ANÀLISIS DE LA VIABILIDAD DEL USO DE ENERGÍA EÓLICA EN EL MUNICIPIO DE FILANDIA, QUINDÍO

PRESENTADO POR

ANA MARIA ORTEGA MEJIA

TUTORA

Tatiana Pérez Gosteva

Ingeniera Electrónica

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

Trabajo como opción de grado para optar por el título de ingeniera geógrafa y ambiental

FACULTAD DE INGENIERÍAS

INGENIERIA GEOGRAFICA Y AMBIENTAL

UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA

ARMENIA, QUINDIO

Tabla de contenido

Agradecimientos 4
Línea de investigación 5
Sublínea de investigación 5
Cuenca de problematización 5
Introducción 6
Planteamiento del problema 7
Justificación 10
Hipótesis 13
Objetivos 14
Objetivo General 14
Objetivos específicos 14
Antecedentes 15
Marco referencial 24
Marco teórico 24
Marco legal 28
Marco espacial 30
Marco conceptual 31
Metodología 33
Enfoque metodológico: 33
Método de Investigación 33
Tipo de estudio 33
Diseño de la Investigación 34
Unidad de Trabajo 34
Operacionalización de variables 35
Técnicas e instrumentos de recolección de información 36
Etapas del análisis metodológico 36
Fase 1 Identificar el funcionamiento del recurso eólico en la zona de estudio para determinar la tecnología más apropiada de producción de energía 38
Fase 2 Determinar las características de variables específicas para la energía eólica a partir de bases de datos climatológicas. 39
Fase 3 Establecer haciendo uso de los sistemas de información geográfica, el modelo apropiado para implementar proyectos de energía eólica, a partir de bases de datos climatológicas, en el municipio de Filandia. 40
Resultados y discusión 42

Fase 1 Identificar el funcionamiento del recurso eólico en la zona de estudio para determinar la tecnología más apropiada de producción de energía 42
Fase 2 Determinar las características de variables específicas para la energía eólica a partir de bases de datos climatológicas. 47
Fase 3 Establecer el modelo apropiado para implementar proyectos de energía eólica, a partir de bases de datos climatológicas, en el municipio de Filandia. 54
Conclusiones 59
Impactos 60
Impacto ambiental 60
Impacto ético 60
Impacto social y económico 60
Referencias bibliográficas 63

Tabla de Figuras

Figura 1. Corredor de vendavales en el departamento del Quindío. 9

Figura 2. Ubicación del municipio de Filandia – Quindío 31

Figura 3. Promedio de la velocidad del viento a 10 m en el Quindío. Periodo 2018-2019. 43

Figura 4. Promedio de la velocidad máxima del viento a 10 m en el Quindío 44

Figura 5. Rugosidad superficial en la zona de estudio. 45

Figura 6. Versatilidad de los aerogeneradores de eje vertical. 46

Figura 7. Temperatura máxima y mínima en Filandia. 48

Figura 8. Probabilidad de precipitación en Filandia. 49

Figura 9. Humedad en Filandia. 49

Figura 10. Velocidad promedio en Filandia. 50

Figura 11. Mapa de la vocación de uso de acuerdo al tipo de suelo. 52

Figura 12. Mapa de velocidades de los vientos y las Isotacas en Filandia. 56

Figura 13. Turbina ICEWIND 57

Figura 14. Turbina PowerPod 58

Agradecimientos

Me gustaría mostrar mis más sinceros agradecimientos a Dios primeramente por permitirme llegar hasta este punto de la carrera, a mis padres por su apoyo y dedicación en cada paso que doy, le agradezco muy profundamente a mi tutora Tatiana Pérez Gosteva por su dedicación y paciencia, sin sus palabras y correcciones precisas no hubiese podido lograr llegar a esta instancia tan anhelada. Gracias por su guía y su apoyo, gracias a mis amigos, compañeros y a cada persona que aporto su granito en el proceso que siempre me mostraron un gran apoyo moral y humano en todo el proceso.

A todos, muchas gracias.

Línea de investigación

La línea de investigación está orientada hacia la planificación y consolidación de la plataforma territorial bajo un modelo sustentable de gestión ambiental y desarrollo social adscrita al grupo de gerencia de la tierra del programa de Ingeniería Geográfica y Ambiental, enfocado en buscar la viabilidad de energías renovables en el municipio de Filandia, entendiéndose que son fuentes de electricidad limpias, inagotables y posiblemente ayuden a satisfacer las necesidades de la sociedad sin dañar a las generaciones futuras" (Álvarez, 2006; Welch y Venkateswaran, 2009).

Sublínea de investigación

El presente proyecto va enfocado a la gestión del territorio, dado que es uno de los componentes más importantes en el desarrollo de las sociedades; que tiene como finalidad buscar el desarrollo sostenible tanto con los recursos del medio ambiente, como en los componentes de lo social, económico y legal, para así tener un mejor aprovechamiento de los recursos naturales. En este proyecto se analiza la viabilidad de la implementación de energía eólica, que se adapte a las condiciones del municipio en un marco de desarrollo sostenible en el territorio.

Cuenca de problematización

El estudio de análisis de viabilidad de la energía eólica en el municipio de Filandia, Quindío es de gran importancia no solo para impulsar el progreso económico del municipio, sino también para implementar el uso de energías renovables en el departamento, reduciendo la generación de energía a través de fuentes convencionales y las emisiones que esta produce, contribuyendo al cambio de la eficiencia energética, la sostenibilidad y el desarrollo de Filandia.

Con el presente proyecto se pretende que en el municipio de Filandia se evalúe la implementación de las energías renovables para así poder dar un equilibrio a las variables de turismo donde incrementa el consumo de energía según las actividades.

Introducción

Las fuentes de energía renovable, según Ortiz, G (2007), en especial la eólica son consideradas como alternativa de generación en los sistemas eléctricos de potencia, por su condición no contaminante y por consiguiente baja afectación al medio ambiente. El gran auge experimentado por este tipo de generación en los últimos años ha motivado el desarrollo de metodologías que permiten la evaluación de sus efectos en el sistema eléctrico".

Es por ello que este proyecto estudia la viabilidad de la implementación de energía eólica en el municipio de Filandia ubicado en el departamento del Quindío, puesto que, Según Naranjo & Mosquera, (2018) "Se ha evidenciado que en los últimos 30 años ha aumentado el historial de velocidad de viento en el departamento del Quindío, se pudo determinar que, en la estación Bremen–Filandia, se registraron incrementos en la velocidad máxima del viento, en los meses de Febrero, Marzo y Abril, con pico en el mes de Marzo, el cual registró la mayor velocidad durante el año (85 Km/h) en el departamento". Por lo cual se puede denotar que gracias a este estudio y a las características geográficas y ambientales del municipio contribuyen a que esta energía pueda tener éxito en este territorio.

Dentro de este marco el trabajo aplica una metodología la cual fue utilizada en Tuquerres Nariño, donde principalmente se basa en tres fases metodológicas para identificar si es factible el funcionamiento de esta energía en dicho municipio, en estas fases se estudia las condiciones ambientales como el tipo de clima, el suelo, las condiciones geográficas, el tipo de aerogenerador que más se adapte a las condiciones, esto con el fin de identificar las variables más específicas para así realizar un modelo apropiado para su funcionamiento.

El aporte principal de la investigación es dar a conocer una nueva alternativa de producir energía eólica aprovechando el corredor de vientos que posee el municipio, adicionalmente tomar como ejemplos otros países que han apostado a las energías renovables para hacer el cambio y contribuir al cuidado del medio ambiente y los recursos naturales.

Planteamiento del problema

Colombia a partir del año 1992 se ha comprometido con la implementación de las energías renovables, esto como consecuencia de un hecho de gran impacto ocurrido en dicho año durante el gobierno de César Gaviria donde en un tiempo determinado se tuvo que racionar la energía por horas durante 18 meses. Al acontecer este evento el país tuvo un decremento en el PIB de 2,8 puntos (Revista Credencial, 2018). Desde este momento el gobierno decide replantear el uso y la generación de energía de manera "eficiente y confiable" por medio de combustibles fósiles, los cuales, no son ni eficientes ni confiables debido a su alto impacto en la generación de emisiones de gases de efecto invernadero y el detrimento en los recursos naturales. Sin embargo, "el país es uno de los menos involucrados en las emisiones a nivel mundial a pesar de contar aún con la formación de energía por medio de procesos no convencionales. No obstante, Colombia cuenta con una amplia gama de aportes mediante energías alternativas. Encabeza la lista las energías hidroeléctricas con 86%, seguida de la térmica con 13%, bagazo de caña alcanza 0,9% y la eólica y solar 0,1%" (Revista dinero, 2018).

Como se denota en los datos anteriores se puede determinar que Colombia no ha tenido un gran desarrollo en cuanto a las energías renovables, y con ello, se evidencia la necesidad de buscar nuevas alternativas de generar energía no solo, limpia y amigable con el ambiente, sino también, que puede contribuir a la sostenibilidad y a la disminución de gastos energéticos de Colombia, ya que la energía producida por el país apenas alcanza para cubrir la demanda del mismo, pues "los sectores transporte (45%), industrial (22%) y residencial (19%) consumen la mayor parte de los recursos energéticos primarios "(Carvajal, et al., 2019), es por ello que algunas empresas del país han empezado a invertir en este tipo de energías como lo es empresa públicas de Medellín (EPM), el cual desarrolló un plan piloto en el departamento de la Guajira con energía eólica, llamado Parque Eólico Jepirachi el cual cuenta con 15 aerogeneradores con capacidad de 1.3 MW cada uno, para un total de 19.5 MW de capacidad instalada.

Este parque fue creado porque el viento al ser una fuente limpia, contribuye al ambiente sin causar un impacto significativo, y porque además Colombia puede tener un potencial altamente significativo debido a que cuenta con zonas como “la península de la Guajira como en el centro del litoral Caribe en Bolívar, la Isla de San Andrés y algunos sectores de Boyacá, siendo el primero el sitio más adecuado para el desarrollo de la energía eólica.” Salinas, (s.f).

Asimismo, Filandia es un municipio ubicado en el departamento del Quindío con coordenadas de 04º 40´ 48.7" de latitud norte y a los 75º 39´48.5" de longitud oeste, en los ramales occidentales de la cordillera central, se encuentra a una altura aproximada de 1.910 metros sobre el nivel del mar, presenta una temperatura promedio de 18°C, y una precipitación anual de 2829 mm. Alcaldía, (2020).

Adicional a la información indicada, como se mencionó con anterioridad, según Naranjo & Mosquera, (2018) “Se evidencia un aumento en el corredor de vientos del municipio en los últimos 30 años”, esto indica que el municipio tiene potencial de obtener energìa a partir a aerogeneradores.

Dado lo anterior, este municipio puede ser un plan piloto de energía eólica dado que cuenta con un corredor de vientos enmarcado por el norte en el sector de Bremen en el municipio de Filandia a 1.900 m.s.n.m. y va hasta el sur, en el municipio de La Tebaida en el valle del río De la Vieja, al Oeste delimitado por el cañón del río Espejo y al Este por cañón del río Quindío, como se puede evidenciar en la siguiente grafica del departamento del Quindío.

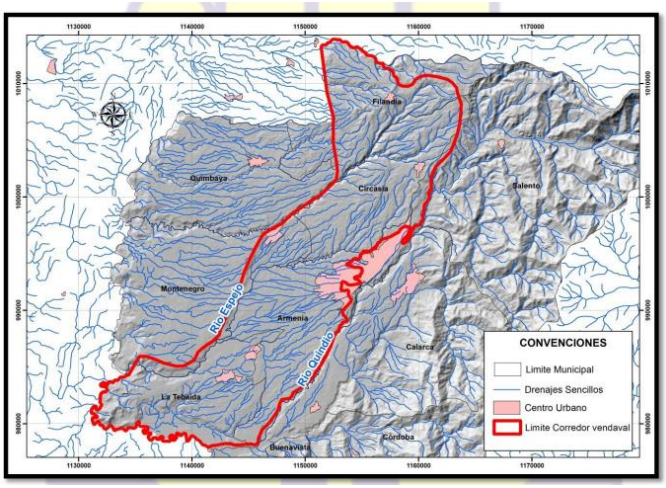


Figura 1. Corredor de vendavales en el departamento del Quindío.
Fuente: Gobernación del Quindío, (2018).

