías alternativas que, a su vez, ayuden en la mitigación de las consecuencias negativas que trae consigo el uso de combustibles fósiles; y, por último, se encuentra la ley 1715 de 2014 que dicta la regulación de la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional.

Cabe mencionar que la Ley 2099 de 2021 es por medio de la cual el gobierno nacional dicta disposiciones para la transición energética, la dinamización del mercado energético, la reactivación económica del país y se dictan otras disposiciones.

Por otro lado, la Ley 1715 de 2014 es por la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional.

A pesar de esto, el Decreto 570 de 2018 indica que se adiciona el Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo de Minas y Energía, 1073 de 2015, en lo relacionado con los lineamientos de política pública para la contratación a largo plazo de proyectos de generación de energía eléctrica y se dictan otras disposiciones.

En adición, la ley 23 de 1973 en la que se conceden facultades extraordinarias al presidente de la República para expedir el Código de Recursos Naturales y protección al medio ambiente y se dictan otras disposiciones.

Asimismo, la ley 99 de 1993 por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones.

En efecto, la Ley 143 de 1994 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 y por el Decreto número 1258 de junio 17 de 2013 por la cual se modifica la estructura de la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME).

Marco Conceptual

Las energías renovables nacen según (MINT, 2022) en la antigua Grecia cuando los hombres se dieron cuenta que podían aprovechar la energía del sol (Solar), siendo esta la energía más longeva que existe en el mundo, llevando a que los griegos y los romanos inventaran la arquitectura pasiva, con el fin de aprovechar la radiación solar, puesto que, esto generaba luz y calor a través del sol, esta arquitectura que ellos construyeron se adaptan a la realidad del terreno y las condiciones climáticas. Además, ellos se orientaban al sur, puesto que, buscaban que el sol entrará en épocas de invierno, y aprovechando las sombras en época de verano, luego emplearon los vidrios en la ventana, ya que, esto dio como resultado que potenciaba la luz del sol conservando más el calor dentro de las edificaciones.

Por consiguiente, esta energía emite componentes de radiación, como la radiación solar que consiste en que la energía del sol se propague por toda la superficie de la tierra mediante ondas electromagnéticas siendo una determinante para la dinámica de los procesos climáticos y atmosféricos. (IDEAM, s.f.)

Gracias a lo anterior, es pertinente aclarar que el sol produce constantemente energía electromagnética que llega directamente a la tierra. Así lo viene haciendo desde hace unos millones de años y parece que seguirá su producción por varios millones de años más. Toda la energía disponible procede de forma directa o indirecta del sol, excepto la nuclear, mareomotriz

y la geotérmica. (IDEAM, s.f.)

Es así como se define que el sol es la fuente primaria de energía, gracias a que Fernandez, (2021) asegura que puede ser usada directamente, ya sea en sistemas pasivos, así llamados porque no utilizan otra fuente de energía, o en sistemas activos, que usan otra fuente de energía, generalmente eléctrica, empleada para mover el fluido calefactor; de igual manera, la energía solar directa es la energía del sol sin transformar, que calienta e ilumina, no obstante, es necesario tener sistemas de captación y de almacenamiento para aprovechar la radiación del sol de diferentes maneras.

Es por este motivo que, para transformar la energía solar en energía eléctrica directamente, se debe de hacer uso de sistemas como las células fotovoltaicas o bien de forma indirecta a través de sistemas térmicos de concentración utilizados para producir vapor que mueve las turbinas generadoras.

Por otra parte, hay diferentes tipos de radiaciones que emite el sol, como es la radiación de onda corta, la cual se basa en que cierta parte de la radiación solar extraterrestre se filtre a través de la atmósfera llegando a la superficie terrestre, y la otra parte se disperse y sea absorbida en la atmósfera por los componentes de las nubes; de igual manera la radiación solar directa como su nombre lo indica, es la que llega a la superficie de la tierra sin tener cambios de dirección, siendo esta diferente, con la radiación solar difusa, ya que, es la cantidad de energía solar que repercute sobre una superficie horizontal desde todos los lugares de la atmósfera. (IDEAM, s.f.)

Además, la radiación solar global es la cantidad de energía solar que incide sobre la superficie, pero en ciertas horas específicas del día entre las seis (6) de la mañana hasta las seis (6) de la tarde, y por último se tiene la radiación solar reflejada, esta indica que toda la radiación solar emitida por el sol tiene un rebote en la superficie terrestre o atmósfera cambiando su dirección

hacia arriba. (IDEAM, s.f.)

Por otro lado, se tiene la energía eólica la cual proviene de su fuente principal como lo es el viento, y también es conocida como la energía mecánica que, en forma de energía cinética transporta el aire en movimiento.

Este tipo de energía, según (MINT, 2022) surgió en el siglo XII en Inglaterra, ya que los ingleses ocuparon zonas con poco acceso al agua y con gran cantidad de velocidad del viento, ellos vieron esto como una gran oportunidad de generación de energía eólica a través de los molinos de viento. Este último es originado por el calentamiento desigual de la superficie del planeta, originando movimientos convectivos de la masa atmosférica. Ya para el año 1887 el científico estadounidense Charles F. Brush construyó la primera turbina eólica, años más tarde el científico danés Poul la Cour mejoró la turbina aumentando los resultados de la producción de electricidad. Sin embargo, en la antigüedad no se conocían datos certeros de este fenómeno, pero lo que sí es cierto, es que intuitivamente conocían el gran potencial de esta energía.

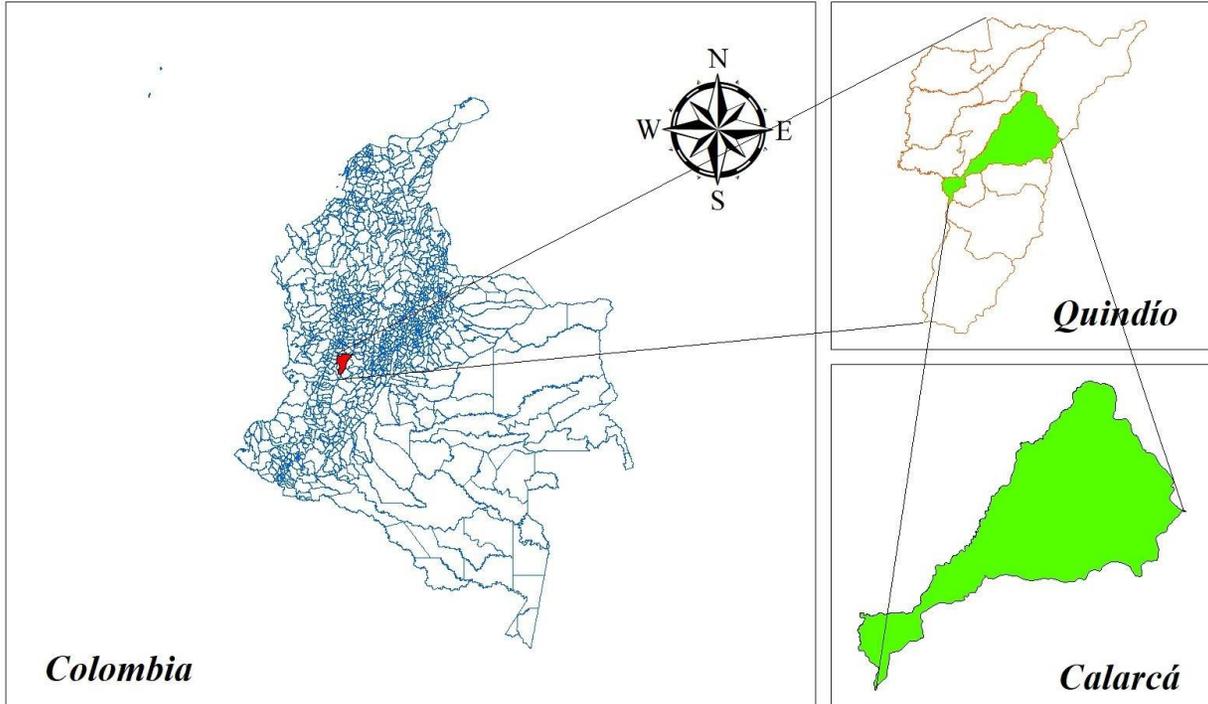
En la actualidad, la Tierra recibe una gran cantidad de energía procedente del sol, la cual, en lugares favorables, puede tener un aprovechamiento de 2.000 Kwh/m² anuales. El 2 por ciento de ella se transforma en energía eólica con un valor capaz de dar una potencia de 10E+11 Giga vatios (w). Las formas de mayor utilización son las de producir energía eléctrica y mecánica, bien sea para autoabastecimiento de electricidad o bombeo de agua. Gustato, (s.f.)

Por último, Colombia gracias a su ubicación geográfica y su topografía, es un país con un potencial inmejorable para el desarrollo de fuentes no convencionales de energía renovables, como la solar y la eólica, por ende, esto ayudará a la generación de recursos económicos y al mismo tiempo protegerá los ecosistemas, puesto que se reduce de manera sustancial la emisión de gases de efecto invernadero y en general se aportará a la disminución de la contaminación

ambiental. Por otra parte, el municipio de Calarcá, en el departamento del Quindío, cuenta con una topografía y ubicación geográfica que cumple con las expectativas para la implementación de ambas energías, ya que, en todo el año la radiación solar es constante y los vientos son variados gracias a las pendientes del territorio y los cambios constantes de temperatura, los cuales hacen que oscile.

Marco Espacial

Para empezar, se menciona que Colombia, tiene 32 departamentos, uno de estos es el Quindío, teniendo 12 municipios; este departamento se caracteriza por ser uno de los lugares con gran potencial de aprovechamiento de estas energías (eólica y solar), por ende, se va a realizar dicho estudio en el municipio de Calarcá, para este proyecto de investigación se considerará cuáles son los puntos estratégicos para la implementación de los paneles solares y eólicos. Por consiguiente, los lugares óptimos para este proyecto tienen que tener las características necesarias, como la cantidad suficiente de velocidad del viento y radiación solar, que no haya cobertura vegetal, el tipo de aerogeneradores (verticales o horizontales), la topografía del terreno.



	Contenido: Localización	Fuente: Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) 2023	Mapa: 13/14	Fecha: 23/05/2023	Información de referencia: Sistema de coordenadas proyectadas: MAGNA_COLOMBIA_OESTE Proyección: Transverse_Mercator Falso Este: 1000000 Falso Norte: 1000000 Meridiano Central: -77,07750792 Latitud de Origen: 4,59620042 Unidades: Metros	Elaboración: Juan Camilo Ocampo Jaramillo Tatiana Perez Gosteva Cristhian Mateo Vasquez Gallego Semillero de investigación Energías Renovables
			Escala Numérica: 1:10.000.000	Escala Grafica:		

Ilustración 1. Plano de Localización. Fuente: Autores

Metodología

Enfoque

Mixto, esta investigación corresponde a este enfoque, porque tiene variables cualitativas y cuantitativas, según (Hernández- Sampieri y Mendoza, 2014), los métodos mixtos representan un conjunto sistemático donde se obtienen datos cualitativos y cuantitativos que permiten un análisis y discusión de los resultados obtenidos.

Tipo

Exploratorio, este según Arias (2012), indica que este tipo de investigación se presenta cuando se tiene poco conocimiento de un tema específico, en este caso en Colombia, este tipo de proyectos están en proceso de estudio para su ejecución.

Método

Empírico – analítico, según (Samaniego 2022), esto se da debido a que por medio del estudio de la zona planteada en la investigación, se deben tener presentes variables planteadas, además, el fenómeno presentado en la problemática se descompone en variables que permiten establecer una solución de la misma.

Diseño

Experimental, debido a las condiciones que se presentan y las variables tanto cualitativas como cuantitativas que se desarrollan en la propuesta de investigación. Este diseño permite identificar las causas de la problemática para posterior a esto analizar las consecuencias.

Unidad de análisis

La zona de estudio en la que se desarrolla el proyecto es el municipio de Calarcá ubicado en el departamento del Quindío, Colombia. Con el fin de poder encontrar puntos estratégicos para la implementación de las energías eólica y solar; esto se hace con el propósito de abastecer la energía

renovable en el municipio, por otro lado, “la energía eólica funciona a base del viento, el cual es una masa de aire en movimiento que posee energía cinética, la cual se puede transformar en energía eléctrica, esto gracias a que el viento choca con las palas, haciendo que estas giren y la energía cinética se transforme en energía eléctrica mediante un generador; para determinar la energía producida es necesario tener en cuenta variables como, la altura, densidad del viento, el área barrida por las palas, la velocidad del viento incidente y el terreno en que se encuentra”. (IDAE, 2006). y según Lamigueiro “Un sistema fotovoltaico es el conjunto de equipos eléctricos y electrónicos que producen energía eléctrica a partir de la radiación solar. El principal componente de este sistema es el módulo fotovoltaico, a su vez compuesto por células capaces de transformar la energía luminosa incidente en energía eléctrica de corriente continua. El resto de equipos incluidos en un sistema fotovoltaico depende en gran medida de la aplicación a la que está destinado. A grandes rasgos los sistemas fotovoltaicos pueden clasificarse en tres grandes grupos: conectados a red (grid connected), autónomos (off-grid) y de bombeo”. De manera análoga, a continuación, se presenta una tabla, donde se observa la ubicación y coordenadas del municipio, el departamento y el país en el que se presenta el proyecto:

PAÍS	LATITUD	LONGITUD
<p>COLOMBIA:</p> 	<p>04°35'46,3215"</p>	<p>77°04'39,0285"</p>
DEPARTAMENTO	LATITUD	LONGITUD
<p>QUINDIO:</p> 	<p>04° 04' 41" y 04° 43' 18"</p>	<p>75° 23' 41" y 75° 53' 56"</p>
MUNICIPIO	NORTE	ESTE

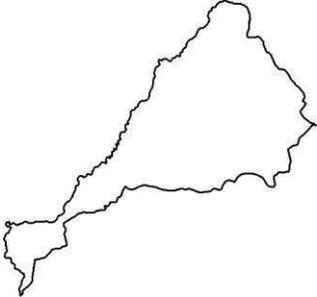
CALARCA:	04° 20' 40" y 04° 33'	75° 33' 40" y 75° 48'
	50"	40"

Tabla 1. Localización del proyecto. Fuente: Autores.