Adicional a esto, en Filandia, Quindío, donde, según el DNP, el municipio cuenta con una densidad poblacional de 123,9 hab./km². La cual, debido a su alta demanda turística ha tenido un incremento en el uso de servicios, como ya se mencionó anteriormente con el Índice de Competitividad Turística Regional del Quindío el cual tiene un puntaje de 5,57; y con ello, problemáticas por la capacidad de carga del municipio. Y, en donde sus principales actividades económicas son el empleo generado por la institucionalidad y el ejercicio del comercio, la artesanía y la producción agropecuaria (jornaleros, administradores), paralelamente, se presenta una generación de ingresos a través del intercambio de productos y la prestación de servicios administrativos y financieros, lo que a grandes rasgos representa un aumento de la necesidad de expansión urbana del municipio, junto con la ampliación y reajuste de servicios públicos (redes de acueducto y eléctrica) en estas zonas. A partir de lo anterior, se plantea la pregunta de investigación: ¿Cuál es la viabilidad del uso de energía eólica en el municipio de Filandia, Quindío?

Justificación

Por un lado, “La energía eólica es una fuente de electricidad limpia, inagotable y posiblemente ayude a satisfacer las necesidades de la sociedad sin dañar a las generaciones futuras” (Álvarez, 2006; Welch y Venkateswaran, 2009). Al hacer uso de este tipo de energías se está generando una alternativa que reemplace las fuentes fósiles que causan un mayor impacto ambiental, social, y económico.

Por otro lado, el aumento desmedido del turismo en la actualidad ha marcado un antes y un después en el desarrollo, costumbres y actividades económicas en lo que hoy se conoce como Filandia, Quindío. Según la Cámara de Comercio, (2020) “El 77% de la composición empresarial tiene relación con el turismo”. Lo anterior deriva del fenómeno de la sobrepoblación y el turismo desmedido, se basa en el aumento de la demanda de bienes, servicios y productos para satisfacer las necesidades básicas humanas; lo que contribuye a eventos climáticos extremos consecutivos y gases de efecto invernadero, sin nombrar las actividades humanas y productivas como la movilización de vehículos, comercio, el crecimiento desmedido del municipio por la fuerte demanda turística, agricultura y ganadería extensiva, entre otros, por lo que en esta misma línea; según la Cámara de Comercio, (2020)

El Índice de Competitividad Turística Regional tiene un puntaje de 5,57, en lo que ciertamente se ve reflejado un incremento, comparado con el Índice de Competitividad Turística Regional del Quindío en el año (2017) expuesto por el Centro de Pensamiento Turístico de Colombia, el cual fue de 5,40. Los anteriores datos, destacan el incremento de las interacciones turísticas en la región, sin tener en cuenta la capacidad de carga de la misma, y por consiguiente, las afectaciones negativas que esto trae consigo.

Debido a lo anterior, se hace necesaria la búsqueda de una energía limpia, que contribuya a la disminución de impactos ambientales negativos en el municipio de Filandia, y a su vez; permita

tener como beneficiarios, tanto a las entidades gubernamentales, en este caso, la alcaldía de Filandia, gobernación del Quindío y entidades aliadas, así como también la comunidad del municipio, reduciendo los gastos económicos de los hogares en cuanto al consumo energético, de las fuentes convencionales suministradas hasta el momento, teniendo presente que se debe hacer un análisis económico que permita indicar el tiempo de retorno de la inversión, pero teniendo presente que el suministro principal para que un aerogenerador funcione y se produzca energía eléctrica es el viento, y la transformación de energía cinética generada por el movimiento a energía eléctrica, además de los modelos de los sistemas energéticos que tengan mayor viabilidad.. Continuando con lo anterior se debe tener presente que el consumo anual en Colombia de "la energía eléctrica, representa el 31% de la energía final consumida por el sector y es considerado un energético primordial" (UPME,2019), adicional a esto la propuesta de usar aerogeneradores permite tener una mayor facilidad de mantenimiento, reducción de gases de efecto invernadero entre otras variables que puede generar impactos positivos en el municipio, considerando lo anterior, se tiene como una ventaja en el desarrollo de la economía local, dado que una nueva fuente energética puede no sólo reducir los costos de uso de energía convencional, si no que a su vez puede generar nuevos empleos que permitan a los pobladores mejorar el suministro energético, llegando a zonas rurales que aún no cuenten con este servicio y tener nuevas plazas para personal capacitado.

Para contribuir de forma concreta se deben tener los datos exactos de consumo energético del municipio a nivel urbano y rural, por tal motivo desde la unidad de planeación se indicaron valores muy generales de consumo; entre los valores suministrados por la oficina mencionada se tiene que, en los meses de marzo, abril y mayo del presente año, el consumo varía entre 891.000 kw/h a 938.000 kw/h, y en el alumbrado público se tiene un dato general que oscila entre 17.000 a 18.000 kw/h.

Finalmente, el aporte principal de la investigación es dar a conocer una nueva alternativa de producir energía eólica aprovechando el corredor de vientos que posee el municipio de Filandia. Según un estudio realizado por el ingeniero geográfico y ambiental, Johan Stiven Naranjo de la Unidad Departamental para la Gestión del Riesgo de Desastres, UDEGERD, se demostró que durante los últimos 30 años los vientos del municipio han aumentado, lo que permite establecer un sistema de aerogeneradores como suministro adicional de energía eléctrica.

Hipótesis

El uso de energía eólica puede reemplazar gradual y porcentualmente las energías fósiles y energías no renovables que se emplean comúnmente, debido a que esta energía renovable es obtenida a partir del movimiento generado por el viento y este es una fuente inagotable, lo cual se vincula con que el territorio colombiano por su posición y características geográficas, cuenta con un importante potencial ante esta forma de energía. Asimismo, se observa que para la implementación de la energía eólica y de cualquier otro tipo de energía renovable es necesario el involucramiento y la participación activa de entidades como las alcaldías, la gobernación y otros entes que aportan al desarrollo territorial y pueden promover estos modelos energéticos mitigando las afectaciones de las emisiones de gases de efecto invernadero y la contaminación generada por el uso convencional de las energías de fuentes fósiles y no renovables

Objetivos

Objetivo General

Analizar la viabilidad del uso de energía eólica en el municipio de Filandia, Quindío.

Objetivos específicos

- Identificar el funcionamiento del recurso eólico en la zona de estudio para determinar la tecnología más apropiada de producción de energía.
- Determinar las características de variables específicas para la energía eólica a partir de bases de datos climatológicas.
- Establecer haciendo uso de los sistemas de información geográfica, el modelo apropiado para implementar proyectos de energía eólica, a partir de bases de datos climatológicas, en el municipio de Filandia.

Antecedentes

Este documento se realiza con el fin de analizar la viabilidad, impactos y demás factores que influyen en la implementación de la energía eólica; esto con el fin de ampliar el conocimiento y determinar la viabilidad del uso de dicha energía en el municipio de Filandia, Quindío. Por ello se hizo necesaria la búsqueda exhaustiva de artículos científicos, con ayuda del gestor bibliográfico zotero, y criterios para la búsqueda de antecedente, entre ellos: palabras claves como: "Wind Power", "Wind Power in Colombia", "Oferta y Demanda de Energía Eólica", "Tendencias Globales de las Energías Renovables" y bases de datos especializadas como (Scopus, Web of Science, ScienceDirect, Nature, Google Académico).

Una vez se realizó el rastreo de la información, se lograron identificar diferentes tendencias investigativas, una de ellas es la ubicación geográfica, que se inclina hacia la costa caribe y el departamento de la Guajira, lo que se pudo evidenciar en los trabajos de Gil et al., (2021) y Hoyos et al., (2020) los cuales hacen referencia al potencial eólico de la Guajira "el mayor porcentaje de zonas con alta factibilidad o idoneidad se encuentran en la Alta Guajira, en el municipio de Uribía. Esto debido al hecho de que en estas zonas se presentan las mayores velocidades promedio del viento y están alejadas de poblaciones urbanas y áreas naturales protegidas." (Hoyos et al., 2020) y asimismo, es comparable con Gil, (2021), donde pudo evidenciar que "el análisis de 10 minutos y por hora confirman que La Guajira tiene el mayor potencial de energía eólica en la costa caribeña de Colombia", como se pudo evidenciar, ambos estudios concuerdan en que la Guajira es uno de los lugares idóneos para implementar la energía eólica gracias a su intensidad y velocidad en los vientos; jugando un papel fundamental para ajustar un paralelo con referencia a Filandia, Quindío y sus características físicas. Por su parte Chaparro, (2017), realizó un trabajo donde busca que zonas son óptimas en Colombia para implementar energía eólica por lo cual se basó en el departamento del Atlántico haciendo uso de los sistemas de información geográfica (SIG), para ello se hicieron análisis multicriterio

donde se le otorgaba características espaciales para obtener una buena ubicación geográfica, también hizo uso de herramientas como mapas de vientos, estudios ambientales y meteorológicos y pudo determinar que las zonas más aptas para la implementación de estas energías era en la costa norte del país incluyendo el departamento del Atlántico, en este trabajo se evidencia que los SIG son de gran ayuda a la hora de realizar este tipo de trabajos y que también puede ser interoperable con otro tipo de estudios, también se puede evidenciar el potencial que tienen varios departamentos del país para poder emplear energías renovables que contribuyan a disminuir los impactos que causan las energías fósiles.

Además, se evidencia otra tendencia en la que se busca reemplazar las energías fósiles, por energías renovables y limpias, donde se pueden relacionar criterios ambientales, técnicos y económicos, en el cual su objetivo es analizar aspectos que permitan potencializar un desarrollo socioeconómico y además un desarrollo sostenible, como se puede evidenciar en los artículos de Salvador, (2010), y Paz et al, (2018), ambos estudios evalúan qué tan factible puede ser la energía eólica, para así evaluar todos los beneficios que trae la implementación de energías renovables. En este sentido Paz et al, (2018), resaltan la importancia de "emplear herramientas para apoyar la toma de decisiones y facilitar el proceso de decisión en la gestión del territorio y de los sitios con potencial eólico". Asimismo, Salvador, (2010) menciona que "el mundo ha estado experimentado un aumento constante en la demanda de energía", la cual las energías fósiles no tienen la capacidad suficiente de cubrimiento. Por su parte Montero et al, (2010) busca que la energía eólica juegue cada vez un papel más importante en el escenario energético internacional en un futuro, Según la planeación minero energética, (2019) "Colombia entro a la revolución mundial de las energías renovables. En un año, el país superó la meta de incorporación de fuentes no convencionales de energías renovables, pasando de menos de 50 megavatios a más de 2.200 megavatios de capacidad instalada para el año 2022". Para lo cual

se realizó una subasta de energías renovables donde el país podrá multiplicar por 40 veces la capacidad actual instalada de generación eléctrica a partir de fuentes como la solar y eólica.

Así mismo, la UPME aseguro que el país tendrá una mayor participación de energías renovables no convencionales, avanzando en la diversificación de su matriz energética y aumentando su resiliencia ante eventos de variabilidad climática como el Fenómeno de El Niño. Como resultado de este mecanismo, se le asignaron responsabilidades de generación a ocho proyectos adjudicados con una capacidad efectiva total de 1.298 megavatios de capacidad instalada, 5 de ellos eólicos y 3 solares. En el proceso, quedaron con asignación 7 empresas generadoras y 22 comercializadoras. Por lo que se puede decir que la energía eólica podrá llegar a precios más bajos a los hogares colombianos. Según Mesa, D; (s.f), la transición energética en el País ha tenido grandes avances, para lo cual se estima que para el año 2030 habrá 50 GW, 3 veces más que la capacidad instalada actualmente en Colombia, asimismo tendrá 12.200 km2 de áreas desarrollables en el Atlántico, Bolívar, Magdalena, y la Guajira. Además, las aplicaciones de energía eólica a través de sistemas eólicos tanto on-shore (parques eólicos en tierra, a por los menos 3 km de la costa), como off-shore (energía obtenida del viento mediante generadores), han estado creciendo a un ritmo vertiginoso por todo el mundo.

En adición, se observa como otro eje de tendencia el análisis de la velocidad del viento y su dirección, para así identificar zonas óptimas y el tipo de equipo preciso para su implementación, lo anterior sujeto a dichas variables, un ejemplo de ello, son los estudios propuestos por Wang & Liu, (2021) “Considerando la correlación existente y el efecto entre la velocidad y la dirección del viento, se adopta el enfoque de modelado angular-lineal para construir la función de densidad de probabilidad conjunta de la velocidad y la dirección del viento.”, igualmente, es comparable con los estudios de Pryor & Barthelmie, (2021)“las cargas de diseño extremas contribuyen a la selección y el costo de la turbina eólica, y están determinadas en parte por la

velocidad sostenida del viento (*U* 50) ", en este caso, dicho artículo expone una evaluación global de las velocidades del viento durante 50 años y su aplicación para la energía eólica; finalmente, es posible complementar dicha información, con el artículo de Zeng & Farnham, (2020) "la predicción estacional de los recursos de energía eólica y solar ", gracias a ello, podrían ser estudios convenientes al momento de relacionarlos para la obtención de las variables ya mencionadas de manera eficiente y accesible y determinar la viabilidad de su implementación.

Dado lo anterior, se presenta una tendencia de oferta y demanda con la energía eólica puesto que se han convertido en las tecnologías de generación más atractivas para la inversión en todas las regiones del mundo, por el lado de la demanda, los consumidores buscan las fuentes de energía más fiables, económicas y respetuosas con el medio ambiente. Como se puede evidenciar en el trabajo de Deloitte, (s.f) donde se basaron en datos estadísticos de otras ciudades, como por ejemplo en el año 2017 , la capacidad eólica en parques terrestres duplica con creces la capacidad disponible en 2011, de 216 gigavatios (GW): un total de 121 países ha desarrollado cerca de 495 GW de energía eólica terrestre a la cabeza de los cuales se encuentran China, Estados Unidos, Alemania, la India, España, Francia, Brasil, el Reino Unido y Canadá, y, en estos nueve países, la energía eólica terrestre ha alcanzado la paridad de precios. De igual manera Diaz, (2013) "argumenta que el volumen de negocio que genera la industria de energía eólica es sobresaliente y ha dado buenos resultados, esto se da principalmente por los fabricantes aerogeneradores quienes reciben el 75% del costo de inversión de una central Eolo eléctrica, esto se da por la alta demanda que ha venido superando la oferta y que rápidamente han tenido que buscar nuevos modelos e innovaciones". Si bien es cierto que ha tenido mucho éxito en la industria, se ha dado por las alianzas e incentivos de los gobiernos, para así poder impulsar el desarrollo económico y social de los países.

Por otra parte, según un estudio realizado Bordaberry, (2021), “Se esperaba que el costo de la energía eólica, fuera competitivo con los combustibles fósiles, esto se dará cuando se alcance una capacidad instalada a nivel global superior a 650 GW. Actualmente tiene un rango de US$1.200 a US$1.700 /kW instalado”, adicional a lo anterior en los últimos 10 años la energía eólica ha dado la vuelta al mundo y ha sido una de las más usadas, y es que si se compara los costos, con los avances positivos que esta va a generar, se tendría casi un equilibrio, se tiene como ejemplo el país de Uruguay que opto por ser pionero en energías renovables para lo cual en los últimos 6 años ha invertido más de US$22.000 millones en energía renovable sostenible y ahora se perfila como líder mundial, gracias a que cuenta con 20 parques eólicos en funcionamiento y suma otros 12 en etapa de planeación y construcción.

Por su parte, se puede evidenciar que la medida universalmente utilizada para enunciar la potencia de energía o energía producida son los MW o W, lo anterior, es posible evidenciarlo en diversidad de artículos como es el ejemplo de Nino. et al, (2022) el cual “The wind source grew by 20.7% and corresponds to 12,931 MW. The biomass had an elevation of 3.7% and totals 14,657 MW. Solar, despite the smaller total volume, grew 577% and reached 1,602 MW.”, asimismo; Villamarín, et al., (2017) el cual evalúa el potencial eólico para su operación en una universidad, “Los valores estimados de la potencia útil y la densidad de potencia eólica para la microturbina eólica, operando a una velocidad de viento de 4,0 m/s, que representa aproximadamente el valor medio de la velocidad del viento (obtenido con el factor de escala de la función de Weibull), son respectivamente 41W” usando como referencia estas unidades, para realizar un paralelo con los datos obtenidos por el mismo, y finalmente Ruiz & Padilla, (2006) “la capacidad instalada actual de fuentes de energía renovables (FER) en Colombia es de 24,1 MW, de los cuales 2 MW provienen de sistemas solares fotovoltaicos; 2,6 MW de pequeñas centrales hidroeléctricas; y 19,5 MW corresponden al parque eólico *Jepirachi* ubicado . Según la planeación minero energética, (2019) “Colombia entro a la revolución mundial de las

energías renovables. En un año, el país superó la meta de incorporación de fuentes no convencionales de energías renovables, pasando de menos de 50 megavatios a más de 2.200 megavatios de capacidad instalada para el año 2022". Para lo cual se realizó una subasta de energías renovables donde el país podrá multiplicar por 40 veces la capacidad actual instalada de generación eléctrica a partir de fuentes como la solar y eólica. En el Departamento de la *Guajira*" es posible distinguir que esta medida puede ser un indicador que sirve como base para que un aerogenerador de las dimensiones descritas por el autor pueda ejecutarse de manera óptima; asimismo estas medidas permiten tener una estandarización de resultados y medias comprensibles para todos los autores que lo requieran. Además de lo anterior, se puede observar la implementación de alternativas en energías limpias en países latinoamericanos como el Ecuador, en cual "La capacidad eólica instalada en Ecuador llegará a 27,4 MW a finales de este año, superando a varios países latinoamericanos." (Germán; et al, 2019; p. 30), promoviendo políticas y proyectos con energías y tecnologías limpias, las cuales no solo beneficiará la población del Ecuador con el acceso a la electricidad, sino también la economía del país, incrementando su competitividad y oportunidades de empleo y desarrollo en este sector.

Adicional a lo anterior, se presenta una tendencia de carácter tecnológico que requiere de gran esfuerzo para lograr cambios en condiciones favorables, para que así cada país pueda aprovechar de las nuevas innovaciones tecnológicas, y que cumplan con cada una de las necesidades territoriales, como menciona Núñez, et al, (2019) y colaboradores "Los avances de tendencia tecnológicos han colocado a la energía eólica en posición de competir, en un futuro próximo, con las tecnologías de generación de energía convencional". Como lo menciona la autora, este tipo de tecnologías podría transformar e impulsar el desarrollo a gran escala, dando un giro hacia la sustentabilidad a la economía de cada país; asimismo, para la implementación de esta energía, es necesario el estudio detallado de las características físico químicas de cada región pues se encuentran dos tipos de generadores que de acuerdo a ello se deberá implementar

“depende del estudio del promedio del viento que circula en un terreno donde se pretenda implementar uno de estos sistemas si hay vientos fuertes se escoge uno de eje horizontal y si hay poco viento se escoge uno de eje vertical.”(Guillot & Viloria, 2015; p. 33); asimismo, se deben tener en cuenta sus ejes y características del paisaje, así como la ubicación en la que se encontrarán dichos generadores “los de eje vertical son especialmente útiles en zonas de vientos arranchados y de direcciones cambiarias, gracias a su robustez y gran resistencia [...] y los generadores de eje horizontal poseen una mayor versatilidad que los de eje vertical” (Dodero & García, 2012; p.18), siendo entonces de gran importancia la evaluación anticipada de la zona donde se ejecutará el proyecto y sus condiciones. Asimismo (Benavides et al, s.f), “ Afirman que la energía eólica ha sido técnicamente viable en muchos escenarios, aparte de esto cada vez se alcanzan rendimientos operativos superiores en materia de aerogeneradores lo que aporta hacia la consolidación de una cierta madurez tecnológica y ubican la tecnología asociada a este tipo de generación alternativa en el camino de la competitividad y de la comercialización efectiva, no solo de generadores, sino también de medidores y suministros de instalación hacia públicos estatales, industriales, rurales, comerciales y residenciales”, con lo anterior se puede evidenciar que la energía eólica en un futuro puede ser de gran ayuda para el ambiente puesto que como se ha mencionado anteriormente se ha empezado a implementar en varias partes del mundo, por lo cual es preocupante que Colombia pocos estudios de viabilidad en este campo, solo se ha podido efectuar en el parque Jepirachi en la Guajira. Y si se tienen en cuenta en el país hay muchos lugares donde se puede efectuar esta energía renovable y además puede mostrar cambios positivos y efectivos no solo para el ambiente sino también en la economía y en lo social.

Sin embargo, la energía eólica se enfrenta a ciertos problemas potenciales y reales que pueden obstaculizar su rápida introducción en el mercado mundial de la energía, un ejemplo de ello, está en un estudio realizado en México en relación con la energía y el desarrollo sustentable el

cual se observa que “la principal causa de los cambios directos e indirectos en el consumo de energía lo aprovechó la producción de hidrocarburos en la década de los 70, aumentando la entropía del sistema energético mexicano. Se identifica la diversificación energética como la opción que tienen las implicaciones positivas de mayor peso para el sistema, al alterar los componentes directos e indirectos del consumo de energía” (Livas, 2014). Los puntos más importantes son los de tipo económico, de integración en la red y los medioambientales: impacto visual, producción de ruido y colisión con las aves. Para estos impactos se debe elegir una zona óptima y factible, que en dicho caso no afecte al medio ambiente, y asimismo planificar de buena manera dicha construcción, por otro lado, la energía en Colombia ha estado creciendo a un ritmo acelerado, por lo cual se debe hacer más gestión en todo el territorio Colombiano para que se empiecen a aprovechar las energías renovables, debido a que han demostrado ser factibles y amigables con el ambiente; por su parte, la implementación de la energía eólica se encuentra obstaculizada por su necesidad de infraestructura y plazo de desarrollo, los cuales respectivamente se refieren a que, “para transportar la energía eléctrica se requieren torres de alta tensión y cables de gran capacidad [...] un promotor empieza a construir un parque eólico hasta que éste inicia su vertido de energía a la red eléctrica pueden pasar 5 años” (Moreno, 2013; p. 16); sin embargo, la ejecución de la energía eólica a gran escala deberá ser implementada en primera medida para municipios o comunidades más pequeñas, es decir aerogeneradores individuales o en menor cantidad, y su tiempo de construcción se podrá realizar a mediano plazo, revisando su comportamiento y ajustes metodológicos para tener superior eficacia al momento de la ejecución de parques eólicos llevados a cabos como obras más robustas pero con gran capacidad de abastecimiento.

Finalmente, en el departamento del Quindío, según el centro de desarrollo rural y sostenible, (2017), se estuvo realizando un estudio de factibilidad, con el fin de diseñar e implementar una política energética donde se estudiará las posibles energías renovables que pueden funcionar

en el departamento, en las cuales la energía eólica puede tener un gran potencial, así mismo la energía que se puede producir por la biomasa.

Por otra parte, la CRQ en articulación con otras entidades informaron que lo más importante era sacar políticas y reglamentaciones para poder crear incentivos y normatividad para invertir en energías renovables. Según Plaza, (2017) "Explicó que generar energías renovables es importante porque la combustión de los hidrocarburos y las biomasas calentaron el planeta, esto hizo que se cambiaran las dinámicas en la regulación hídrica de tal forma que se pierde el clima, se deben sembrar en otras partes, las especies microbiológicas desaparecen o tienen que migrar a otros lugares, y otras repercusiones para el ser humano". Es por ello que es importante hacer la transición de la energía fósil a renovables de tal manera que favorezca no solo al hombre, también a la naturaleza.

Este proyecto denota una alternativa que busca obtener energía a través de fuentes limpias que favorezcan a la comunidad y que a su vez como se ha mencionado anteriormente se encuentre un equilibrio con el ambiente y los recursos naturales. Además, la necesidad de producir energía de otra clase de fuentes para cubrir la demanda energética y reducir el impacto de las energías no renovables; esto impulsa la investigación en las universidades, en las alcaldías, gobernaciones y demás entidades, para trabajar todos de la mano y poder promover el cambio.

Marco referencial

Marco teórico

Desde el desarrollo y revisión de la literatura referente a las energías limpias, su implementación y el trasfondo histórico y contexto global que traen consigo, es posible optar por la perspectiva teórica del autor Erique Leff "*Racionalidad ambiental: la reapropiación social de la naturaleza*" para la construcción de este documento, en vista de que, el autor brinda el pilar definido desde la sustentabilidad y la economía con base a la misma, que compete con lo que respecta a la implementación de la energía eólica para desarrollar la bioeconomía, sustituyendo el paradigma o perspectiva tradicional de macroeconomía por la planteada.

Por lo anterior, es posible acotar una de las perspectivas planteadas por Left (2003), la cual es construir y transformar la sociedad compuesta desde la macroeconomía y apostar por la bioeconomía por medio de acciones desde la comunidad, políticas, y la modificación del comportamiento desde las acciones rutinarias hasta las acciones ideológicas y de crecimiento de un país, lo que se integra al proyecto; ajustado principalmente al municipio de Filandia donde es necesario abrir espacios de concientización, despliegue y armonización con la política pública y consenso con la comunidad para la implementación del sistema ecológico, iniciando desde una energía renovable, como es la energía eólica "Es en este sentido que se abren nuevas perspectivas de indagación sobre los procesos sociales que orientan la construcción de un futuro sustentable" (Leff, 2003), dicho así, es necesaria la búsqueda de los procesos sociales oportunos para que la ejecución del proyecto se realice de manera óptima, y persista y se expanda hacia el resto de municipios.