Plan de análisis

De acuerdo con el proyecto a realizar, se tiene presente los antecedentes en la zona de estudio que se seleccionó, después de esto se identifican las variables climáticas del municipio de Calarcá, Quindío por medio de las páginas del IDEAM, Colombia en mapas, Earth Explorer, además de que las leyes ambientales cumplen un rol importante en este proyecto ya que permiten identificar cuáles son las zonas de protección que no se pueden intervenir, una vez determinado lo anterior, se procede a realizar a través del software ArcGIS el geoprocesamiento adecuado para poder determinar las zonas óptimas y poderlo representar en mapas con los posibles lugares a intervenir.

Operacionalización de variables

OBJETIVO	VARIABLE	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	MÉTODOS E INSTRUMENTOS	PRODUCTO
Desarrollar un modelo mediante el análisis de energía eólica y solar para el municipio de Calarcá, Quindío – Colombia	VELOCIDAD DEL VIENTO	La variable de la velocidad del viento es de suma importancia, ya que nos determina la posición de los aerogeneradores a través del comportamiento del viento en la zona a intervenir.	La velocidad está en m/s en diferentes altitudes	Se recolecta la información por medio del IDEAM, Colombia en mapas, secretaría de planeación con el fin de adquirir las capas adecuadas.	Representación n de los resultados del método de ponderación de variables, con el fin de establecer los lugares óptimos para la implementación de la energía eólica y solar en el municipio de Calarcá.
	RADIACIÓN SOLAR	La radiación solar nos permite identificar la cantidad de calor que irradia en la zona de estudio, puesto que esto nos permite analizar la viabilidad para la implementación de los paneles solares.	La radiación solar está en vatios (w) o en kilovatios (Kw) por metros cuadrados .		

Tabla 2. Operacionalización de variables. Fuente: Autores.

Fases metodológicas.

Fase 1- Identificar las variables climáticas y físicas asociadas con la energía eólica y solar

para el municipio estudiado: Se deben identificar las variables climáticas y físicas, por ende, según Antonio Aguilera Nieves “Los aerogeneradores dependen fundamentalmente de la superficie disponible y de las características del viento en el emplazamiento. Antes de montar un aerogenerador se estudia el viento en el emplazamiento elegido durante un tiempo que suele ser superior a un año. Para ello se instalan veletas y anemómetros. Con los datos recogidos se traza una rosa de los vientos que indica las direcciones predominantes del viento y su velocidad”. *Pag. 7.* Por otro lado, según Orbegozo, Carlos y Arivilca, Roberto “El instrumento que sirve para medir la energía solar es el solarímetro. Básicamente hay dos tipos de solarímetros: el piranómetro y el medidor fotovoltaico. Ambos tipos miden la radiación solar tanto directa como indirecta (difusa).” *Pag. 15*

Esta fase es el punto de partida para poder ejecutar el proyecto, por ende, los trabajos realizados anteriormente en Colombia han sido de gran ayuda, debido a que se puede determinar cuáles han sido los resultados a favor de esto. Una vez se tiene el conocimiento adecuado de que es la energía eólica y solar, se procede a investigar más a fondo a través de artículos, libros, proyectos de grado e información vinculada con la temática para ir creciendo de forma exponencial e ir integrando poco a poco a lo que se pretende llegar. Por otro lado, se debe de escoger el lugar a estudiar, puesto que el departamento del Quindío cuenta con doce (12) municipios los cuales, Salento, Córdoba, Filandia y Armenia han ido implementado las energías renovables a las afueras de sector urbano, asimismo, el municipio de Calarcá tiene la intención de irse integrando al sistema de energías renovables, ya que esta vio la necesidad debido a que cuenta según el DANE con aproximadamente 75.532 habitantes tanto rural como urbano, motivo por el cual no todos se abastecen con la energía suficiente.

Por consiguiente, se debe tener en cuenta que para la implementación de estas energías las

variables climatológicas son la fuente principal para la generación de electricidad, por tal motivo, el municipio es necesario aclarar que Calarcá está a la altura de 1573 msnm siendo esto un referente para la ejecución de los aerogeneradores, sin embargo, para estudiar más a fondo el comportamiento de la dirección, velocidad del viento y la radiación solar se hace a través del IDEAM donde nos permite evidenciar cómo se comportan las variables climáticas en los periodos de cada mes hasta completar el año. Mencionado esto, se procede a determinar cuales podrán ser los lugares más óptimos para la implementación de los aerogeneradores y paneles solares fotovoltaicos.

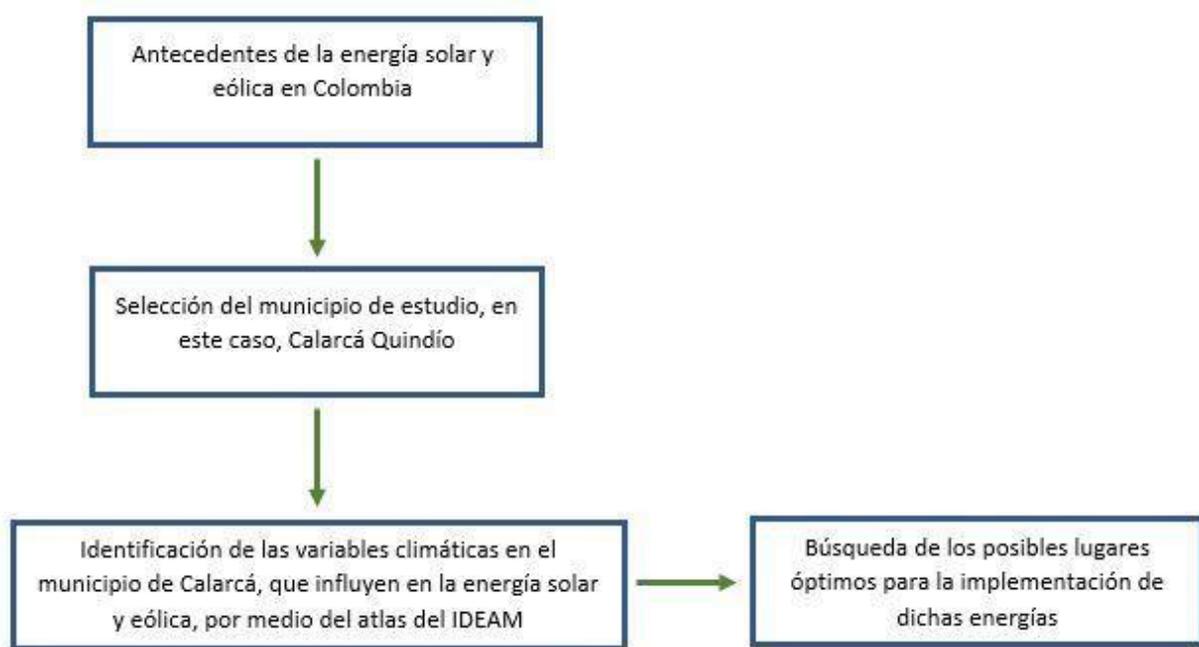


Ilustración 2. Fase 1 de la metodología. Fuente: Autores

Fase 2 Analizar el comportamiento de las variables y su viabilidad para el uso de energía

híbrida: Para esta parte, se tiene que, según M. Mikatia, M. Santos (2012) “En general, tanto para este modelo como para el del viento, es importante considerar las perturbaciones debidas a factores ambientales como nubes, turbulencias, efectos térmicos locales, obstáculos, entre otros. Debido a esto, los programas para la generación de estos recursos tienen elementos tanto deterministas como aleatorios.

Los patrones generales del recurso solar están bien establecidos mediante relaciones astronómicas y geométricas. Es relativamente fácil estimar la radiación solar incidente en un colector en un día despejado.” *Pag. 269.*

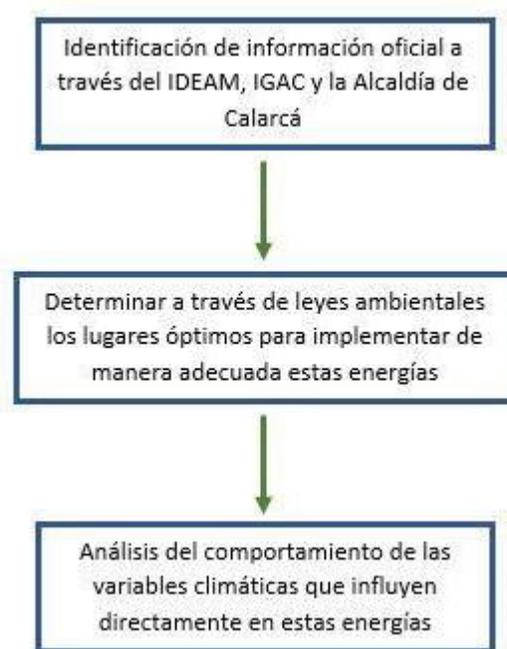


Ilustración 3. Fase 2 de la metodología. Fuente: Autores

En esta segunda fase se profundiza en las variables climáticas principales y secundarias, es decir, las que influyen de manera indirecta como lo son las precipitaciones, temperatura, humedad. De este modo, a través de las páginas oficiales del IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudio Ambientales), IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi), y entidades públicas y privadas del sector de planeación, infraestructura y la EDEQ (Empresa de Energía del Quindío S.A.S) del municipio de Calarcá, se procede a indagar las capas adecuadas para poder dar un buen resultado al proyecto, por lo cual, se evidencian el uso del suelo, la cobertura de la tierra, la radiación solar en 10 metros y 50 metros, la velocidad del viento, áreas críticas, conflicto por pérdida de cobertura natural, conflicto de uso de agua y conflicto de uso de suelos. Asimismo, este proyecto debe de estar regido bajo las normas ambientales adecuadas, donde la ley segunda de

1959 aclara de manera explícita la prohibición de ciertos lugares para la implementación de cualquier construcción o intervención del ser humano que atente contra la vida ecosistémica, además, esta ley coloca dos tipos de restricciones, donde la zona A lo que busca es la regeneración de las zonas afectadas sin ninguna injerencia y por otra parte, la zona B que son los lugares óptimos para la ejecución de un proyecto que busca la integridad tanto del ambiente como el de los seres humanos sin ningún prejuicio, por otro lado, también están las variables climáticas que participan de manera directa como lo son: la velocidad del viento, la dirección y la radiación solar donde permite la generación de esta energía.

Fase 3 -Determinar mediante las variables estudiadas, el mejor modelo para la zona de estudio: Para determinar mediante las variables estudiadas, el mejor modelo para la zona de estudio según Vergara Pablo; Rey, Juan; Osma, German; Ordoñez, Gabriel “Para llevar a cabo la evaluación de los recursos eólicos y solares en la ciudad de Bucaramanga, se estudiaron los registros de las siguientes variables meteorológicas: la velocidad y la dirección del viento, la temperatura y la radiación solar. Para eso, se analizó el registro horario en tres puntos estratégicos de la ciudad, con medición para los años 2010, 2011 y 2012, información suministrada por la Corporación de la Defensa para la Meseta de Bucaramanga, CDMB. Además, esta información se complementa con los datos meteorológicos de la estación de monitoreo ubicada en el campus central de la UIS para el año 2010. La primera estación (denominada en adelante E1) se ubica en la zona Centro la cual se encuentra en el centro de la ciudad. La segunda estación (E2), se ubica en la zona Real de Minas, al occidente de la ciudad. La tercera estación (E3), se ubica en la zona Norte la cual se encuentra al Norte de la ciudad, en cercanía a la estación (E4) denominada UIS, ubicada en el campus central de la UIS.” *Pag. 53 y 52.*

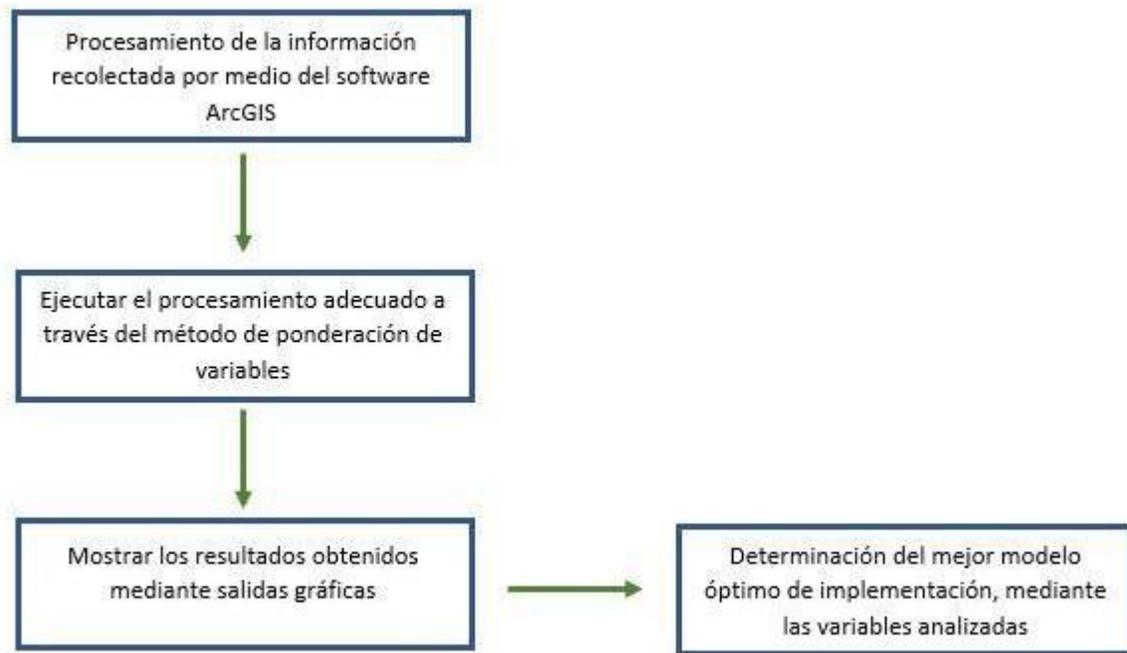


Ilustración 4. Fase 3 de la metodología. Fuente: Autores

Antes que nada, se debe tener el dato exacto del consumo de energía del municipio de Calarcá, para esto se requirió de información oficial de la Gobernación del Quindío, la cual cuenta con el consumo de energía del departamento, y menciona que el municipio en estudio cuenta con un total de 41.576.562 Kwh en el año 2021, pero en este caso solo utilizará el valor del consumo de energía residencial, el cual es de 27.085.883 Kwh en el año 2021 como se muestra en la ilustración 5. Lo anterior, es de mucha importancia puesto que nos ayuda a comprender la magnitud con la que el municipio de Calarcá consume de este servicio y de igual manera ayudar en la posible transición para las energías renovables.