En contraste con lo dicho por Leff, es posible relacionarlo con la apropiación productiva de la naturaleza también mencionada en su obra, en donde plantea "la crisis ambiental como una crisis del conocimiento, esta rebasa las capacidades de comprensión que puede aportar el

materialismo histórico y habrá de llevar a su desconstrucción para construir una nueva racionalidad social y productiva." (Leff, 2003, p.33), es decir, una de las principales razones por las que se observan las problemáticas ambientales es la ignorancia ante las temáticas ambientales, así como también, el metabolismo social histórico, el cual describe a grandes rasgos la interacción sociedad-naturaleza, de consumismo constante, el cual a la escala y velocidad que se manifiesta, excede la capacidad de carga del sistema natural; el cual, durante décadas ha sido un enfoque de sustentabilidad débil, donde los sistemas: social, biológico y económico son autónomos, independientes y al mismo nivel (reduccionismo), lo que se puede comparar con lo expuesto a su vez por Schuldt, (2017) "la adicción al crecimiento, tanto desde la perspectiva del deterioro del medio ambiente, de la pérdida de biodiversidad y de la sobreexplotación de los recursos naturales que da lugar, como desde la de su impacto patológico sobre el desarrollo integral del ser humano.". Por ello es necesario comprender de donde radica el desconocimiento social, político y económico, para cambiar el pensamiento y racionalizar los subsistemas desde una sustentabilidad fuerte, con un enfoque sistémico, reconocimiento de los límites naturales, y la gestión de la naturaleza como patrimonio y servicios ambientales.

Por otra parte, la energía es una fuente de sustento para el desarrollo de la humanidad que proviene principalmente de combustibles fósiles. En vista del aumento de la población y el crecimiento desmesurado de la tecnología se ha hecho cada vez más indispensable, lo anterior se debe a la alta demanda y la necesidad de este medio de subsistencia, como consecuencia se ha explotado el medio ambiente por la extracción de petróleo, carbón y gas natural que ocasiona altos grados de contaminación al aire, agua y suelo por medio de las emisiones de CO_2 a la atmósfera, el derrame de crudo y la manipulación del territorio con maquinaria pesada y procedimientos inadecuados que afectan seriamente el proceso natural y biológico de la naturaleza. Lo anterior se puede relacionar con el postulado de racionalidad económica de Enrique Leff donde indica que hay una crisis ambiental que ha estado destruyendo la naturaleza,

consumiendo las bases de sustentabilidad de la vida y acelerando la muerte entrópica del planeta. Añade que a final de los años sesenta y principio de los setenta, aparece un cuestionamiento del sistema económico donde plantean los límites del crecimiento, y es la primera vez que se plantea que aquella economía tiene un límite interpuesto por la naturaleza, y es debido a que hace décadas se han estado aumentando los niveles de consumo de una manera acelerada donde hay explotación y transformación destructiva de la naturaleza sin ningún tipo de equilibrio ambiental, un ejemplo es el municipio de Filandia donde se ha visto el aumento desmesurado del turismo, sin darle un debido control y en donde hay afectación de diversos factores como la contaminación, saturación de los servicios públicos, capacidad de carga de los diversos lugares con valor ecológico, entre otros; trayendo consigo problemáticas no solo para el municipio sino para el departamento. Siendo preciso la exploración de alternativas para la implementación de energías limpias como la energía eólica, considerando su potencial, y teniendo en cuenta el corredor de vientos con el que se caracteriza el municipio.

> "Según Leff la inconsistencia de agotar los recursos naturales viene de ideologías ancestrales, con la ideología judeocristiana del predominio del hombre sobre la naturaleza, a, del derecho y la necesidad del ser humano de dominar a la naturaleza en beneficio propio, con toda una visión cultural anterior que desemboca en la idea de un progreso ilimitado, que anida en el iluminismo de la razón y en la forja de la ciencia moderna, y particularmente en la construcción e institucionalización de la economía" (Cruz & Almeyra, 2017).

Por consiguiente, es necesario aplicar el principio de sustentabilidad que busca generar nuevas formas de producción y de convivencia con la naturaleza, como lo es, la capacidad de conservación, producción y renovación de los propios sistemas naturales, con su productividad

ecológica, y articular a esa productividad ecológica una productividad cultural, es decir, la capacidad de los seres humanos de recrear la naturaleza pero en un sentido sustentable, que el ser humano comprenda que se deben generar una serie de cambios, es por ello que en los últimos años se ha incentivado la producción de energía a partir de fuentes renovables, sin embargo las centrales energéticas convencionales priman sobre ellas como menciona Acevedo, Ana & Arias, Geraldyn (2017) "[...] hasta el 2008, el consumo de fuentes de energía fósil era mucho mayor que las renovables, para esta fecha habían transcurrido 10 años tras firmarse el acuerdo de Kioto, esto indica que el mundo sigue dependiendo de los combustibles fósiles". Por ello es necesario iniciar los cambios significativos como la implementación de las diferentes energías renovables, y en especial la eólica puesto que es una energía limpia, inagotable, no emite gases de efecto invernadero, y es la más viable frente a la degradación medioambiental.

Del mismo modo, Ochoa, M. et al, (2012), manifiesta la valoración de proyectos de energía eólica en Colombia bajo un enfoque de opciones reales, las cuales se tratan dentro de la teoría financiera como una complementación a las metodologías tradicionales basadas en FCD conocidas como el enfoque de opciones reales (real options analysis-ROA) de gran utilidad.

> *"EL enfoque de opciones reales son de gran utilidad, especialmente en el caso de proyectos que, como los de generación de energía eólica, enfrentan alta incertidumbre o permiten flexibilidad al inversionista para hacer una inversión en menor escala y, ante determinadas condiciones, expandirlo".*
>
> - *Ochoa et al (2012).*

Marco legal

En Colombia la legislación ambiental ha tenido un incremento y fortalecimiento y se ha desarrollado a partir de la Convención de Estocolmo de 1972 donde se acogen los principios del Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente contenido en el Decreto Ley 2811 de 1974. Los principios que se mencionaron anteriormente se han expandido gracias a las declaraciones de Estocolmo en 1972 y de Río de Janeiro en 1992 incluidos en la Ley 99 de 1993.

Con lo anterior se puede determinar que a partir de principios y leyes el ambiente ha pasado a ser un fenómeno importante el cual debe ser conservado y utilizado equilibradamente, es por ello que las energías renovables han sido un paso relevante para buscar el cuidado del mismo, y para ello se cuentan con las leyes que las rigen como por ejemplo el congreso de Colombia en la ley 2036 del 27 de julio del 2020 en el artículo 1 Autoriza al Gobierno nacional para financiar con aportes del Presupuesto General de la Nación y el Sistema General de Regalías la participación de las entidades territoriales en los proyectos de generación, distribución, comercialización y autogeneración a pequeña escala y generación distribuida con Fuentes No Convencionales de Energía Renovables (FNCER) que se enumeran a continuación: la biomasa, los aprovechamientos hidroeléctricos, la eólica, la geotérmica, la solar, los mares y el aprovechamiento energético de residuos. Además de otras fuentes que. podrán ser consideradas según lo determina la UPME. (Congreso de Colombia, 2020).

Adicional a esto, con esta ley se puede evidenciar que en Colombia ya se cuenta con un presupuesto para apoyar proyectos referentes a las energías renovables las cuales son una fuente de energía limpia e inagotable y presenta bajas emisiones y daños al ambiente.

Por otra parte, se encuentra la ley 1715 de 2014 “por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional”, Ley por medio

de la cual se expide el marco normativo colombiano para la promoción y desarrollo de las Fuentes No Convencionales de Energía Renovable en Colombia.

Asimismo, existe una resolución del ministerio de ambiente 1312 del 11 agosto de 2016 "Por la cual se adoptan los términos de referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental – EIA, requerido para el trámite de la licencia ambiental de proyectos de uso de fuentes de energía eólica continental y se toman otras determinaciones".

Puesto que es necesario un previo estudio de impacto ambiental antes de poner en marcha cualquier proyecto que pueda afectar tanto positiva como de forma negativa el medio ambiente, es por ello que esta ley se hace necesaria para el desarrollo del trabajo.

De manera análoga, se encuentra el decreto 2492 de 2014 el cual establece como marco legal los instrumentos para la promoción, desarrollo y utilización de las Fuentes No Convencionales de Energía (FNCE), en especial las de carácter renovable, en el Sistema Interconectado Nacional mediante su integración al mercado eléctrico; además tienen entre los propósitos la promoción de la gestión eficiente de la energía, donde se incluyen acciones de eficiencia energética y finalmente la respuesta de la demanda.

Del mismo modo, está la resolución UPME 0281 del 2015 "Por la cual se define el límite máximo de potencia de la autogeneración a pequeña escala" Resolución CREG 024 de 2015 "Por la cual se regula la actividad de autogeneración a gran escala en el Sistema Interconectado Nacional (SIN)".

En esa misma línea, se encuentra la resolución del ministerio de ambiente 1283 del 3 de agosto de 2016 por la cual establece el procedimiento y requisitos para expedir la certificación de beneficio ambiental por nuevas inversiones en proyectos de fuentes no convencionales de energía renovable y la gestión eficiente de la energía para así obtener beneficios tributarios.

Finalmente se encuentra la ley 1715 del 13 de mayo en la cual la UPME como máxima autoridad tiene como objeto promover el desarrollo y la utilización de las energías renovables, principalmente aquellas de carácter renovable para así integrarse al mercado de energía eléctrica, su finalidad es establecer un marco legal y los instrumentos para la promoción del aprovechamiento de las energías renovables.

Marco espacial

Filandia es un pequeño municipio cafetero que se encuentra en el departamento del Quindío. "con coordenadas geográficas 4°40'48,7" N, 75°39'48,5" W y se caracteriza por un clima templado; con precipitaciones significativas y vientos fríos. Cuenta con un área total de 109,40 km^2, un área urbana de 080 km^2, y un área rural de 108.60 km^2, Asimismo limita al norte con el departamento de Pereira, por el sur con el municipio de Circasia, por el oriente con el municipio de Salento y finalmente por el occidente con Quimbaya. Además, se encuentra en los ramales occidentales de la cordillera central, a una altura de aproximada de 1.910 metros sobre el nivel del mar", (Ficha municipal Filandia, 2014).

Complementando lo anterior, Filandia es uno de los municipios más turísticos del Quindío, cuenta con una amplia oferta cultural, natural y social. Esto debido a sus hermosas reservas naturales, su paisaje, su biodiversidad, su cultura, arquitectura y la declaratoria como patrimonio de la Humanidad (Paisaje Cultural Cafetero). Lo anterior permitiendo que sea una de las actividades más influyentes para el municipio y el departamento en general en cuestiones económicas.

A continuación, se presenta la zona de estudio:

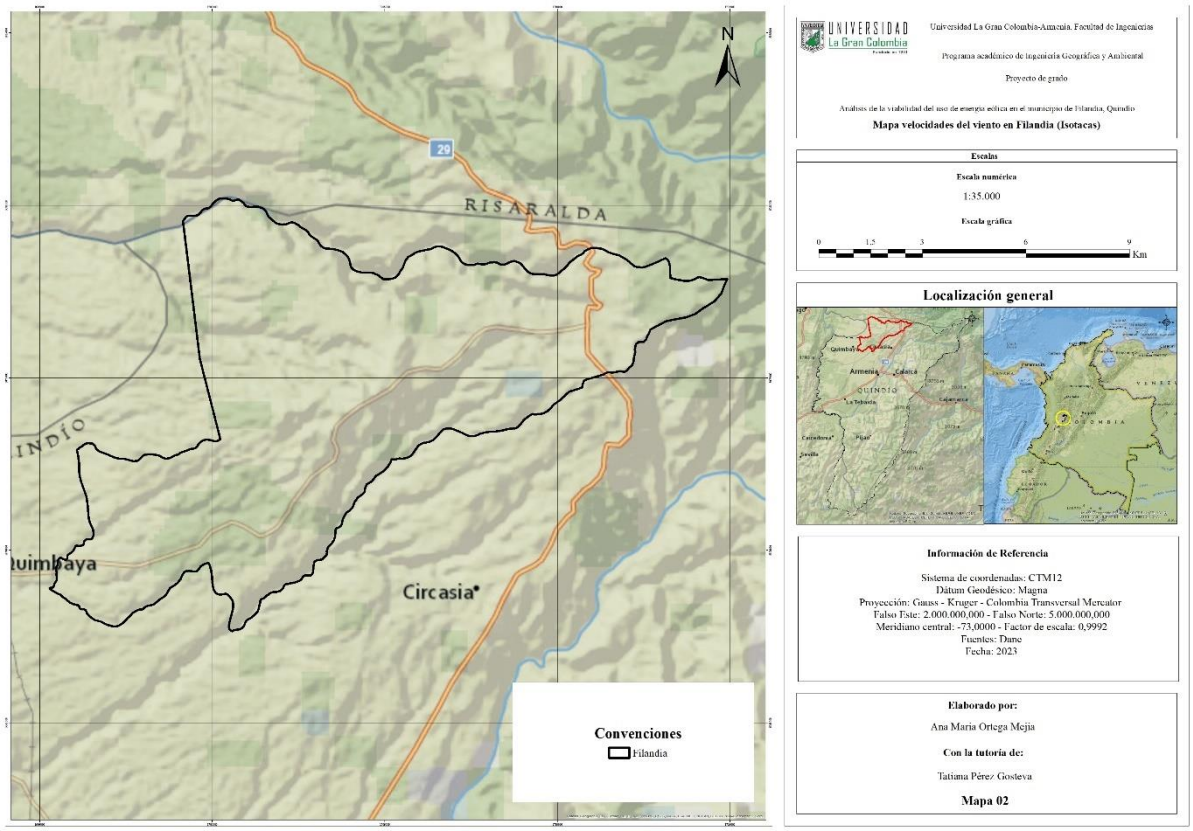


Figura 2. Ubicación del municipio de Filandia – Quindío
Fuente: Autores (2023).

Marco conceptual

Para tener una mejor comprensión del trabajo denominado análisis de la viabilidad del uso de energía eólica en el municipio de Filandia, Quindío; se deben tener en cuenta una serie de conceptos las cuales se verán reflejadas a lo largo del trabajo.

Como por ejemplo “Energía eólica la cual es una fuente de energía renovable y limpia, basada en el aprovechamiento del viento, es la más destacada por la implantación conseguida y porque, con base a la reducción constante de sus costos, podrá competir con otras fuentes convencionales de energía eléctrica, extendiendo su presencia futura en todos los países del mundo (López, 2004). Asimismo, se verá reflejada la palabra sustentabilidad definida como el resultado de una acción concertada de la nación para impulsar un modelo de desarrollo económico mundial compatible con la conservación del medio ambiente y de esta manera tener una equidad social y ambiental (), de esta manera se busca implementar la energía eólica en el

municipio de Filandia para que contribuya a la reducción de energías fósiles y del mismo modo tenga una disminución en el gasto eléctrico de cada uno de los hogares.

Por otro lado, en el trabajo se menciona el turismo el cual es un fenómeno social, cultural, y económico que indica el desplazamiento de personas a países o regiones a nivel nacional, e internacional, como lo menciona Burkart y Medlik, (s.f) el cual ofrecen una descripción del turismo como aquellos desplazamientos cortos y temporales que realizan las personas fuera del lugar donde residen o trabajan y realizando actividades diversas de las que acostumbran.

De la misma forma, se encontrará inmersa la palabra velocidad del viento la cual corresponde a la distancia recorrida por el aire y el tiempo que tarda en recorrerla, además esta expresada en metros por segundo (m/s), kilómetros por hora (Km/h) o Nudos, (IDEAM, s.f). esta variable es de suma importancia para la investigación, debido a que determinara que tan viable es la energía eólica en el municipio de Filandia.

Metodología

Enfoque metodológico:

Corresponde a un enfoque mixto, teniendo en cuenta las variables a analizar como el rango de viento, condiciones climáticas, cobertura vegetal, entre otros, que indican las componentes cualitativas y cuantitativas que permiten obtener la información para dar desarrollo a la propuesta planteada. Esto se encuentra soportado en (Hernandez-Sampieri y Mendoza 2014).

Método de Investigación

La investigación se desarrolla en el método empírico-analítico, según (Samaniego 2022), debido al proceso de análisis de diferentes variables que tienen influencia en el análisis de la velocidad del viento en la zona de estudio lo que permite identificar el tipo de modelo de aerogenerador adecuado para la misma.

Tipo de estudio

El tipo de estudio definido para el proceso investigativo es de carácter explicativo, según Arias (2012), puesto que interpreta la información suministrada de bases de datos respecto a la energía eólica y su aplicación en diferentes ubicaciones para su posible implementación en el municipio de Filandia, Quindío, además permite dar alternativas efectivas y diferentes a las consecuencias derivadas del uso de energías no renovables, como son los combustibles fósiles, los cuales han acelerado los procesos naturales de calentamiento global por el aumento de las emisión de gases de efecto invernadero en la atmósfera, por lo tanto, el aprovechamiento de la velocidad del viento como una de las variables principales para el uso de aerogeneradores permite dar alternativa que permita mitigar los efectos del cambio climático.

Diseño de la Investigación

El diseño de investigación, indica cómo se llevará el plan investigativo y las estrategias empleadas para el cumplimiento de cada uno de los objetivos específicos, además de responder a la pregunta de investigación planteada inicialmente. Por lo tanto, el tipo de diseño de la investigación es multivariable, debido a que se analizan las variables de velocidad del viento, características geográficas, sistemas de generación de energía eólica, coberturas vegetales y capacidad energética de la zona de estudio que permiten el análisis de la viabilidad de este tipo de energía.

En el proceso de obtención de insumos básicos para el cumplimiento de los objetivos establecidos en la investigación, la información primaria se obtiene a partir del reconocimiento de las variables generales del uso de la energía eólica, sus características, variables de funcionamiento entre otras, asimismo, a partir de la información de las bases de datos climatológicas se obtiene el comportamiento de la velocidad del viento, todo esto conlleva a identificar el tipo de aerogenerador que se puede emplear.

Unidad de Trabajo

El departamento del Quindío se encuentra en la parte centro occidental de Colombia, ubicado entre las latitudes 04º 04' 41" y 04º 43' 18" norte y entre los 75º 23' 41" y 75º 53' 56" de longitud oeste. Posee una superficie terrestre de 1.845 km^2, y limita por el norte, con los departamentos del Valle del Cauca y Risaralda; por el este, con el departamento del Tolima; por el sur con los departamentos del Tolima y del Valle del Cauca; y por el oeste, con el departamento del Valle del Cauca.

El municipio de Filandia se encuentra en el departamento del Quindío., se encuentra ubicado geográficamente en las coordenadas 4°40'48,7” N, 75°39'48,5” W, se caracteriza por tener un clima templado; con precipitaciones significativas y vientos fríos. (Ficha municipal Filandia,

2014). Dado lo anterior, se considera que se debe establecer las variables que afectan el uso de energía eólica, además de identificar las condiciones para la propuesta de un diseño apropiado.

Operacionalización de variables

En el proceso de operacionalización de variables, se realizó un análisis para cada objetivo específico.

Tabla 1. Operacionalización de variables.

OBJETIVOS	**VARIABLES**	**INDICADOR**	**TÉCNICAS**
Identificar el funcionamiento del recurso eólico en la zona de estudio para determinar la tecnología más apropiada de producción de energía.	Temperatura, velocidad del viento	Vientos alisios del norte	Análisis documental de bases de datos especializadas: la Nasa, atlas eólico de Colombia, e IDEAM.
Determinar las características de variables específicas para la energía eólica a partir de bases de datos climatológicas.	Dependencia energética, competitividad en energías renovables.	Velocidad del viento, temperatura y datos importantes de las bases de datos climatológicas.	Análisis proporcionado por entidades como: el DANE, EDEQ,
Establecer haciendo uso de los sistemas de información geográfica, el modelo apropiado para implementar proyectos de energía eólica, a partir de bases de datos climatológicas, en el municipio de Filandia.	Velocidad del viento que permita que un prototipo de aerogenerador funcione. Datos de los últimos años para determinar las variaciones de la velocidad del viento.	Avance tecnológico, competitividad, disminución de precios en el mercado eléctrico, factura de luz	Exploración de modelos realizados por empresas como ICEWIND, LUVSIDE, HALCIUM, ALPHA 311, Uso de los sistemas de información geográfica.

Fuente: Autores (2023).

Técnicas e instrumentos de recolección de información

Las técnicas empleadas para la recolección de los datos fueron cuantitativas y cualitativas, en cuanto a las variables cuantitativas, estuvieron enfocadas a la toma de los datos de variación de velocidad del viento que permiten identificar las características apropiadas para los modelos de aerogeneradores adecuados, teniendo como soporte teórico diferentes estudios realizados y el atlas de vientos y energía eólica de Colombia. En contraste, las variables de carácter cualitativo se obtuvieron relacionando bases teóricas en modelos de aerogeneradores y conceptos de autores que han realizado estudios e implementación de los mismos.

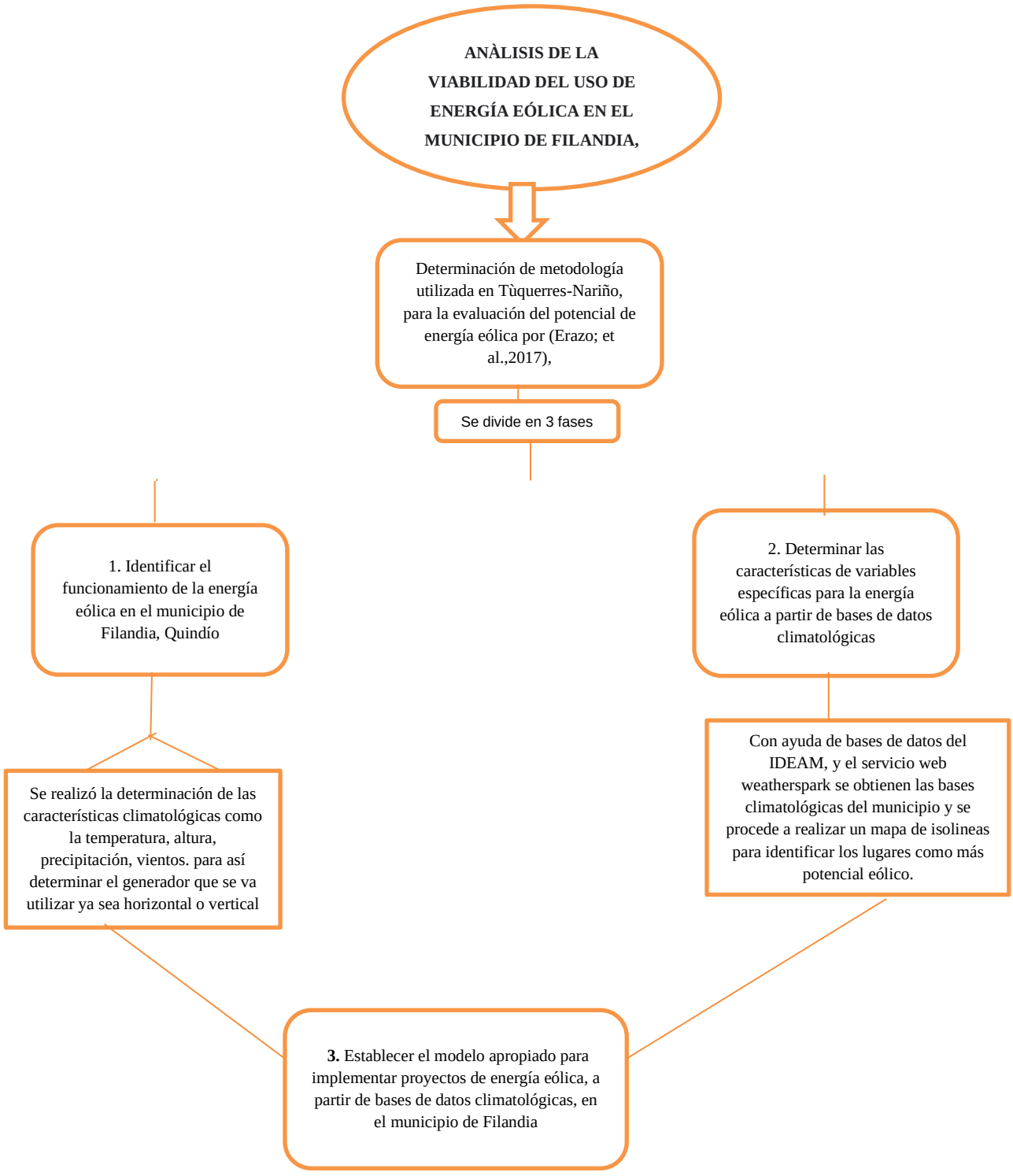
Al tener los resultados de ambas variables tanto cuantitativas como cualitativas, se presentan las características de los modelos que se pueden implementar en el municipio de Filandia en el departamento del Quindío

En este orden de ideas la unidad de análisis espacial de municipio Filandia, definido "de acuerdo con el Articulo 311 de la actual Constitución Política de Colombia y la Ley 136 de junio 2 de 1994, es la entidad territorial fundamental de la división político-administrativa del Estado, con autonomía política, fiscal y administrativa dentro de los límites que le señalen la constitución y las leyes de la Republica." (DANE, s.f), por medio de dicho concepto se establece dicha zona de estudio, la cual está comprendida en el departamento de Quindío con coordenadas geográficas 6°22' N, 75°37' W y está caracterizada por su clima templado; con precipitaciones significativas y vientos fríos.