Ciudad		2021
Calarcá	Residencial	27.085.883
	Comercial	6.954.372
	Industrial	5.387.216
	Oficial	1.199.787
	Otros	
	Provisional	731.439
	Areas comu..	244.865
	A.P	0

Ilustración 5. Consumo de energía en el municipio de Calarcá en Kwh. Fuente: Gobernación del Quindío

Resultados

Fase 1: Identificar las variables climáticas y físicas asociadas con la energía eólica y solar para el municipio estudiado:

La energía renovable está tomando cada vez más importancia en el país y en el resto del mundo. Y dos de las principales fuentes renovables son la energía solar y eólica; estas fuentes de energía no son nuevas, sin embargo, en los últimos años han tenido un mayor impacto en la sociedad.

En esta fase final luego de recolectar la información pertinente, se realiza el debido procesamiento por medio del software ArcGIS, este programa permite visualizar los puntos estratégicos a implementar y esto se hace a través del método de ponderación de variables el cual consiste en darle peso a cada una de las capas seleccionadas ver tabla 2, para así poder determinar qué lugares son óptimos para la instalación de los paneles solares y aerogeneradores verticales u horizontales en el municipio de Calarcá, sin embargo, antes de seguir se debe tener en cuenta las siguientes especificaciones que son las de tener el sistema de referencia según en el lugar estudiado, para este caso el municipio seleccionado está en MAGNA-SIRGAS Colombia Oeste, y por otro lado, hacer las proyecciones cartográficas relativas, esto se hace con el fin de que no haya fallos en los procesos durante el geoprocesamiento de las capas.

Capa	Peso para la ponderación
Radiación solar	15 %
Velocidad del viento	45 %
Ley segunda	25 %
Conflictos de cobertura de suelo	15 %
Municipio de Calarcá	N/A

Tabla 3. Ponderación de variables. Fuente: Autores.

Una vez realizada dicha ponderación, se procede al cálculo de áreas a través de la salida gráfica 14 *ver tabla 3*, la cual contiene las zonas óptimas para la implementación de las energías renovables.

Zonas	Área (Ha)
Óptimas	7699,523
Restricción tipo A (Ley Segunda) *	4363,511
No intervención	9478,464
Previa decisión de ordenamiento**	94,727
Total	21636,225

Tabla 4. Disponibilidad de áreas. Fuente: Autores.

* **Zona tipo A**, es una zona que se puede modificar para mejorar el aprovechamiento de los servicios ecosistémicos.

** La previa decisión de ordenamiento, hace referencia a que se puede construir dentro de esta zona, pero la decisión final la toma el municipio, de acuerdo a la Ley 2da.

Dicho esto, se muestra los resultados obtenidos de este desarrollo a través de las salidas gráficas, las cuales permiten identificar las zonas más acertadas y así poder determinar el modelo más viable para la ejecución del proyecto; sin embargo, hay que tener en cuenta dos situaciones durante el resultado, en caso de que las zonas a intervenir sean en la parte rural observar de que no haya interferencia ambiental para poder construir el sistema híbrido, pero si en un dado caso llega a dar dentro del casco urbano se debe de determinar la cantidad de obstáculos (cables de luz, postes, alcantarillado), la altura y el consumo energético del edificio o la casa para poder implementar el sistema encima de estas viviendas, por último, se decide cual es el tipo de aerogenerador más conveniente según su velocidad, si esta se encuentra por debajo de 4 m/s sería para un

aerogenerador vertical, pero si está por encima de este promedio se podrá implementar un aerogenerador horizontal.

El viento es una manifestación indirecta de la energía que se recibe del sol, esto es debido a que es el resultado del diferente grado de calentamiento que puede tener la superficie terrestre por los rayos solares, así como por el movimiento de rotación del planeta sobre sí mismo. La velocidad de este fenómeno varía de acuerdo a la altura con la roza la superficie terrestre. Esta variación depende de diferentes factores, como la topografía del terreno o los obstáculos que este fenómeno pueda encontrarse a lo largo de su trayectoria.

Una vez explicado esto, es claro decir que los vientos están influenciados por la superficie terrestre a altitudes de hasta 100 metros. La velocidad del viento varía directamente proporcional con la altura, es decir, a menor altitud el viento se ve más afectado por la topografía y obstáculos del terreno ya que existe mayor fricción y se generan turbulencias.

Debido a esto, se puede evidenciar como en el municipio de Calarcá, en el año 2021, la velocidad anual promedio del viento a 10 metros de altura sobre la superficie, es de 5.6 m/s; evidenciando que, a una altura tan mínima, las diferentes corrientes de vientos que llegan al municipio son muy inferiores, ya sea por la topografía que pueda llegar a tener el lugar, o sencillamente por la diferencia de presión que debe de existir para que haya una gran velocidad en el fenómeno.

Según Jaramillo, Alfredo (2013) el comportamiento de la velocidad del viento se puede interpretar de la siguiente manera: ver imagen 5.

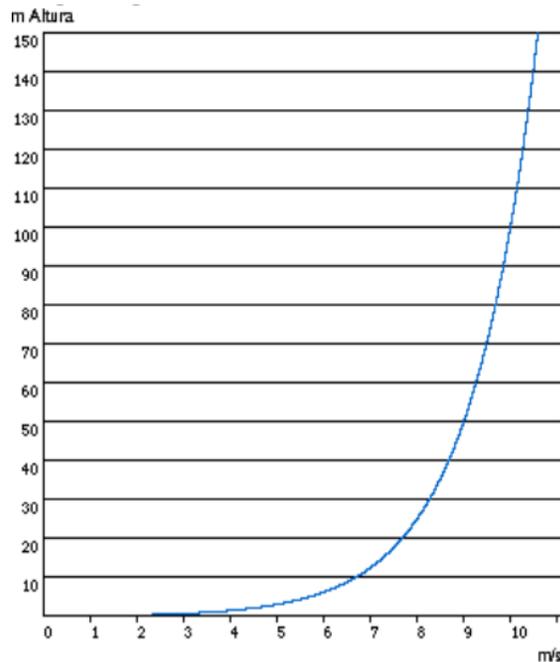


Ilustración 6. Fase 1 de la metodología. Fuente: O, A, Jaramillo Salgado; Energía Eólica Teoría y Conceptos Características del viento y evaluación del recurso energético; pág. 20.

A parte de esto, es necesario mencionar que la variación en la velocidad del viento puede ser cambiante también en la latitud en la que nos encontramos, puesto que hay un calentamiento heterogéneo en la superficie de la tierra ocasionado por el ciclo de radiación diario. Una variación típica diurna se manifiesta con un incremento en la velocidad del viento durante el día y entre la media noche y el amanecer las velocidades registradas son las más bajas

Dicho esto, se confirma que los datos obtenidos durante los meses del año 2021, no son erróneos o alterados, puesto que la velocidad promedio a 50 metros de altura fue de 8,75 m/s; y en la gráfica se observa como a esa altitud, la velocidad puede llegar a ser de 9 m/s. Esto quiere decir que el municipio de Calarcá, cuenta con velocidades de viento óptimas para el aprovechamiento de este fenómeno, el cual ayudará a la integración de la energía eólica como respuesta al aumento de la demanda energética que hay en el mundo, y a su vez, a la mitigación del cambio climático, convirtiéndola en una opción válida.

Según el IDEAM, la radiación solar es la energía emitida por el Sol, que se propaga en todas las direcciones a través del espacio mediante ondas electromagnéticas y se genera en las reacciones del hidrógeno en el núcleo del Sol por fusión nuclear y es emitida por la superficie solar. Esta radiación pasa por la atmósfera, una vez sucede esto, sufre un proceso de debilitamiento por la dispersión (aerosoles), la reflexión (por las nubes) y la absorción (por las moléculas de gases y por partículas en suspensión), por lo tanto, la radiación solar reflejada o absorbida por la superficie terrestre (océano o continente) es menor a la del tope de la atmósfera.

Este fenómeno depende de la longitud de onda de la energía transmitida y del tamaño y naturaleza de la sustancia que modifica la radiación. Es decir, la cantidad de radiación se ve afectada por los diferentes obstáculos que pueda llegar a tener en su proceso de llegar a la superficie terrestre.

Una vez comprendido esto, la radiación solar en el municipio de Calarcá, tiene un promedio aceptable en cuanto al necesario para hacer uso de este recurso natural, siendo de 8 W/m² a 10 W/m². Gracias a este promedio de radiación solar, se puede hacer uso de la energía solar a través de las células fotovoltaicas, que ayudan a ejecutar la conversión, de radiación solar a energía eléctrica. Por otra parte, a continuación, se presenta una tabla con las capas que se emplean en el proyecto:

Nombre Capa	Tipo de criterio	Formato	Fuente	Escala
Areas_Criticas_Calarca	Económico	SHAPE	IGAC	1:100.000
Calarca	Económico	SHAPE	IGAC	1:100.000
Cobertura_Tierra_Uso_Actual_Calarca	Ambiental	SHAPE	IGAC	1:100.000
Conflicto_Perdida_Coberturas_Naturales_Calarca	Ambiental	SHAPE	IGAC	1:100.000
Conflicto_Uso_Agua_Calarca	Ambiental	SHAPE	IGAC	1:100.000

Curvas_Nivel	Tecnico/Economico	SHAPE	Alaska Satellite Facility	1:25.000
Irradiacion_Global_Horizontal	Ambiental/Economico	SHAPE	IDEAM	1:100.000
Ley_Segunda	Economico	SHAPE	IGAC	1:100.000
Radiacion_Solar	Ambiental/Economico	SHAPE </td <td>IDEAM</td> <td>1:100.000</td>	IDEAM	1:100.000
Suelos_Calarca	Ambiental/Economico	SHAPE	IGAC	1:100.000
Velocidad_Viento_10m	Ambiental/Economico	SHAPE	IDEAM	1:100.000
Velocidad_Viento_50m	Ambiental/Economico	SHAPE	IDEAM	1:100.000

Tabla 5. Capas utilizadas. Fuente: Autores.

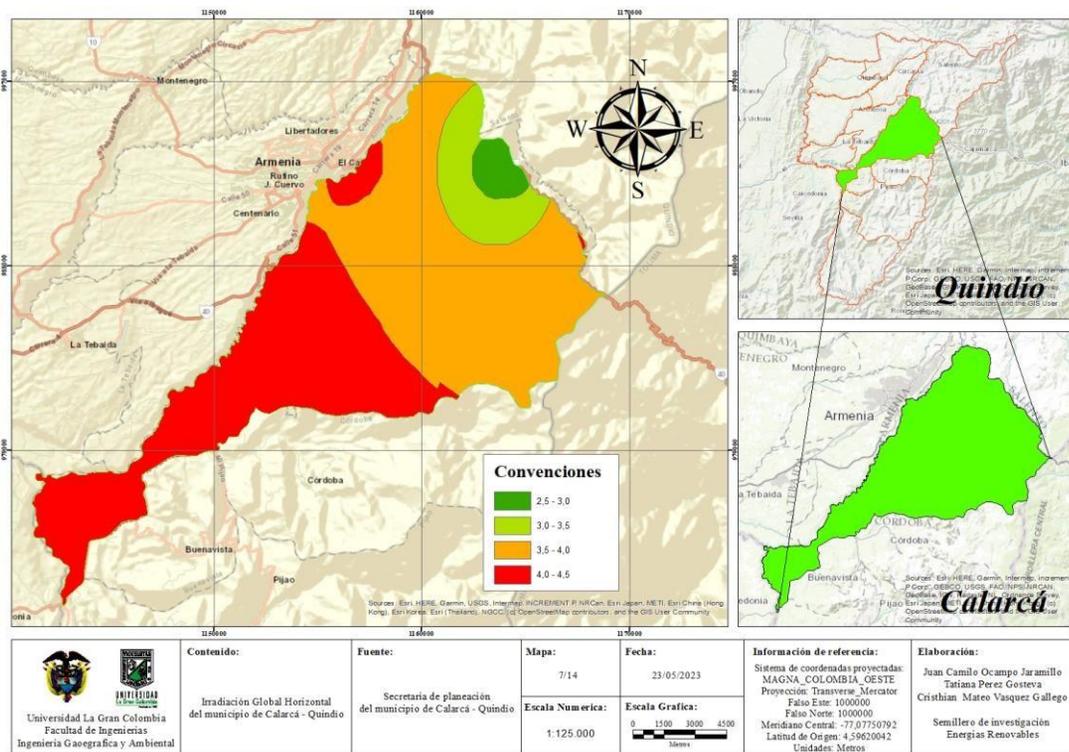


Ilustración 7. Plano Irradiación Global Horizontal Calarcá. Fuente: Autores

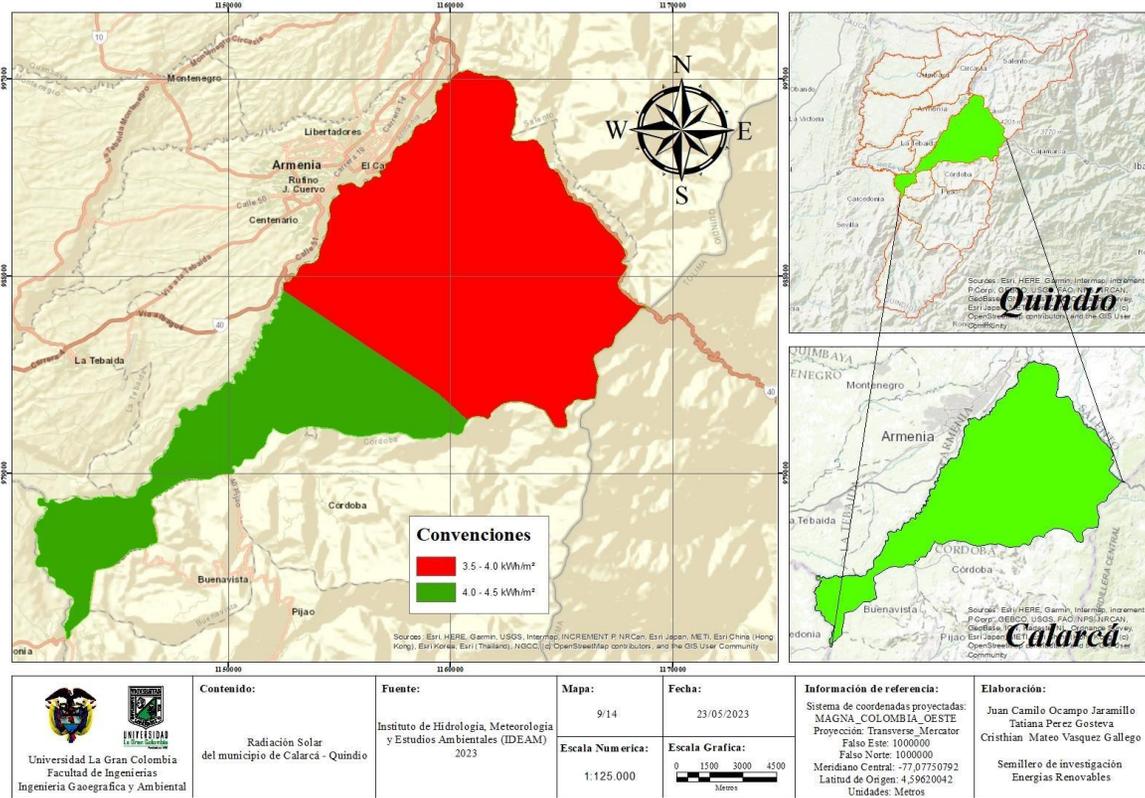


Ilustración 8. Plano Radiación Solar Calarcá. Fuente: Autores.

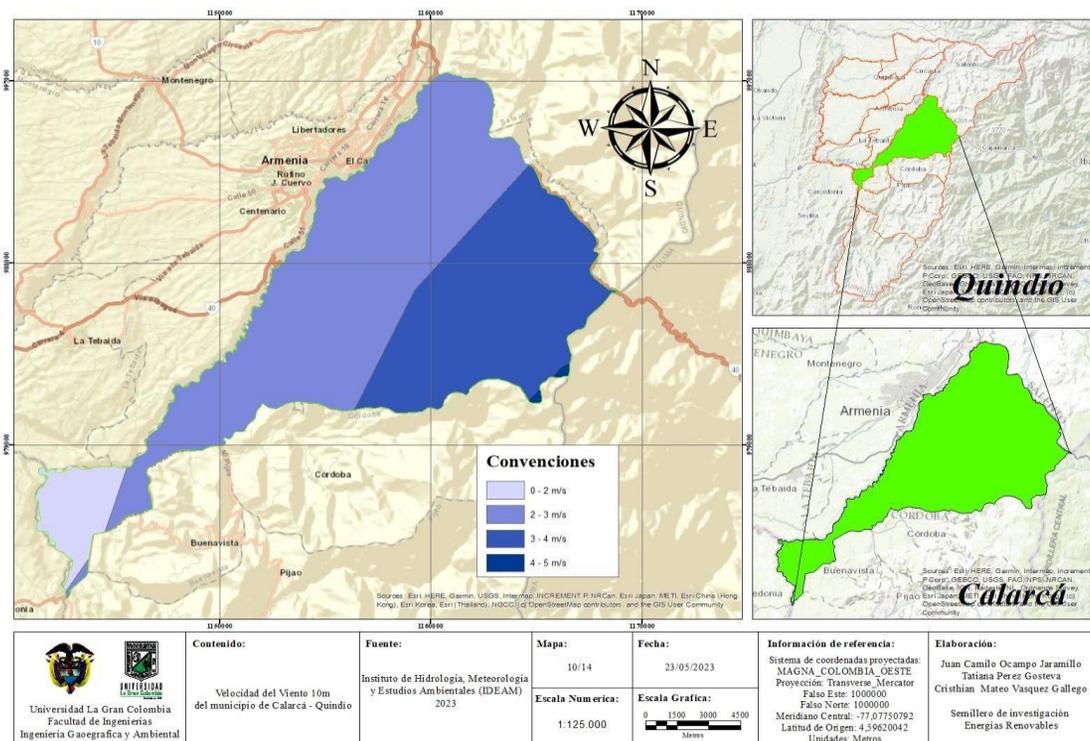


Ilustración 9. Plano Velocidad del Viento 10m Calarcá. Fuente: Autores.

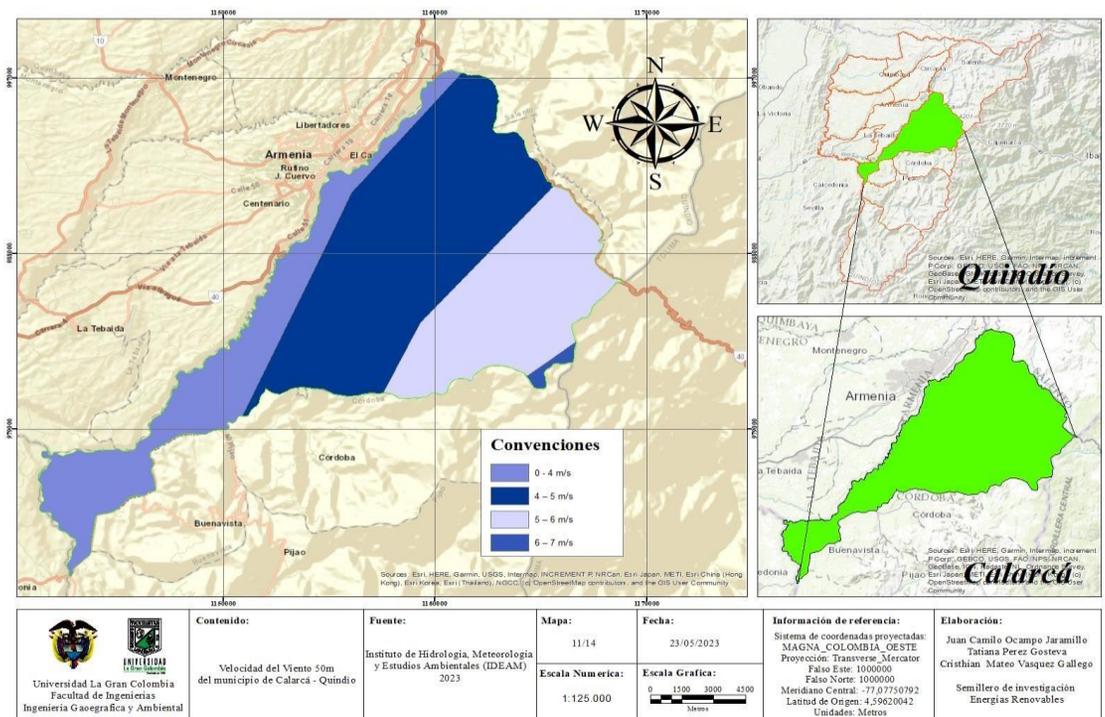


Ilustración 10. Plano Velocidad del Viento 50m Calarcá. Fuente: Autores.

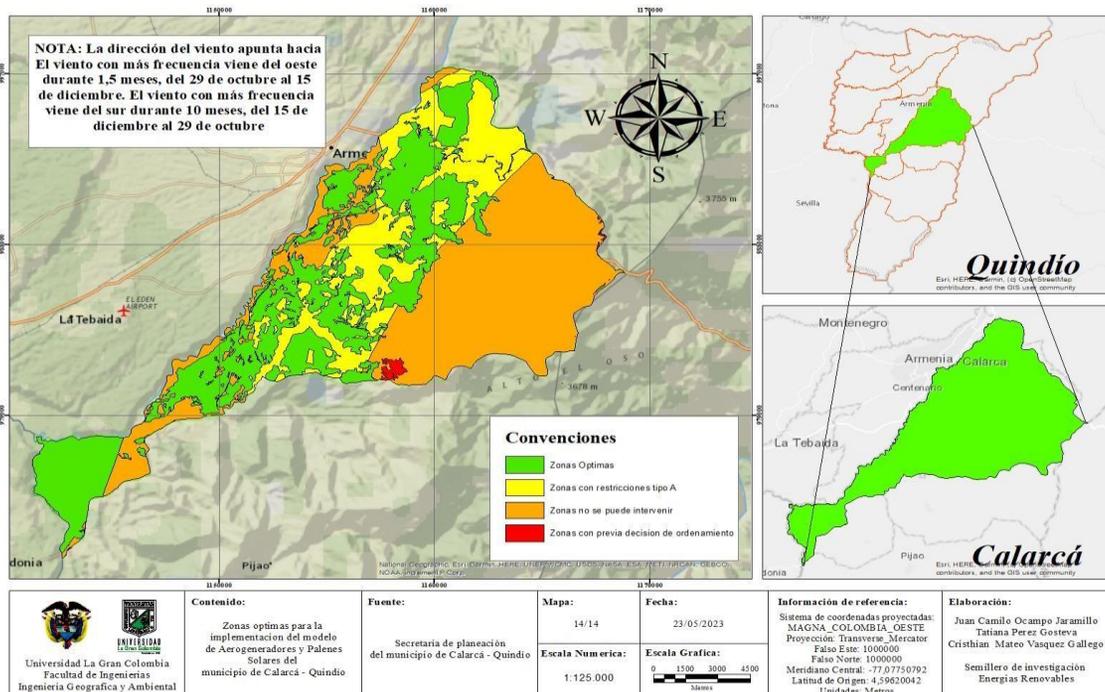


Ilustración 11. Plano Zonas óptimas para la implementación del modelo de Aerogeneradores y Paneles solares Calarcá. Fuente: Autores.

La ilustración 11, muestra las zonas óptimas en color verde, estas identifican donde se pueden implementar los paneles solares y los aerogeneradores de acuerdo a las condiciones climáticas, por otro lado, se encuentran las zonas con restricción tipo A, esta se evidencia de color amarillo, la cual quiere determinar las zonas en la que no se pueden intervenir con el fin de enriquecimiento humano, estas zonas son las que deben ser intervenidas para ir fortaleciendo y restableciendo el hábitat ecológico; las zonas de color naranja son las que no se pueden intervenir, ya que por la capa de conflicto de uso de suelo y la ley segunda, se determinó que es una zona restringida para cualquier tipo de uso, y por último en color rojo, se tienen las zonas con previa decisión de ordenamiento, es decir, son los lugares donde para hacer cualquier tipo de uso, tiene que haber una decisión tomada junto al municipio.

Fase 2: Analizar el comportamiento de las variables y su viabilidad para el uso de energía híbrida:

Para realizar las salidas gráficas se tuvieron en cuenta 12 capas, las cuales tienen una importancia de acuerdo al análisis que se ejecutará, el cual ayudará a identificar las áreas óptimas para la implementación de estas energías renovables. Cada una de las capas se obtuvieron de fuentes oficiales como lo son el IDEAM, COLOMBIA EN MAPAS, el IGAC; así mismo, se tuvo en cuenta que, para la descarga de la información, esta debía de estar en una escala conveniente, es decir, que el detalle a observar sea el adecuado para todo el municipio, para así, lograr especificar de mejor manera cada uno de los datos. Una vez realizado lo anterior, hay que tener en cuenta que la mayoría de estas capas tiene su información por departamento, por ende, para que el resultado fuese más claro, se procedió a recortar cada una de estas para que quede delimitado con el municipio de estudio, en este caso Calarcá; esto con el fin de crear una base de datos de toda la información recolectada.

Al verificar la información de las capas, se procede a determinar cuál es el método óptimo, el cual para este caso, es el de ponderación de variables, debido a que en este proceso se le asigna un peso a cada una de las capas considerada de importancia para el cálculo, es decir, que las capas implementadas en el proceso tienen de acuerdo al tipo de información, mayor o menor importancia, para que el resultado sea lo más parecido a la realidad. Una vez comprendido lo anterior, se seleccionó en esta etapa las capas de RADIACIÓN SOLAR, VELOCIDAD DEL VIENTO EN 10 m, CONFLICTO DE USO DE SUELO y LA LEY SEGUNDA, para que por último se reclasifiquen las zonas, y así identificar las zonas óptimas.