Etapas del análisis metodológico

A continuación, se desglosan cada uno de los métodos y procedimientos necesarios para el cumplimiento de cada uno de los objetivos específicos teniendo como base la metodología utilizada en Tùquerres-Nariño, para la evaluación del potencial de energía eólica por (Eraso; et

al.,2017), por medio de la cual se debe realizar en primera instancia la caracterización de las condiciones ambientales del lugar.



Fase 1 Identificar el funcionamiento del recurso eólico en la zona de estudio para determinar la tecnología más apropiada de producción de energía

Para este caso, se debe realizar la determinación de las características que permiten o no indicar la viabilidad del uso de esta energía en Filandia, Quindío. Por lo tanto, entre las variables se encuentra, su ubicación, temperatura promedio, clima, altura promedio, promedio de precipitaciones y el comportamiento del viento en la zona, lo anterior para determinar el tipo de aerogenerador que se implementará, teniendo en cuenta su funcionamiento óptimo.

Para obtener el análisis de las variables se debe identificar el comportamiento de los aerogeneradores de eje vertical y eje horizontal, lo que permitirá establecer el modelo apropiado para el municipio, según la viabilidad del mismo.

Dado lo anterior, según (Eraso; et al., 2017), un sistema eólico puede funcionar conectado a la red eléctrica o de manera independiente, asimismo, se tiene la diferencia de las características de un aerogenerador de eje horizontal y uno de eje vertical. Posterior a esto es importante determinar la potencia y el potencial eléctrico suministrado por este, para conocer la energía cinética generada por la hélice se tiene que:

$$E_c = \frac{1}{2}\, mv^2$$

Donde:

Ec: Energía Cinética
m: Masa de aire en kg
v: Velocidad del Viento en m/s

Por otro lado, se debe tener presente la longitud de las palas del aerogenerador y el alcance que tendrá de energía para una comunidad determinada.

A su vez, es necesario tener en cuenta que, para la caracterización del aerogenerador es importante conocer el rendimiento de la turbina el cual puede ser proporcionado por la siguiente fórmula:

$$P = Cp.\frac{\Phi}{2}.\frac{\pi.D^2}{4}.V^3$$

En donde:
Cp: coeficiente de potencia.
Φ: densidad del aire (Kg/m^3).
V: velocidad del viento (m/s).
D: diámetro de las hélices (m).

No obstante, según Eraso; et al. (2017).

> "La extracción de la energía del viento hace que este reduzca su velocidad. Según el teorema de Betz, la energía máxima que podrá captarse del viento para que el rendimiento sea el máximo es el 59% de la energía cinética del viento; esto representa la primera pérdida del rendimiento final de la turbina." *(P. 22)*

Fase 2 Determinar las características de variables específicas para la energía eólica a partir de bases de datos climatológicas.

Para determinar las características, se realizó la obtención de los datos de velocidad del viento, precipitaciones, temperatura promedio, nubes, incidencia de radiación solar, humedad y dirección del viento. Esto con el fin de identificar la relación de las variables indicadas y su correspondencia con la energía eólica.

Adicional a esto, se propuso realizar mediante una salida gráfica, la relación de las variables que se identificaron y el comportamiento de los elementos climatológicos estudiados. Para obtener estos datos se emplearon las bases de datos del IDEAM, weatherspark y otros, con los cuales se analizó el comportamiento de los sistemas.

Dado lo anterior, se propuso indicar en las gráficas actualizadas para el año 2022 que se obtienen de weatherspark la variabilidad climatológica de la zona de estudio, de esta forma se tiene una percepción de la propuesta que permite a partir de este estudio, indicar la viabilidad del uso de energía eólica, dando cumplimiento al objetivo de desarrollo 7 y el inicio de la transición energética del municipio de Filandia.

Fase 3 Establecer haciendo uso de los sistemas de información geográfica, el modelo apropiado para implementar proyectos de energía eólica, a partir de bases de datos climatológicas, en el municipio de Filandia.

Para este ítem se tuvo que con la información obtenida con anterioridad, se estableció un modelo de regresión múltiple, con un análisis stepwise o selección por pasos hacia adelante, donde se estableció una variable principal que en este caso seria los vientos, mientras que las demás variables climáticas y otras, se relacionan con la variable principal definida, este proceso permitió evaluar lo efectivo y confiable que puede llegar a ser el modelo, además puede ser empleada para predicciones futuras.

Adicional a lo anterior, se tiene que a partir de los datos se planteó el modelo adecuado de sistemas de energía eólica, para esto se obtuvo un análisis general de las condiciones climáticas y geográficas de la zona. Asimismo, según Eraso; et al. (2017). Un parámetro importante para caracterizar el funcionamiento de un aerogenerador es la densidad del aire, la cual para Colombia oscilan entre 0,7 Kg/m^3 sobre zonas de alta montaña y 1,2 Kg/m^3 en zonas ubicadas a nivel del mar. Posterior a la determinación de la densidad del aire y después de analizar la velocidad del viento presente en la zona de estudio, se obtiene el potencial del viento mediante el uso de la ecuación

$$\frac{P}{A} = \frac{1}{2}\Phi * V^3$$

Donde:

$$\frac{P}{A} = densidad\ de\ potencia\ (W/m^2)$$

$\Phi = densidad\ del\ aire\ (kg/m^3)$

$$V = velocidad\ del\ viento\ (m/s)$$

Cabe resaltar, que en este ítem sólo se indica el modelo apropiado, por las características generales, un sistema específico se debe realizar con estudios que involucran otras variables.

Resultados y discusión

Dando seguimiento a los objetivos y aplicando las fases metodológicas, se obtienen los resultados.

Fase 1 Identificar el funcionamiento del recurso eólico en la zona de estudio para determinar la tecnología más apropiada de producción de energía

Para esta fase se ha emplea la herramienta del atlas de vientos del IDEAM, mediante la cual se obtiene un rango del comportamiento de la velocidad del viento en todo el territorio Nacional, como se observa en la figura 2. Este Atlas permite identificar el comportamiento de la velocidad del viento a nivel superficial, además de obtener la información a alturas que van desde los 50m hasta los 250m. Esta velocidad se puede analizar de forma mensual o anual, por velocidad promedio o velocidad máxima. En adición, se tiene la información de la dirección del viento mensual o anual.

Adicional a las variables identificadas, se abordan ítems como la rugosidad superficial la cual permite analizar el comportamiento de la velocidad del viento y como se ve afectada por la fricción con la superficie terrestre. Según la asociación danesa de la industria eólica (2003), entre más pronunciada sea la rugosidad del terreno, mayor será la ralentización que experimenta el viento, se puede observar que en zonas boscosas y grandes ciudades aumenta la ralentización, mientras que en zonas donde se presentan pistas de hormigón o superficies de agua, este fenómeno es menor y no genera interferencia. Por consiguiente, se han actualizado los modelos de aerogeneradores, dado que para un diseño adecuado se deben tener presentes las variables de velocidad y dirección del viento, orografía del terreno, rugosidad de la superficie, las coberturas vegetales, los corredores biológicos y las dinámicas ecológicas del lugar. Así mismo, se debe tener en consideración el tipo de eje del aerogenerador, si es de eje horizontal o de eje vertical.

Por lo tanto, se tienen las salidas gráficas tomadas a partir del atlas de vientos del IDEAM, que permiten identificar la velocidad y dirección del viento, además la rugosidad de la zona

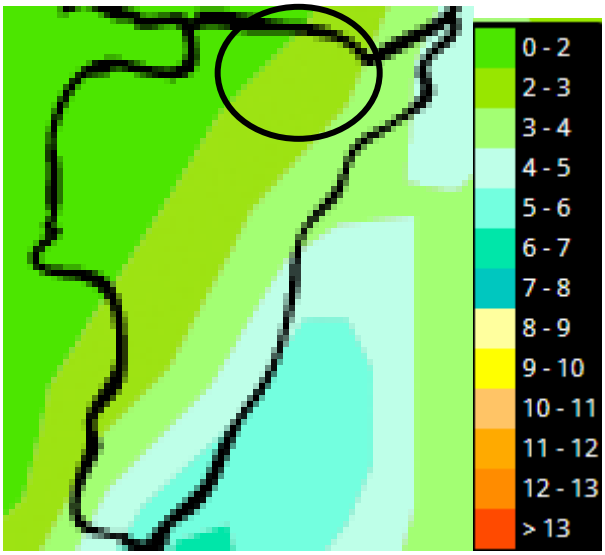


Figura 3. Promedio de la velocidad del viento a 10 m en el Quindío. Periodo 2018-2019.
Fuente: Atlas de vientos del IDEAM (s. f.).

En el mapa anterior se muestra la velocidad máxima de viento en el departamento del Quindío, estos datos son tomados del promedio anual, dado que en este atlas interactivo se observa el comportamiento de las variables a nivel departamental, lo que indica que analizando la ubicación del municipio de Filandia, la velocidad promedio a 10m de altura se encuentra entre los 0 y 3 m/s. Esto indica una de las variables que permite establecer que el modelo apropiado de aerogenerador es de eje vertical, dadas las características.

En la figura 3, se observa el promedio de la velocidad máxima anual a 10m de altura. En la zona del círculo, se encuentra el municipio de Filandia, lo que indica que la velocidad máxima que puede alcanzar la zona de estudio, corresponde a un valor que oscila entre 27 y 30 m/s. Este tipo de velocidades se presenta con mayor frecuencia en ciertas épocas del año donde las condiciones climáticas generan esta variación, esto corresponde a otro factor que permite identificar que los aerogeneradores de eje vertical, son una opción viable para el municipio.

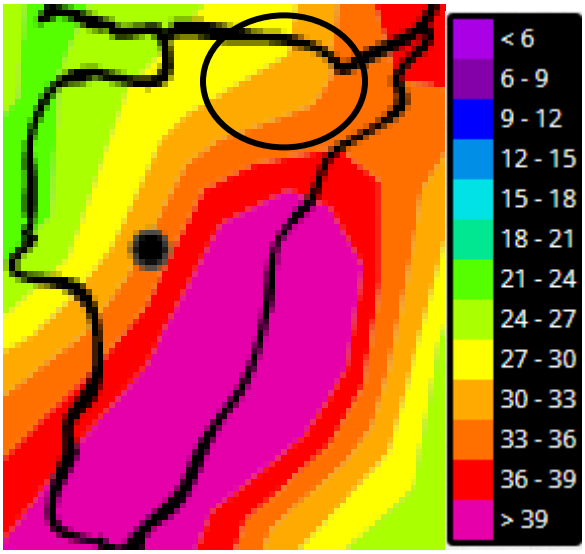


Figura 4. Promedio de la velocidad máxima del viento a 10 m en el Quindío.
Fuente: Atlas de vientos del IDEAM (s. f.).

En adición, se tiene un factor importante determinado como la rugosidad, este corresponde al conjunto de irregularidades de la superficie, en este caso el municipio de Filandia, que es determinante porque indica la fricción de las capas bajas de la atmosfera, esto es importante porque indica el retraso en el flujo del viento que se puede dar en la zona. Este es un parámetro importante en el cálculo del potencial eólico, porque si el valor de rugosidad es alto, se puede generar una limitación en mayor o menor medida debido a la fricción. El atlas del IDEAM determina este índice mediante la ecuación de Justus - Mikhail, en donde:

$$\alpha = 0{,}37 - 0{,}203 \log V_{10m}$$

Esto se puede visualizar en la figura 4, donde se obtiene un valor aproximado de rugosidad para el municipio que oscila entre los 0,30 m y 0,36 m. El valor es alto, pero esto no indica que no es viable el uso de aerogeneradores, sólo que se deben ubicar en zonas donde la cobertura vegetal no genere demasiada interferencia.

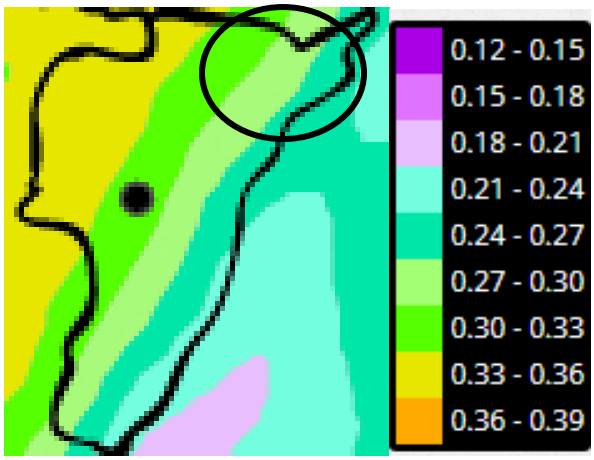


Figura 5. Rugosidad superficial en la zona de estudio.
Fuente: Atlas de vientos del IDEAM (s. f).

Por otro lado, dadas las condiciones generales del municipio con relación a la velocidad promedio y máxima del viento, además de la rugosidad de la superficie, se establece las características de los aerogeneradores y se propone el modelo que puede ser viable para la zona de estudio. Cabe resaltar como se mencionó con anterioridad un aerogenerador es un dispositivo que consta de un sistema de una torre o base, una góndola y un rotor para el caso de aerogeneradores de eje horizontal, este tipo de aerogenerador tiene una restricción fuerte en el sistema de adaptarse a los cambios bruscos de cambios de velocidad del viento, pero producen mayor potencial energético. Para los aerogeneradores mencionados, se deben tener zonas sin mucha cobertura vegetal y su instalación supera los 30m de altura, adicional a esto, no se deben instalar en zonas cercanas a edificaciones o zonas protegidas.

Dado lo anterior, se indican las características del sistema de eje vertical, según Fraire, D. (2020), este tipo aerogeneradores tienen mayor versatilidad, además de que se acoplan a velocidades del viento bajas y altas, se pueden instalar en zonas residenciales sin generar tanta interferencia, como se observa en la figura 5. Además, entre las ventajas que tienen, no necesitan un mecanismo de orientación con relación al viento, dado que sus palas son omnidireccionales, en algunos modelos se pueden ubicar cerca de la superficie terrestre sin tanta interferencia por la rugosidad del mismo, esto debido a los diseños que se tienen, adicional

a esto pueden funcionar con velocidades del viento menores (Relacionado con los aerogeneradores de eje horizontal), tienen menor generación de ruido y su mantenimiento es más sencillo. Pero se debe tener presente que la eficiencia energética es menor debido a que se encuentran a alturas menores a los 10m, donde la velocidad del viento no es tan fuerte

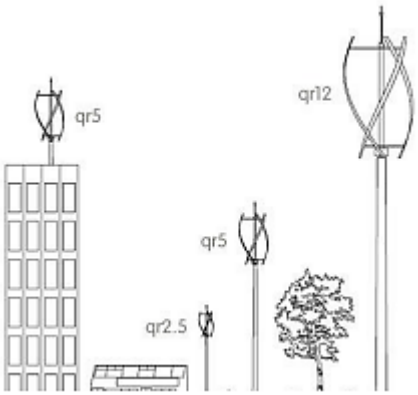


Figura 6. Versatilidad de los aerogeneradores de eje vertical.
Fuente: Fraire, D. (2020).

En consecuencia, teniendo como base la información del IDEAM y los modelos de aerogeneradores se establecen las condiciones para este tipo de energía en el municipio de Filandia. Adicional a esto, al tener el sistema final del tipo de aerogenerador y el cálculo de la masa de aire, se puede estimar la energía cinética y la potencia de dicho sistema.

En adición, para la viabilidad de energía eólica en los territorios se deben tener en cuenta algunas condiciones ya sea ambientales, técnicas, de infraestructura y demás factores importantes para su correcto funcionamiento, como lo menciona Guerrero, (2019), “Se debe tener una distancia de la red vial, no se debe instalar a una distancia menor de 100 m, esto lo establece INVIAS también se debe tener una distancia menor a los 3,000 m con los aeropuertos esto se da por seguridad aeronáutica. Estas normas son específicas para aerogeneradores de eje horizontal.

En este orden de ideas, Guerrero afirma que se debe tener distancia con las áreas urbanas y rurales esto por motivos ambientales. Específicamente debido al ruido y vibraciones producidas

por los aerogeneradores de eje horizontal. Además, en áreas altamente urbanizadas se reduce la velocidad del viento, por esto se propone el uso de aerogeneradores de eje vertical. Otro dato importante es que se deben excluir las zonas muy elevadas > 2,000 m, dado que a mayor altura menor densidad del aire y por lo tanto menor potencial eólico. Además, zonas muy elevadas conlleva a elevados costos de transmisión y construcción para poder dar marcha a la generación de energía eólica.

En esta misma línea el autor manifiesta que se debe tener en cuenta las redes eléctricas puesto que cuando se sitúa a largas distancia se tiende a perder conexión y transmisión con el cableado es por ello que se debe situar a una red eléctrica con más de 10 MW instalados normalmente se pueden conectar a la red de alto voltaje (110kV), estos criterios son fijado con base a la Resolución No. 90708 (Ministerio de Minas y Energía, 2013) que reglamenta las distancias mínimas de proyectos al SIN.

Fase 2 Determinar las características de variables específicas para la energía eólica a partir de bases de datos climatológicas.

Para determinar las características de variables específicas, se tiene como referente la información suministrada por la plataforma de Weather Spark que consiste en un servicio web que proporciona datos meteorológicos con una serie de gráficas que ayuda a entender los datos climatológicos del municipio, para así poder observar sus cambios y poder determinar la viabilidad de la energía eólica.

Por consiguiente, se requieren los datos climáticos del municipio de Filandia donde los veranos son cortos; los inviernos son cortos y el clima es lluvioso y nublado durante todo el año. Durante el transcurso del año, la temporada templada se encuentra entre el mes de enero y marzo, y la temperatura máxima promedio diaria es más de 24 °C. El mes más cálido del año en Filandia es febrero, con una temperatura máxima promedio de 24 °C y mínima de 15 °C.

La temporada con clima frio, se denota entre el mes de octubre y diciembre, y la temperatura máxima promedio diaria es menor a los 23 °C. El mes más frío del año en Filandia es octubre, con una temperatura mínima promedio de 15 °C y máxima de 23 °C, como se puede evidenciar en la figura 7:

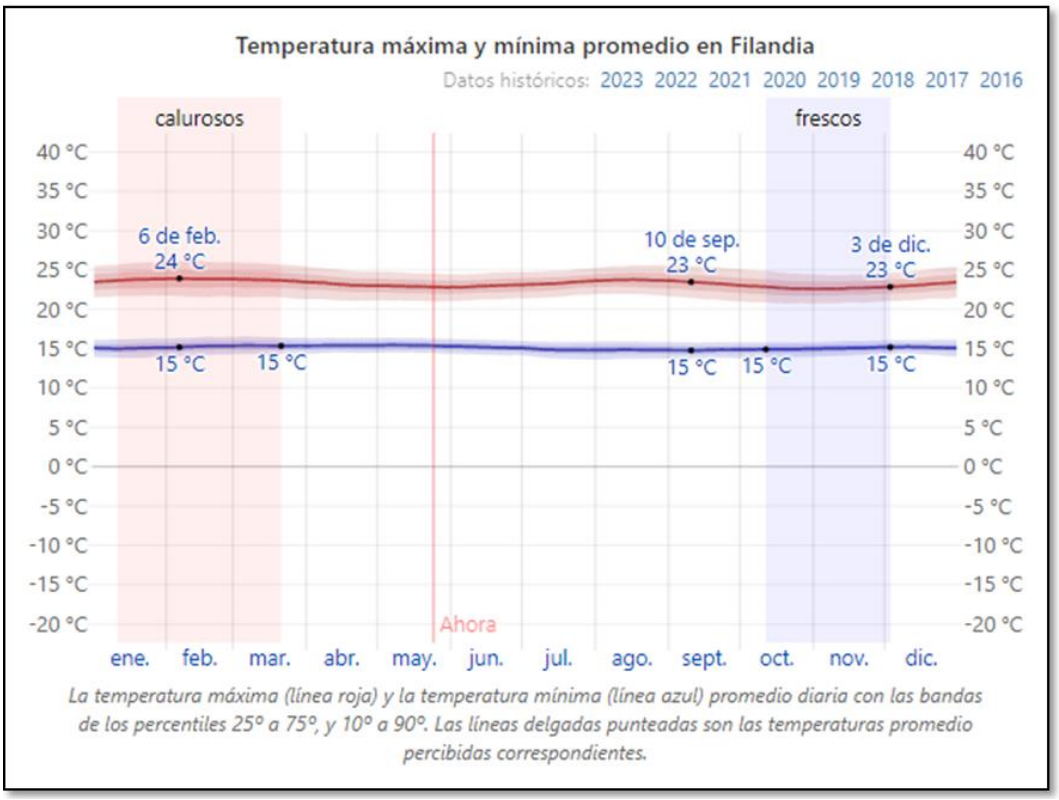


Figura 7. Temperatura máxima y mínima en Filandia.
Fuente: Weather Spark (s. f).

Por otro lado, se tiene la precipitación donde se indica la variación mensual, esta se indica por meses y días, se evidencia la precipitación de lluvia acumulada durante un período de 31 días en una escala móvil centrada alrededor de cada día del año. Filandia tiene una variación extremada de lluvia mensual por estación, el mes que presenta mayor precipitación es octubre, con un promedio de 221 milímetros de lluvia y el mes con menos lluvia en Filandia es enero, con un promedio de 118 milímetros de lluvia, como se evidencia en la figura 8:

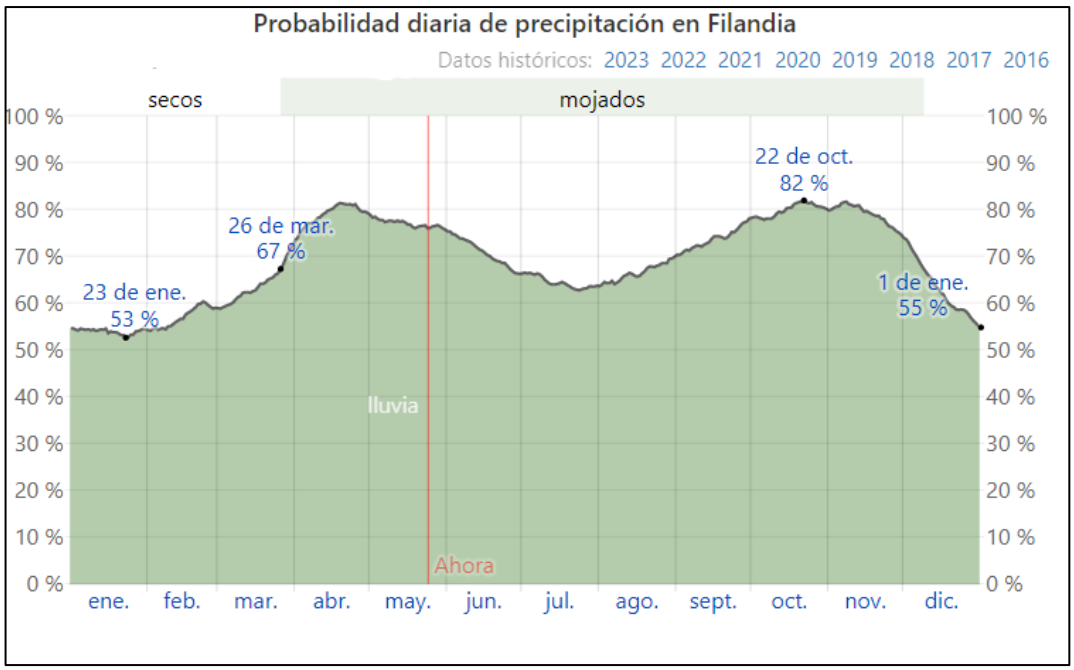


Figura 8. Probabilidad de precipitación en Filandia.
Fuente: Weather Spark (s. f.)

Del mismo modo se agregan datos de humedad, el nivel de humedad percibida en Filandia, medido por el porcentaje de tiempo en el cual se percibe un nivel que varía entre bochornoso, opresivo o insoportable, no cambia considerablemente, y permanece prácticamente constante en 0 %.