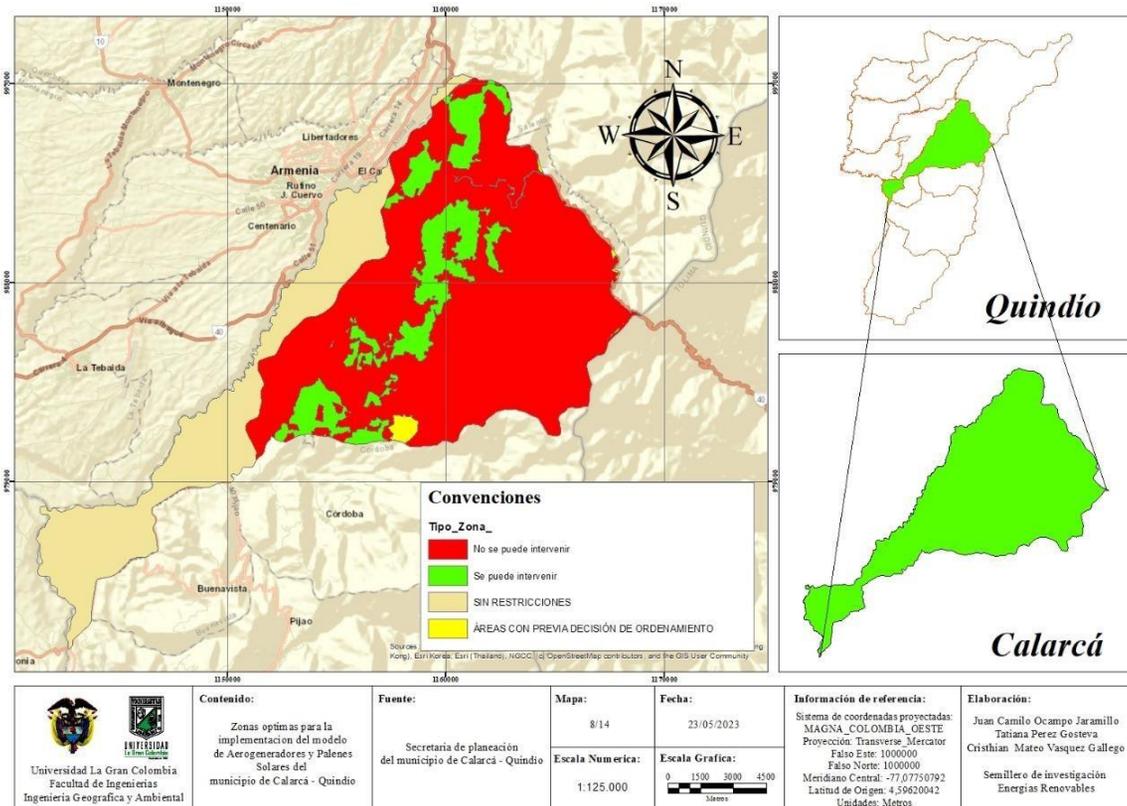


Ilustración 12. Plano Ley Segunda Calarcá. Fuente: Autores.

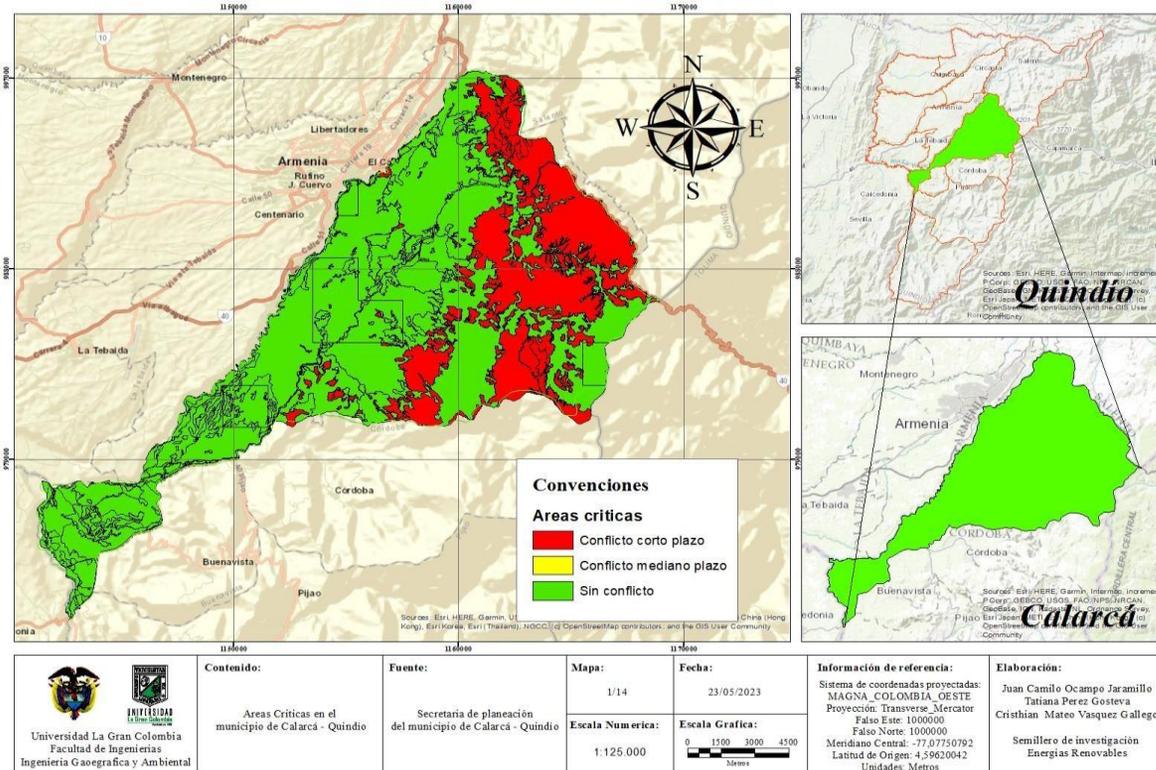


Ilustración 13. Plano Áreas críticas Calarcá. Fuente: Autores.

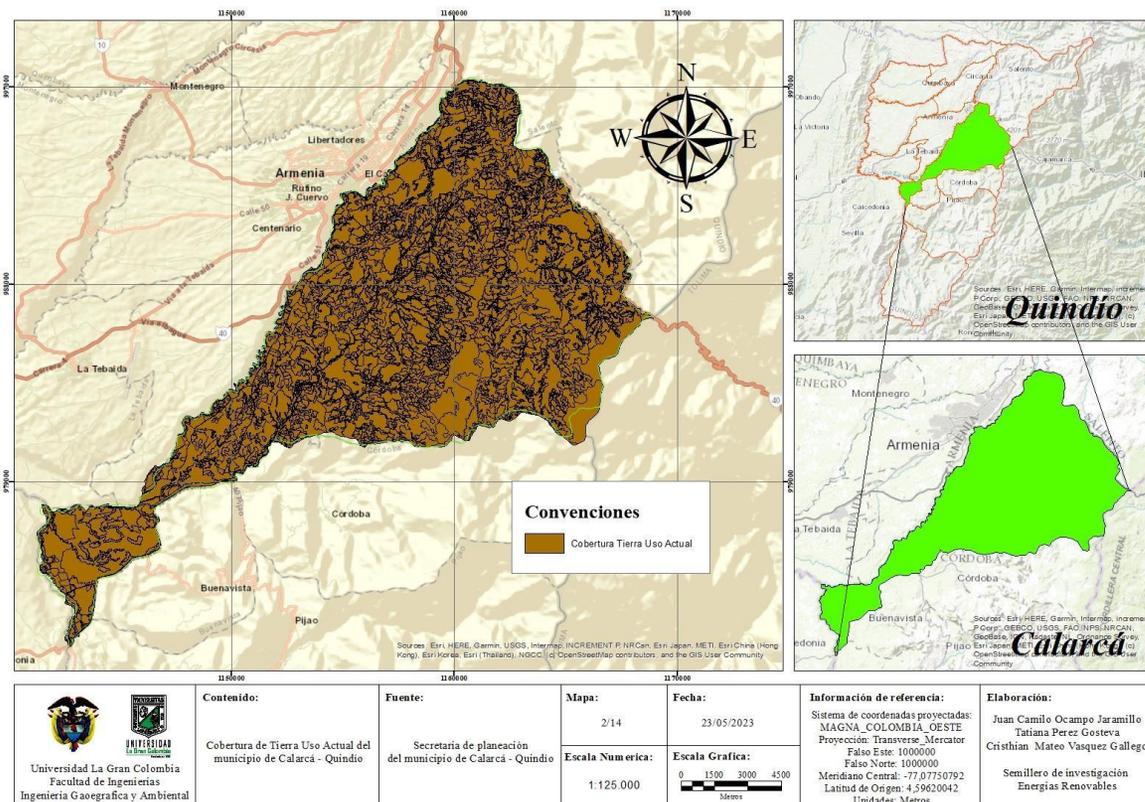


Ilustración 14. Plano Cobertura de Tierra Uso Actual Calarcá. Fuente: Autores.

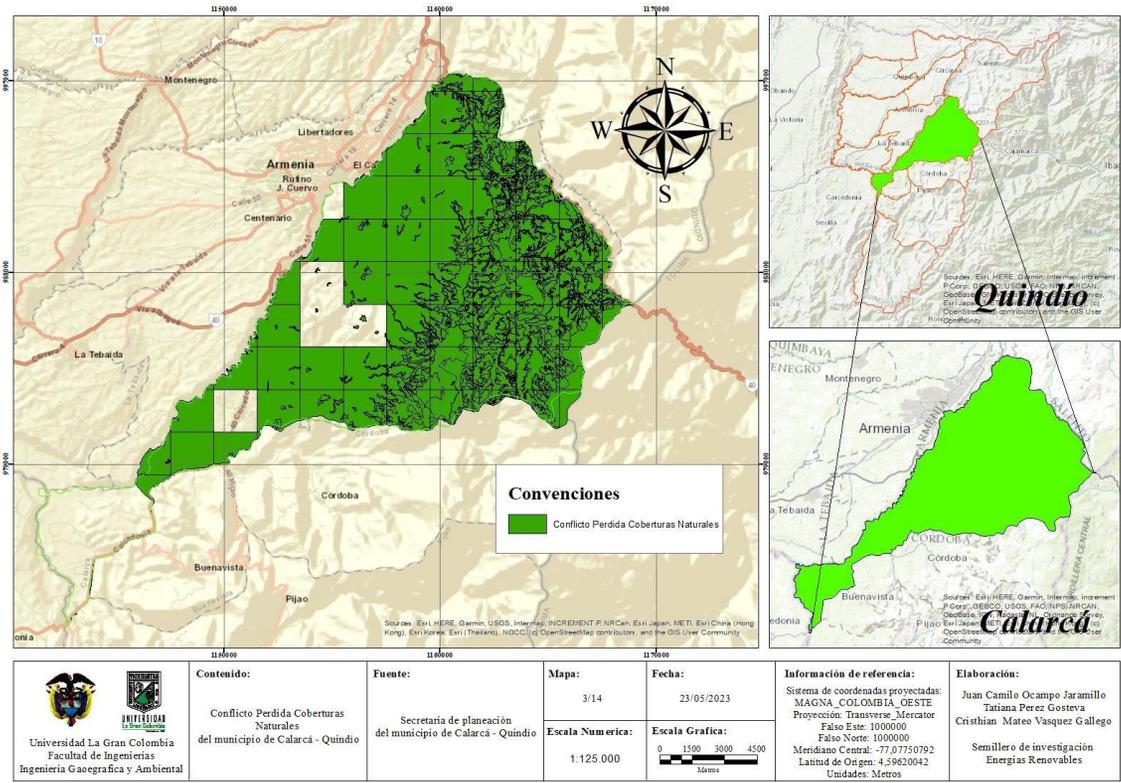


Ilustración 15. Plano Conflicto Pérdida Coberturas Naturales Calarcá. Fuente: Autores.

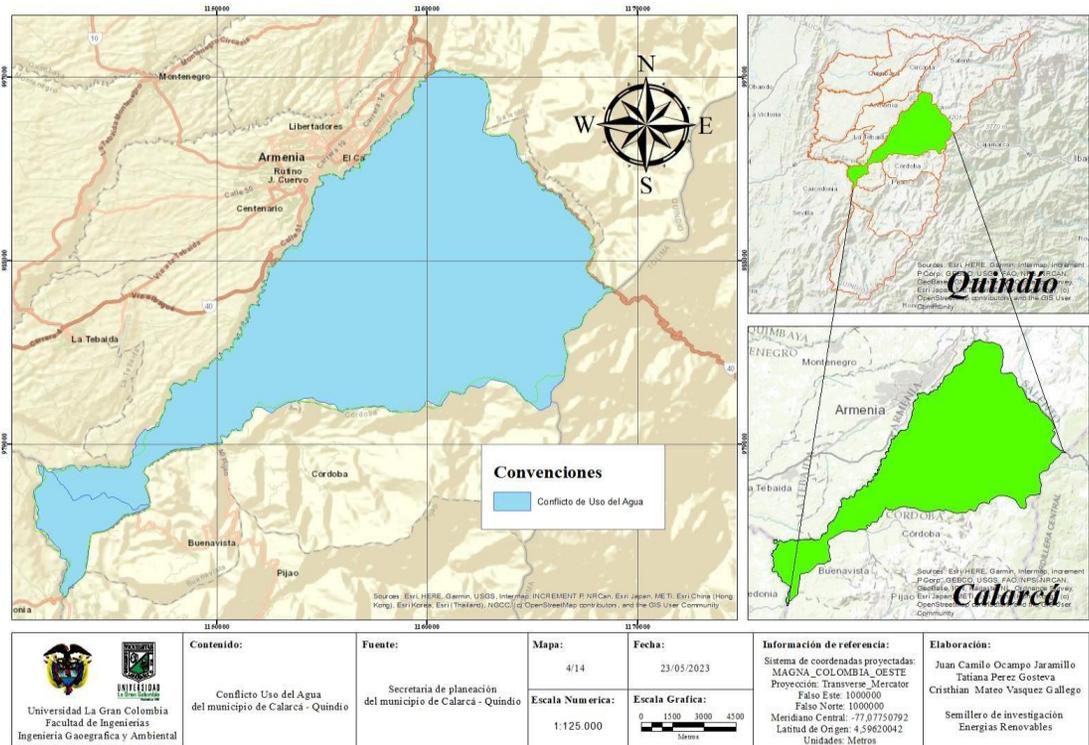


Ilustración 16. Plano Conflicto Pérdida Coberturas Naturales Calarcá. Fuente: Autores.

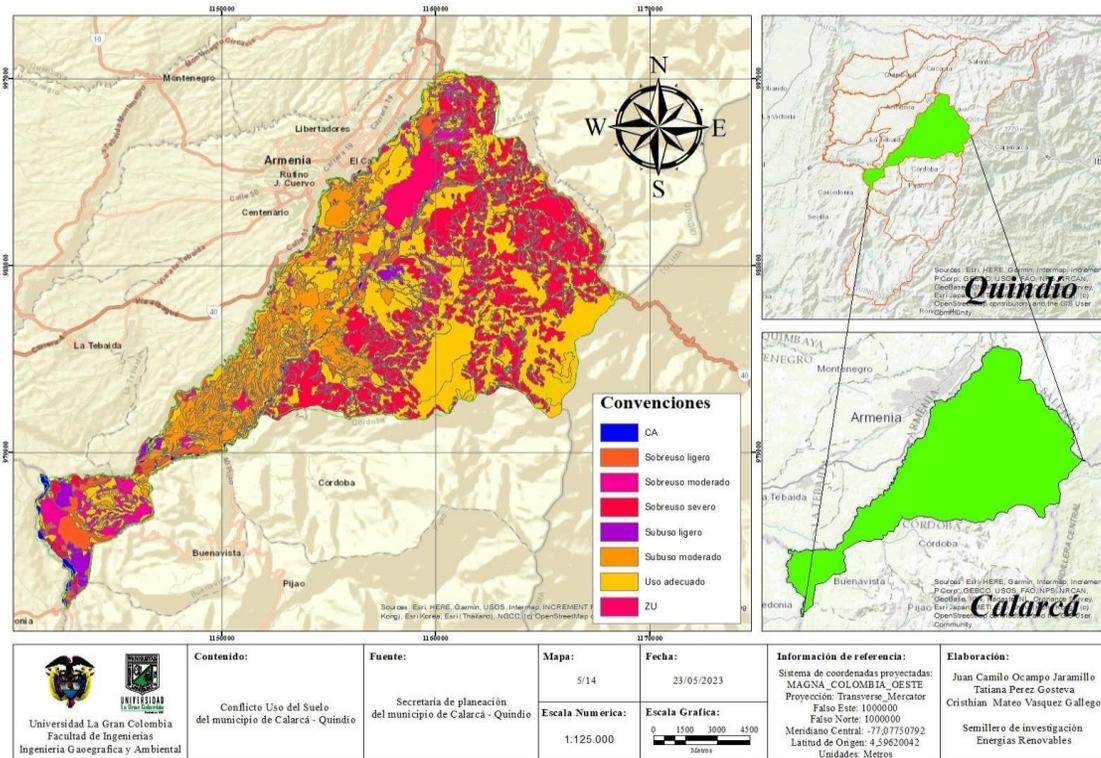


Ilustración 17. Plano Conflicto Uso del Suelo Calarcá. Fuente: Autores.

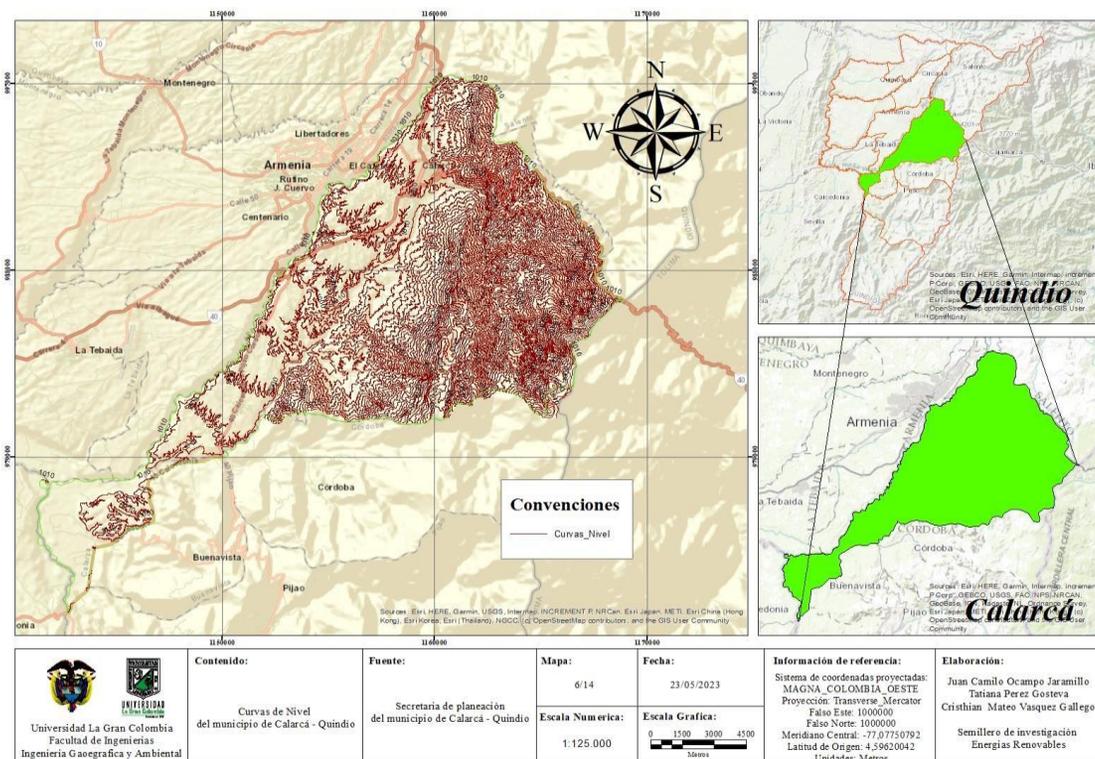


Ilustración 18. Plano Conflicto Uso del Suelo Calarcá. Fuente: Autores.

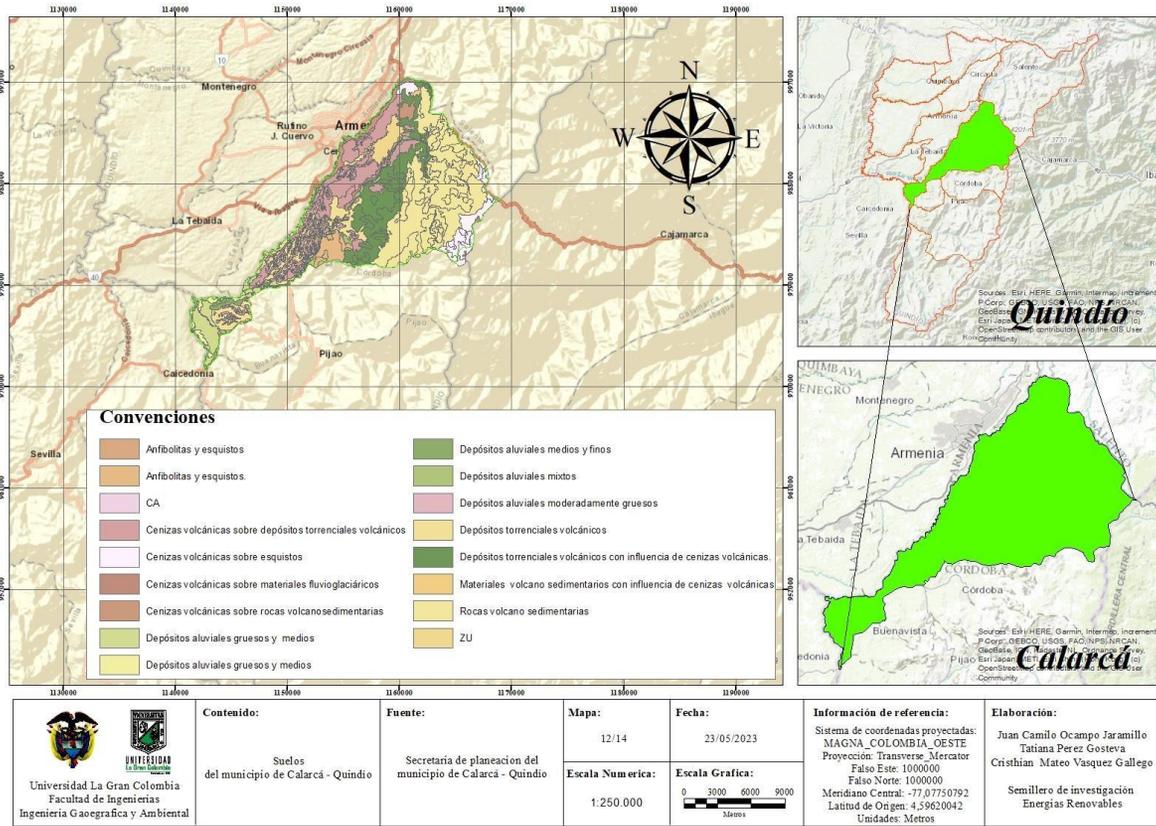


Ilustración 19. Plano Suelos Calarcá. Fuente: Autores.

Fase 3: Determinar mediante las variables estudiadas, el mejor modelo para la zona de estudio:

Gracias a los diferentes antecedentes y variables de mediciones físicas asociadas a las mencionadas energías solar y eólica, se ha logrado identificar que por parte de la energía fotovoltaica la radiación solar en el municipio de Calarcá fluctúa entre 3.5 - 4.5 w / m² y posee entre 3 y 5 horas de sol aprovechables al día. Lo cual es un indicativo que, durante un día, el promedio de radiación solar es 1700 w / m², generando así que la radiación sea óptima para que los paneles solares puedan emplearse de manera adecuada; por otro lado, hay que tener en cuenta que un panel solar promedio tiene una medida de 2 metros cuadrados y genera una potencia de 300 a 400 vatios (w) por hora de sol. Esto genera como resultado que al día se produzcan entre 0,9 y 2 Kwh al día, lo que en un año estaría entre 328 y 730 kilovatios (Kwh). Por este motivo, hay que aclarar que una casa

promedio en Colombia consume de 150 a 200 Kwh al mes, lo que se convierte de 1800 a 2400 Kwh al año.

Por lo tanto, para producir entre 8 y 10 Kwh al día se necesitan de 16 a 20 paneles solares con las mismas especificaciones, los cuales ocuparían un área de 32 a 40 metros cuadrados como se muestra en la *imagen 6*. De igual manera, estos producirían entre 240 y 300 Kwh al mes, generando así 2880 a 3600 Kwh al año.

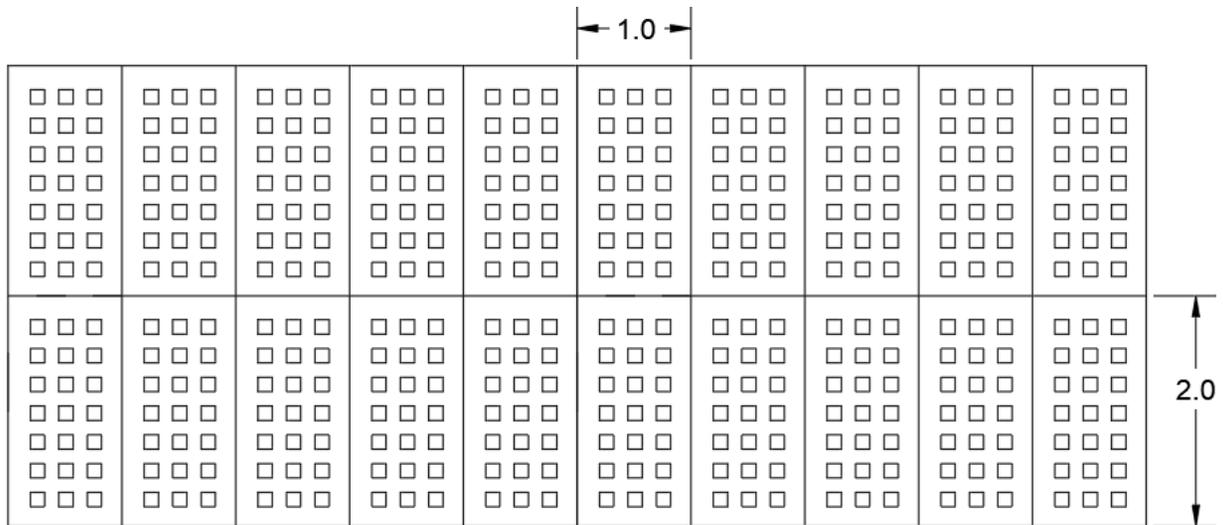


Ilustración 20. Distribución de paneles solares para producir 10 Kwh. Fuente: Autores.

Por su parte, la energía eólica, cuenta con velocidades de viento a 10 y 50 metros de altura, lo cual ayuda a conocer que tan viable es implementar aerogeneradores que estén a diferente altura de la superficie. Sin embargo, hay que mencionar que los aerogeneradores de eje horizontal podrían aprovechar de mejor manera los vientos a 50 metros de altura en adelante, pero no son tan viables en la zona debido a que las leyes ambientales que existen en el municipio no lo permiten, es por esto que los aerogeneradores verticales son la mejor opción puesto que aprovechan las bajas velocidades de viento, y funcionan con vientos provenientes de cualquier dirección.

Asimismo, el municipio cuenta con velocidades desde 2 hasta los 3 m/s. Adicionalmente, las velocidades del viento alcanzan un máximo en los meses de junio a agosto con 5 a 8 m/s. No obstante, existen modelos verticales como los aerogeneradores IceWind, los cuales son capaces de producir electricidad con velocidades de 2 m/s en adelante, y con vientos muy fuertes de hasta 50 m/s. Estos modelos que aprovechan esas bajas velocidades, pueden producir hasta 600 (w) de energía y cuentan con un área ocupada ó diámetro de 1.1 metros cuadrados; por lo tanto, con la velocidad promedio de 4 m/s, un aerogenerador vertical IceWind puede alcanzar los 500 a 600 (w) de producción, y con una constante, la cual es entregar vatios (w) de producción aun en las condiciones más desfavorables.

Gracias a lo anterior, para producir 6000 (w) ó 6 Kwh en el día, se necesitarían de 10 a 12 de estos aerogeneradores, los cuales ocupan un área de 106.5 m² ya que deberán de estar separados mínimamente por dos veces su diámetro, si es dentro de la misma línea, es decir, uno al lado del otro, y cuatro veces su diámetro con otras líneas, es decir, hacia al frente o hacia atrás, para que estos no tengan interferencias aerodinámicas y con ello consecuencias más graves, como se muestra en la *imagen 7*. Por lo tanto, estos 12 aerogeneradores podrían producir 180 Kwh al mes, y al año serían 2160 Kwh.

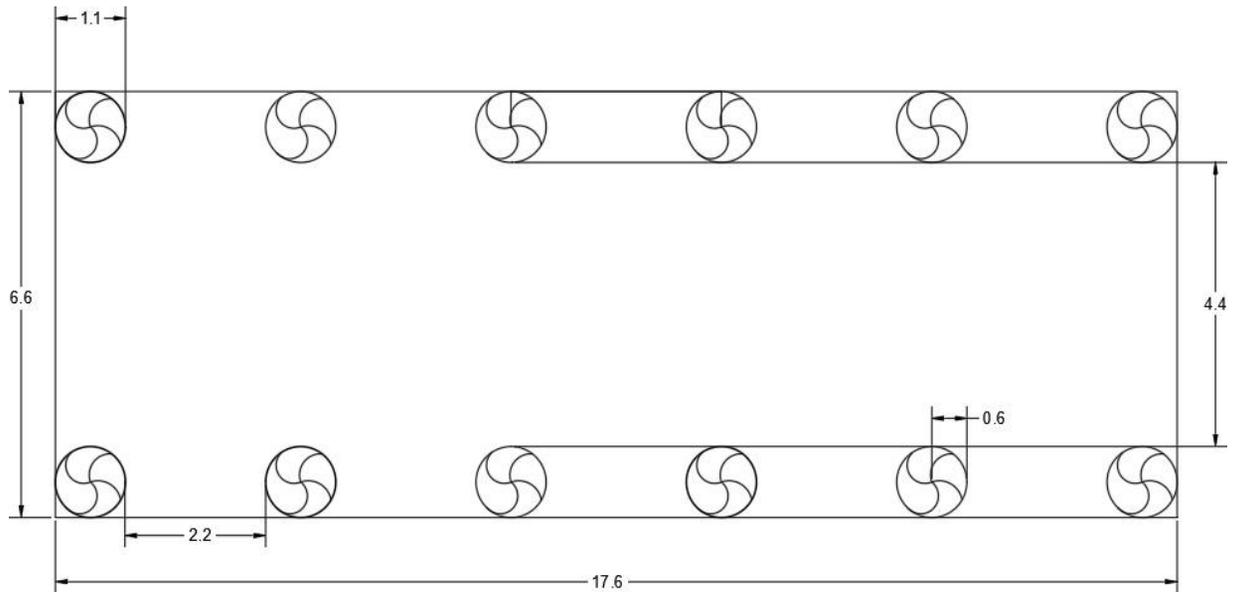


Ilustración 21. Distribución propuesta de aerogeneradores verticales. Fuente: Autores.

Una vez entendida la producción tanto de los paneles solares como de los aerogeneradores y la disponibilidad de uso del suelo en el municipio de Calarcá, las zonas óptimas donde se podrían implementar dichos sistemas cuentan con alrededor de 7699 Ha, es decir, que en todo el municipio habría un 35% de área óptima para su desarrollo.

No obstante, su instalación no sería en toda su capacidad debido a que toda esta área es privada y los costos serían extremadamente elevados, por lo tanto, y para comprender mejor la magnitud de la posible producción energética, se hizo un cálculo de aproximación, el cual se basa en que si hay 1Ha disponible para ejecutar dichas energías, estos serían los resultados de producción energética a través del modelo *ver imagen 8*.

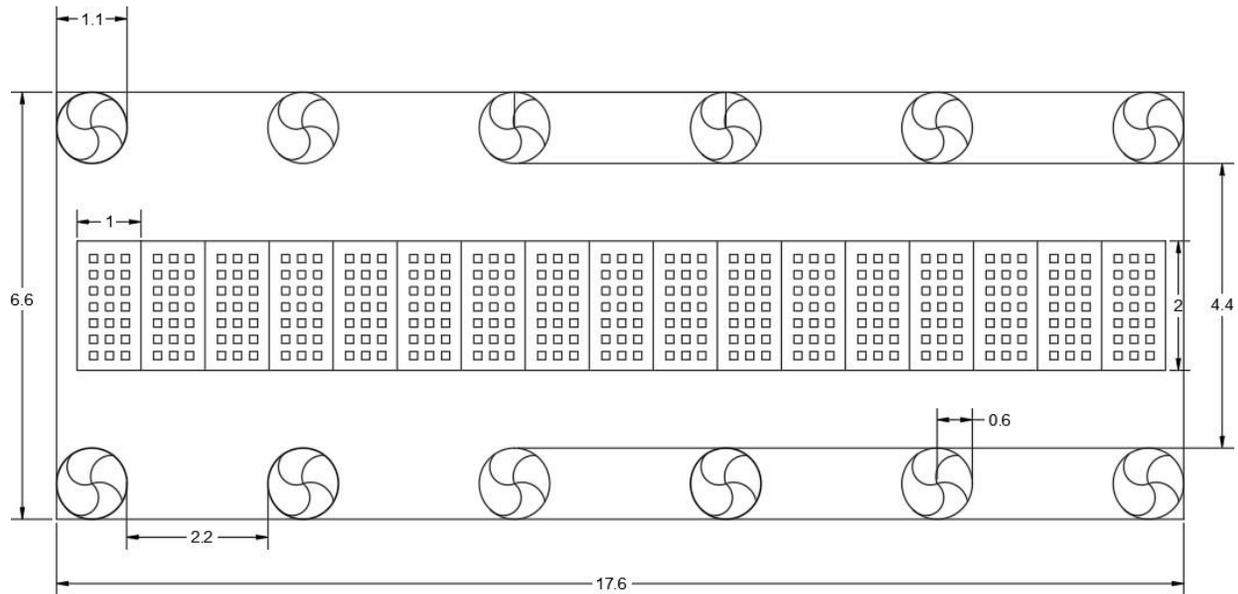


Ilustración 22. Pabellón propuesto de paneles solares y aerogeneradores verticales. Fuente: Autores.

Teniendo en cuenta la distribución del pabellón, dentro de este su producción sería de: *ver tabla 6.*

	<i>Instrumentos necesarios</i>	<i>Cantidad producida de Kwh al día</i>	<i>Cantidad producida de Kwh al mes</i>	<i>Cantidad producida de Kwh al año</i>
<i>Paneles solares por 120 m2</i>	18	9	270	3,240
<i>Aerogeneradores por 120 m2</i>	12	6	180	2,160
Total		15	450	5,400

Tabla 6. Cantidad posible de energía producida por medio de energías renovables cada 120 m2. Fuente: Autores.

Ahora bien, como el área disponible sería de 1Ha, es decir, de 10,000 m2, esta capacidad podría distribuirse de la siguiente manera, *ver tabla 7.*

$$Pabellones = \frac{10,000 \text{ m}^2}{120 \text{ m}^2} = 83$$

Dónde: 120 m2 es el área donde se pueden instalar 18 paneles solares y 12 aerogeneradores verticales, y 10,000 m2 es el área para comprender mejor la posible producción de energía.

Por ende, dentro de los 10,000 m², se podrían instalar 83 pabellones cada uno de 120m², quedando la posible distribución de la siguiente manera; *ver tabla 7.*

	<i>Instrumentos necesarios</i>	<i>Cantidad producida de Kwh al día</i>	<i>Cantidad producida de Kwh al mes</i>	<i>Cantidad producida de Kwh al año</i>
<i>Paneles solares por 10000 m²</i>	1494	747	22,410	268,920
<i>Aerogeneradores por 10000 m²</i>	996	498	14,940	179,280
Total		1,245	37,350	448,200

Tabla 7. Cantidad posible de energía producida por medio de energías renovables cada 10,000 m². Fuente:

Gracias a lo anterior, se logra el resultado parcial esperado, el cual se basa en la viabilidad del uso de energía híbrida, debido a que se puede implementar un sistema de generación a partir de la energía fotovoltaica cuando brilla el sol y de la otra fuente, como la eólica, ya que cuando el tiempo y el clima no sean aptos para la primera de estas, la segunda puede ser mejor aprovechada, garantizando así un suministro más estable y eficiente. Sin embargo, si ambas pueden extraerse al mismo tiempo, esta podría alcanzar una capacidad de producción de 448200 Kwh al año, lo que sería suficiente para 187 hogares aproximadamente, teniendo en cuenta que un hogar promedio consume 200 Kwh al mes y 2400 Kwh al año.

Conclusiones

La energía es un punto clave para el crecimiento, y es también, un requisito esencial para el desarrollo económico y social de una nación, región o municipio. El incremento en el acceso a la electricidad facilita el desarrollo y mejora la calidad de vida de las personas. Las energías renovables son una alternativa muy importante para la generación de energía eléctrica, porque además de que son limpias al no producir gases de efecto invernadero, permiten la descentralización de los sistemas y mercados internacionales. Para países en vías de desarrollo, como Colombia, esta tecnología lastimosamente aún no está al alcance de todos, debido a los elevados costos de instalación, sin embargo, si el país implementa marco legal estable, claro y bien difundido por parte del gobierno, el uso de esta tecnología puede llegar a alcanzar importancia el desarrollo del país.

Con base en el estudio y análisis de los registros tanto ambientales como meteorológicos del municipio de Calarcá, es posible concluir que el comportamiento del recurso eólico y el solar disponible son aptos para la extracción y posteriormente utilización de los mismos, puesto a que pesar de contar con 24,053 hogares según el DANE, esta iniciativa podría darle energía a aproximadamente a 187 hogares, lo que significaba el 0,8 % del total de los hogares. Y aunque es una cifra muy baja, hay que tener en cuenta que este solo es un modelo, el cual es aproximado, además, hay que tener en cuenta en que se hizo un cálculo para 1Ha de disponibilidad, lo cual podría variar, dejando así una ventana a que se aprovechen más hectáreas para esta iniciativa.

Por otra parte, habría que tener muy presente que el costo de instalación de cada uno de los paneles y aerogeneradores, sería muy elevado; de igual manera, se insta a que se empiecen a considerar con mayor fuerza este tipo de proyectos para que en un futuro no muy lejano los costos de estos

disminuyan, a tal punto que sea más factible la instalación de estos, en vez de la utilización de las energías convencionales.

Por último, las zonas con gran potencial para la extracción de estas energías, se presentan a lo largo de toda la parte occidental del municipio a diferencia de la parte oriental, donde las zonas de protección abundan. Con respecto a la presencia de los vientos, estos se hacen presentes debido a que provienen de la cordillera central y son constantes a lo largo del año, por otra parte, el recurso solar presenta un comportamiento constante a pesar de no ser lo suficientemente potente, no obstante, la eficiencia de ambas energías combinadas podrían darle una buena capacidad de producción de energía eléctrica, y así empezar con la transición a una matriz energética más completa de cara al futuro, generando beneficios tanto económicos como ambientales.

Impactos

Ambiental: Las energías renovables tienen numerosos impactos positivos, y en especial la energía solar y eólica, las cuales no emiten gases de efecto invernadero en la generación de energía, por lo que es una solución atractiva, puesto que, se dejaría a un lado el uso de la energía a base de combustibles fósiles, dando como resultado, una gran reducción de las emisiones de CO₂ a la atmósfera, no obstante, hay que mencionar que los paneles solares se generan a través de la producción industrial, por lo tanto, utiliza materiales como como lo son el vidrio, acero, aluminio o elementos químicos como las baterías para su funcionamiento. Por tal motivo, la explotación minera en la extracción de estos elementos químicos junto con su proceso de fabricación, resultan en altas concentraciones de gases efecto invernadero emitidos hacia la atmosfera.

Por otra parte, es necesario mencionar que hoy en día los paneles solares tienen una vida útil de 25 a 30 años. Por lo que se calcula que para la década del 2050 habrá un incremento considerable en el volumen de estos paneles (residuos sólidos) y de sus baterías. Por ende, se puede argumentar que estos dispositivos tienen impactos ambientales de igual manera que los combustibles fósiles. Pese a ello, su fabricación, uso y disposición final son cada vez menos contaminantes; y es por este motivo que se establece que los paneles solares producen energía limpia que ayuda a combatir el cambio climático, y al mismo tiempo se disminuye la huella de carbono y supone una solución limpia que evita la degradación ambiental y no afecta al cambio climático.

Asimismo, y a diferencia de fuentes de energías tradicionales, estas son fuentes inagotables ya que cuentan con la disponibilidad a lo largo del año, se adaptan a los ciclos naturales y tienen la posibilidad ser desarrolladas en la misma región en la que se instalan, haciendo que las regiones sean más autónomas en este aspecto.

Por otro lado, no suponen ningún tipo de riesgo para la salud de los seres vivos al ser obtenidas de fenómenos naturales y permiten ser utilizadas en cualquier ámbito. Por último, si se hace uso de estos sistemas, para el 2030 el sistema eléctrico resultante basado en energías renovables emitiría 75% menos de CO₂ y evitaría emisiones en otros sectores como transporte y edificación.

Económico: La energía eólica y solar tienen la finalidad de economizar de manera exponencial la generación de la energía en los hogares, negocios, entre otros, por ende, su creciente participación en el mercado energético mundial está logrando implicaciones económicas importantes que se reflejan en una inversión que se sextuplicó en los años de 2007 a 2014, superando en el 2012 la correspondiente a las fuentes fósiles, de igual manera la disminución importante de los costos, todo ello como resultado de una alta tasa de aprendizaje y del avance de las tecnologías renovables. Lo que ayudaría a no depender de los mercados internacionales que de acuerdo al precio del dólar o del petróleo, hace que los costos para municipios como Calarcá, puedan incrementarse de manera exponencial, generando problemas económicos para las personas con mayor precariedad. De igual manera, la producción de energía con fuentes renovables generaría empleos directos e indirectos y su aplicación podría contribuir al PIB del municipio y del país.

Social: La energía solar y eólica no solo impactan de manera directa en lo económico y ambiental, sino que también, tiene un impacto en lo social, puesto que genera empleo a través de estas energías, ya que la instalación de estos equipos requiere de mantenimientos preventivos, lo que ayuda a la creación de empleos regionales, produciendo que haya acceso a un mejor nivel de vida en áreas rurales del municipio, y también, una mejor salud debido a una menor contaminación.

Asimismo, se le ayudaría a las personas a tener un alcance técnico, puesto que con las enseñanzas o capacitaciones que se les pueda dar a las personas de la zona rural para la instalación y producción de las energías renovables implica una superación personal.

Recomendaciones

Siempre que exista una modificación en la matriz energética del país, habrá cambios en la demanda de la misma, por lo tanto, hay que dar respuestas claras que permitan conocer con mayor claridad el sector energético y las oportunidades que ofrecen las energías renovables, las cuales pueden dar un panorama adecuado tanto a la demanda de este recurso como al cambio climático. Es así, que el desarrollo constante de las fuentes renovables de energía debe ser incluido en cualquier plan de ordenamiento territorial y debe dársele la importancia que se merece, con el fin de maximizar el recurso, y que no sea algo efímero, que es lastimosamente lo que sucede en la actualidad.

A pesar de que en el país las energías renovables siguen siendo un tabú para la mayoría de personas, las instituciones educativas como escuelas, colegios y universidades ya sean públicas o privadas, deben de comprometerse con los ideales o actividades de educación ambiental, para así en un futuro poder realizar cambios considerables y que las nuevas generaciones puedan disfrutar de un planeta sano en todo aspecto.

De igual manera, la Universidad la Gran Colombia, puede aportar mediante la adquisición de equipos y laboratorios de energía renovable de forma paula necesarios para la medición de variables climatológicas como la radiación solar o velocidad del viento, ya que a pesar de gozar con una estación meteorológica, esta solo obtiene variables como temperatura, precipitación entre otras, por lo tanto no es tan completa como se quisiera; y es ahí donde trabajos de investigación como el actual, se limita a la obtención de información por otros medios como bases de datos del IDEAM o la NASA. Generando así, que este tipo de investigaciones sean dependientes de fuentes autorizadas, lo que conlleva a tener modelos de predicción no tan precisos como se quisiera.

Por último, el programa de Ingeniería Geográfica y Ambiental de la Universidad la Gran Colombia, debería de incentivar el estudio y el análisis de las energías renovables y sus beneficios a través de ciencias como la geomática, puesto que es necesario conocer la relación que estas tienen con el medio ambiente, y cómo esta ciencia puede ayudar a establecer puntos o zonas idóneas para la implementación de estas fuentes de energía, lo cual gracias a esta alternativa, ayudaría a conocer todos los impactos ambientales tanto positivos como negativos que podría tener un lugar si llegase a hacer uso de estas prácticas.

Referencias bibliográficas

- Adfer. (21 de octubre de 2023). *Arquitectura Prefab*. Obtenido de <https://blog.isarquitectura.es/2016/06/03/icewind-cw-turbina-de-viento-domestica/>
- Barrios, P. P., Lopez, J. M., Pinto, G. A., & Plata, G. O. (diciembre de 2014). Evaluación del potencial solar y eólico del campus central de la Universidad Industrial de Santander y la ciudad de Bucaramanga, Colombia. (U. I. Santander, Ed.) *UIS Ingenierias*, 10. Recuperado el 9 de septiembre de 2023, de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=553756868005>
- Beltrán-Telles, A. (2017). *Prospectiva de las energías eólica y solar fotovoltaica en la producción de energía eléctrica*. SCIELO. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-78582017000100105
- Colombia, V. (s.f.). *Vivasolar Colombia*. Recuperado el 8 de octubre de 2023, de <https://www.vivasolar-colombia.com/energ%C3%ADa-solar/eficiencia/>
- *Corporativa, I.* (2020, June 5). *Energía eléctrica por hibridación: cuando la unión de las renovables hace la fuerza*. Iberdrola. <https://www.iberdrola.com/innovacion/energia-hibrida>
- Cortés, S., & Londoño Arango, A. (2017). Energías renovables en Colombia: una aproximación desde la economía. *Revista ciencias estrategicas*, 25(35). <https://www.redalyc.org/pdf/1513/151354939007.pdf>
- DANE. (2018). *DANE*. Obtenido de <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/censo-nacional-de-poblacion-y-v>
- Endesa. (26 de noviembre de 2021). *Endesa*. Obtenido de <https://www.endesa.com/es/blog/blog-de-endesa/luz/calcular-cuantas-placas-solares-necesita-una-casa>.
- ENERGIAS SOLAR Y EÓLICA EN LA RED ELÉCTRICA: MITOS Y ERRORES DE PERCEPCIÓN. <https://www.nrel.gov/docs/fy16osti/66375.pdf>.
- Externado, U. (02 de abril de 2021). *Conexion U Externado*. Recuperado el 29 de marzo de 2023, de <https://conexion.uexternado.edu.co/abandono-estatal-la-desgracia-del-pueblo/>.
- Fernández, M. (2021). *Otovo*. Recuperado el 09 de agosto de 2023, de <https://acortar.link/tOr6w1>.
- Guerrero Hoyos, B. G., Velez Macias, F. D. J., & Morales Quintero, D. E. (2019). *Energía eólica y territorio: sistemas de información geográfica y métodos de decisión multicriterio en*

La Guajira (Colombia). Energía eólica y territorio: sistemas de información geográfica y métodos de decisión multicriterio en La Guajira (Colombia). [https://revistas.javeriana.edu.co/files-articulos/AyD/23-44%20\(2019-I\)/151561629005/ambiente151561629005_visor_jats.pdf](https://revistas.javeriana.edu.co/files-articulos/AyD/23-44%20(2019-I)/151561629005/ambiente151561629005_visor_jats.pdf).

- Gustato. (s.f.). *Gustato*. Obtenido de <http://gustato.com/Energia/eolica.html>
- IceWind. (s.f.). *IceWind*. Recuperado el 21 de octubre de 2023, de <https://icewind.is/wp-content/uploads/2020/08/RW-100-icewind-wind-turbine.pdf>
- IDEAM. (s.f.). *IDEAM*. (IDEAM, Editor) Recuperado el 23 de febrero de 2023, de <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/caracteristicas-de-la-radiacion-solar>
- Isaac, I. A. (2008). La energía eólica en Alemania: experiencia a tener en cuenta para el caso colombiano. Dialnet. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2884796>
- Leisch, J., & Cochran, J. (2015). ENERGÍAS SOLAR Y EÓLICA EN LA RED ELÉCTRICA: MITOS Y ERRORES DE PERCEPCIÓN.
- Londoño, M. C., & Vásquez, A. V. (2020). Recuperado el 26 de Noviembre de 2023, de <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://repository.ucc.edu.co/server/api/core/bitstreams/95976b6b-abbd-4917-b380-53f8dc756e12/content>
- Mateo, J. (5 de Julio de 2023). *Powen*. Recuperado el 29 de agosto de 2023, de <https://powen.es/kwh-panel-solar/#:~:text=Existen%20diferentes%20potencias%20en%20funci%C3%B3n,siendo%20esto%20%C3%BAltimo%20lo%20habitual>
- Medioambientales, I. (28 de febrero de 2015). Obtenido de <https://ideasmedioambientales.com/distancias-entre-aerogeneradores/>
- MIKATI, M., & SANTOS, M. (2012). *Modelado y Simulación de un Sistema Conjunto de Energía Solar y Eólica para Analizar su Dependencia de la Red Eléctrica* *Modeling and Simulation of a Hybrid Wind and Solar Power System for the Analysis of Electricity Grid Dependency*. BIBLIOTECA UGCA. <https://login.bibliodigital.ugc.edu.co/login?qurl=https://www.sciencedirect.com%2fscience%2farticle%2fpii%2fS1697791212000404>
- MINT. (19 de Abril de 2022). *Mint For People*. Recuperado el 02 de Abril de 2023, de <https://acortar.link/m0rBm8>
- Moragues, J., & Rapallini, A. (2014). *ASPECTOS AMBIENTALES DE LA ENERGÍA EÓLICA*. Ambiente. <https://sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/1/534/541/2959.pdf>

- Moya, A. H. (11 de octubre de 2021). *Linkedin*. Obtenido de <https://es.linkedin.com/pulse/cu%C3%A1ntos-paneles-solares-necesito-para-una-casa-campestre-mora>
- Nieves, A. A. (2011). *Gestión del mantenimiento de instalaciones de energía eólica*. Vertice. Recuperado el 29 de agosto de 2023
- Niño, C. G., Durango, V. M., Ruiz, I. M., & Gosteva, T. P. (2018). *Universidad la Gran Colombia*. Obtenido de <https://revistas.ugca.edu.co/index.php/ugciencia/article/view/1283/1751>
- Perdomo Delgado, D. A., Jaimes Herrera, M. T., & Ernesto Almeida, J. (2014). *La energía eólica como energía alternativa para el futuro de Colombia*. El Centauro. <https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/centauro/article/view/2437>
- Pinzon Arevalo, L. V. (2016). *ALTERNATIVA EN EL APROVECHAMIENTO DE ENERGÍA SOLAR ANTE CRISIS ENERGÉTICA EN COLOMBIA*. ALTERNATIVA EN EL APROVECHAMIENTO DE ENERGÍA SOLAR ANTE CRISIS ENERGÉTICA EN COLOMBIA.
- <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/15275/PinzonArevaloLadyViviana2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Porrúa, M. E. (2001). Recuperado el 17 de Julio de 2022, de [/Unidad3/002.pdf](#)
- Puig, M. J. (2012). *Solar fotovoltaica*. Energía renovable para todos. http://www.instalacionesindustriales.es/documentos/divrenovables/cuaderno_FOTOVOLTAICA.pdf
- Quindío, G. (21 de octubre de 2023). *Gobernación del Quindío*. Obtenido de <https://observatorio.quindio.gov.co/5-1-energia-electrica/5-13-consumo-de-energia-en-kwh-en-la-zona-urbana-y-rural-segun-clase-de-servicio-anua>
- Risaralda, G. d. (26 de Marzo de 2023). Obtenido de <https://www.eje21.com.co/2023/03/risaralda-promueve-el-uso-de-fuentes-alternativas-de-energia-para-gestionar-el-cambio-climatico/>
- Rodríguez, J. C., Piernavieja Izquierdo, G., Hernández Rodríguez, C., & Al, U.
- F. P. (2008). *Energías renovables y eficiencia energética*. Instituto Tecnológico de Canarias.
- Santamarta, J. (2004). *Las energías renovables son el futuro*. 7. Recuperado el 21 de octubre de 2023, de <https://www.nodo50.org/worldwatch/ww/pdf/Renovables.pdf>
- Serrano Guzman, M. F., Perez Ruiz, D. D., Galvis Martinez, J. F., Rodriguez Sierra, M. L.,

& Correa Torres, S. N. (2017). *Vista de Análisis prospectivo del uso de energía solar: Caso Colombia*. INVESTIGACIÓN Y CIENCIA DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE AGUASCALIENTES.

- <https://revistas.uaa.mx/index.php/investycien/article/view/604/582> Schallenberg
- Soler, D. M. (24 de agosto de 2022). *Portafolio*. Obtenido de <https://www.portafolio.co/economia/infraestructura/energias-renovables-dan-confianza-segun-director-de-ser-570025>
- Terranova. (21 de enero de 2013). *Terranova*. Obtenido de <https://www.consultoresambientales.mx/energias-renovables>
- Velasco Muñoz, A., & Salazar Calvache, O. (2019). *Evolución De La Generación De Energía Solar Fotovoltaica En Colombia*. Evolución de la generación. <https://repository.usc.edu.co/bitstream/handle/20.500.12421/2781/EVOLUCI%3>
- %93N%20DE%20LA%20GENERACI%3%93N.PDF?sequence=1&isAllowed=y
- Visbal, C. P. (26 de abril de 2018). *La República*. Obtenido de <https://www.larepublica.co/especiales/exposolar/cuanto-cuesta-implementar-las-energias-renovables-2719038>
- Vista de Núm. 54 (11): Septiembre – Diciembre, 2014. Año 11, No 54 Especial No1. (n.d.). Uacj.mx. Retrieved October 13, 2023, from <https://erevistas.uacj.mx/ojs/index.php/culcyt/issue/view/78/134>
- Vista de Sistema Híbrido de Energía Utilizando Energía Solar y Red Eléctrica. (n.d.). Edu.co. Retrieved October 13, 2023, from <https://revistas.ucatolicalluisamigo.edu.co/index.php/lampsakos/article/view/846/813>
- Vista de Vol. 9 Núm. 1 (2019). (n.d.). Edu.co. Retrieved October 13, 2023, from <https://revia.areandina.edu.co/index.php/Cc/issue/view/178/85>