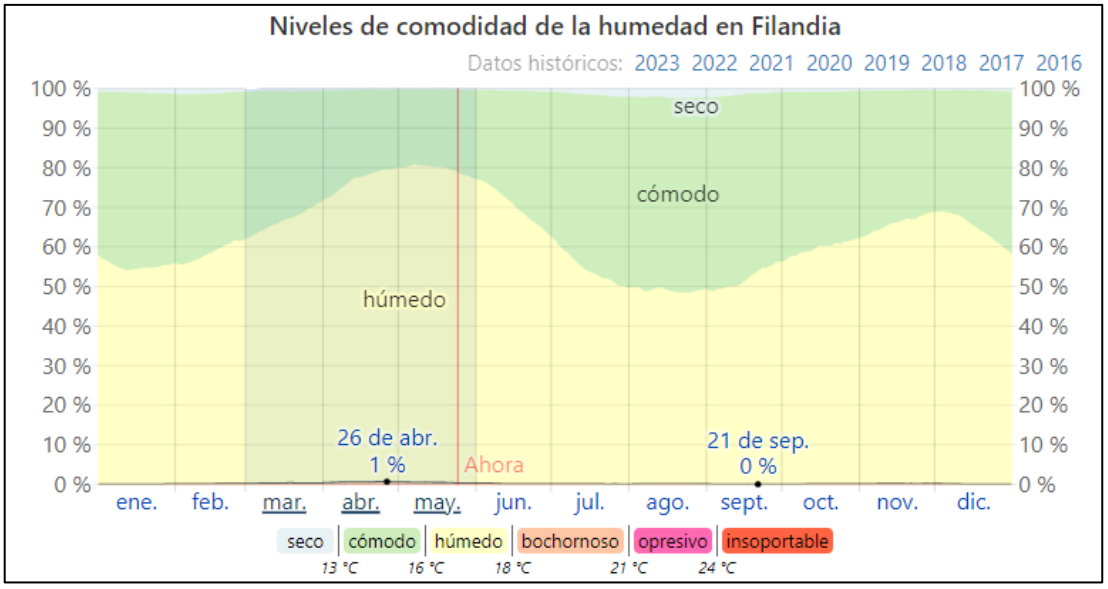


Figura 9. Humedad en Filandia.
Fuente: Weather Spark (s. f.).

Finalmente se tienen los datos de velocidad del viento promedio por hora (velocidad y dirección) a 10 metros sobre el suelo. El viento en la zona depende en gran medida de la

topografía local y de otros factores; y la velocidad instantánea y dirección del viento varían más que los promedios por hora. La época con mayores velocidades del viento se da entre

La parte más ventosa del año se da entre mayo y septiembre, con velocidades promedio del viento de más de 4,8 kilómetros por hora. El mes con mayor velocidad del viento se presenta en julio, con vientos a una velocidad promedio de 5,8 kilómetros por hora. La época con vientos más tranquilos se da entre septiembre y mayo, con diciembre como el mes de menor velocidad del viento, esta se encuentra en un promedio de 3,7 kilómetros por hora, como se evidencia en la figura 10:

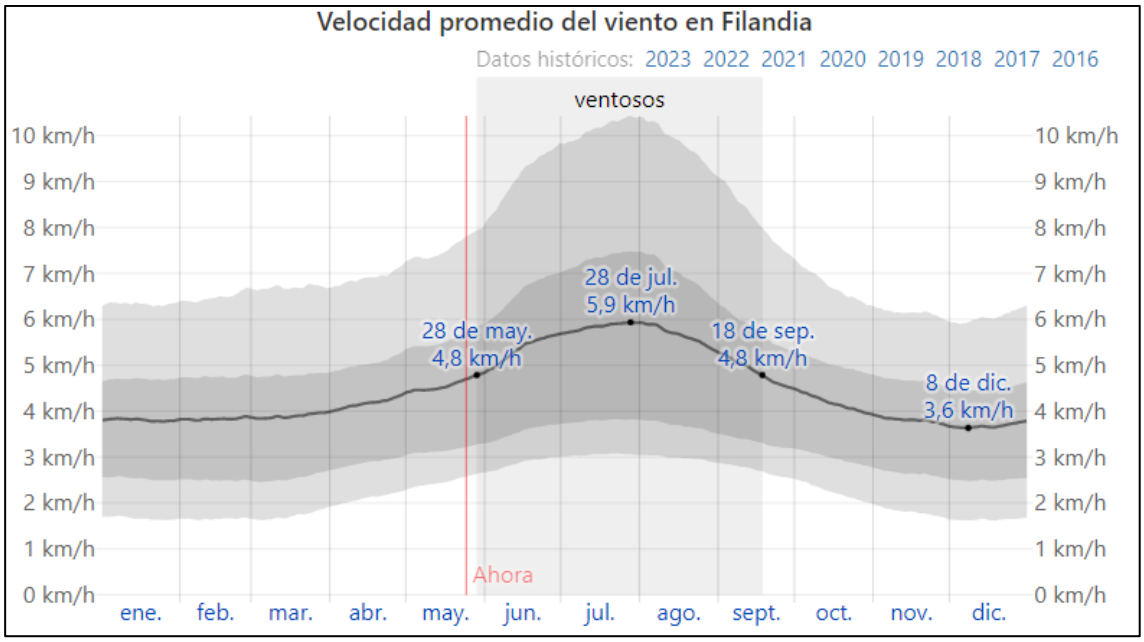


Figura 10. Velocidad promedio en Filandia.
Fuente: Weather Spark (s. f.).

En adición, se tiene que, para un correcto uso de la energía eólica, se determinan las variables climáticas, variables de orografía y rugosidad superficial, pero aparte de esto, se debe conocer la distribución y uso que se le da a los diferentes tipos de suelo.

Por lo tanto, según CRQ, (2015). Filandia contiene una extensión en todo su territorio de 4012,31 ha, en suelos con pendientes mayores a 45°, lo cual equivale al 37,67% del área municipal. 266 predios del municipio (5,85%) poseen este tipo de pendientes. En su componente urbano están presentes en 39 predios (1,87% de los predios urbanos) y un área

aproximada de 2,14ha, lo que equivale al 2,75% del área urbana. El corregimiento de la India, no posee suelos con estas pendientes.

En la figura 10, se pueden observar los usos del suelo aptos para el Municipio de Filandia, estos se obtuvieron de acuerdo a las características geológicas de los suelos determinando la viabilidad y el tipo de actividad para este espacio determinado, además de su respectiva comparación con las clases agrológicas. Allí es posible encontrar el centro poblado en color rojo. Seguidamente, se encuentran las zonas aptas para cultivo extensivo, destacando entre ellas principalmente las clases V y VI donde predominan los pastizales y prados. Son suelos de topografía bastante homogénea, sin mayores declives y por tanto no erosionables, pero con ciertas características físicas que los hacen más apropiados para la vegetación permanente y para el desarrollo de actividades pecuarias.

Seguidamente se encuentran las zonas aptas para cultivo intensivo predominando las clases agrológicas de la I a la III allí se destaca principalmente actividad de aprovechamiento agrícola a gran escala gracias a que las características del suelo cuentan con moderada a alta fertilidad. Por último, se evidencia zonas de aprovechamiento forestal, protección e improductivas económicamente hablando, están entre las clases VII hasta la VIII los suelos que comprende esta clase presentan limitaciones severas que los hacen generalmente inapropiados para llevar a cabo, en forma normal, cultivos de carácter intensivo. Los problemas o deficiencias más importantes que presentan están vinculados estrechamente a condiciones edáficas como profundidad efectiva limitada, presencia de grava, fertilidad natural generalmente baja, y a características topográficas desfavorables y por consiguiente a susceptibilidad a la erosión.

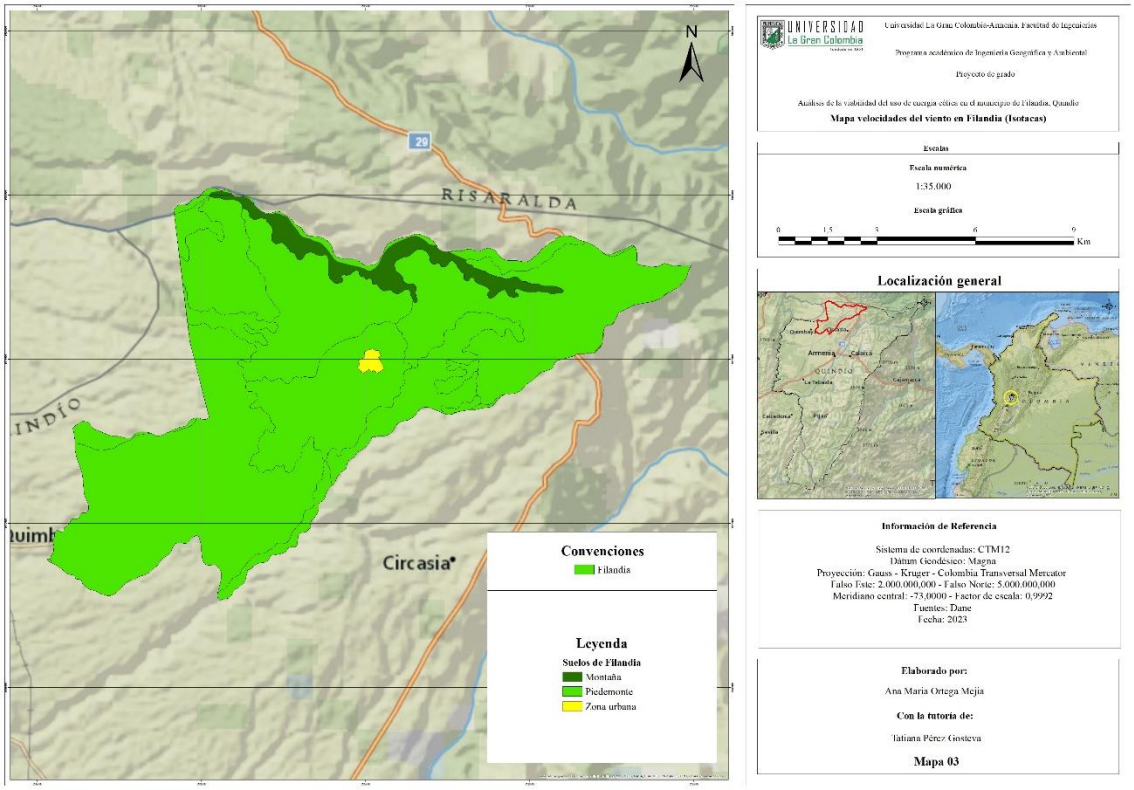


Figura 11. Mapa de la vocación de uso de acuerdo al tipo de suelo.
Fuente: Autores (2023).

Dadas las características identificadas, y la orografía del suelo, se tiene que Orografía del terreno se tiene que, según Estruga, (s. f.), “Los emplazamientos que podrían parecer adecuados para un proyecto de parque eólico, a veces no lo son tanto al ser áreas de difícil acceso o muy montañosas. Pero este inconveniente disminuye un poco al tener zonas puntuales con aerogeneradores de eje vertical. Se debe tener presente el tipo y modelo de aerogenerador, debido a las variables que se pueden presentar en el terreno, esto es importante porque al tener terrenos muy accidentados o con grandes coberturas vegetales, se presentan mayores inconvenientes en la instalación de aerogeneradores. Por todo eso, es necesario encontrar un lugar con una orografía suave para tener un acceso lo más fácil posible”. Adicional a esto se debe tener presente que los suelos de protección, no son un terreno viable para instalar aerogeneradores, por lo tanto, según las características del municipio, estos sistemas son viables en la zona urbana, teniendo presente la versatilidad de los aerogeneradores de eje vertical, adicional a esto las zonas de cultivos de café, plátano y algunos frutales tiene viabilidad para el

uso de aerogeneradores de eje vertical que mejorarían la capacidad productiva al tener un sistema energético que pueda apoyar el riego programado entre otras variables que requieran uso de energía eléctrica.

En adición, según Linderman (2023), para poder aprovechar la energía eólica es importante conocer las variaciones diurnas y nocturnas y estacionales de los vientos, además, identificar la variación de la velocidad del viento con la altura sobre el suelo, la entidad de las ráfagas en espacios de tiempo breves, y valores máximos ocurridos en series históricas de datos con una duración mínima de 20 años. Es por esto que se tiene presente el trabajo de Naranjo & Mosquera, (2018) donde se dan evidencias del aumento de la velocidad del viento en el departamento del Quindío y por ende en el municipio de Filandia, dado que en la estación Bremen–Filandia, se registraron incrementos en la velocidad máxima del viento, en los meses de febrero, marzo y abril, con pico en el mes de marzo. Adicional a esto, se debe tener presente el tipo de aerogenerador que se plantea para el modelo, dado que según las normas establecidas en Colombia por la UPME y otras entidades, no se tiene viabilidad al uso de parque eólicos, por el impacto ambiental, de territorio y otras variables presentes en el departamento del Quindío, además de su gran biodiversidad

Asimismo, Estruga, (2020), analiza que el rango de velocidad de viento es el principal factor a observar al planificar un proyecto con energía eólica. Se debe tener en cuenta la intensidad y la frecuencia de los vientos. Es necesario buscar áreas con velocidades de viento superiores a 4-6m/s durante al menos 2.200 horas por año, se puede aplicar al municipio de estudio puesto que Filandia cuenta con velocidades promedio de viento de más de 4,8 kilómetros por hora.

Finalmente, según la UPME el rango de las condiciones de temperatura para turbinas eólicas convencionales debe estar entre - 20°C a + 50° C, Filandia se encuentra dentro de ese rango de temperatura, así mismo, se denota que en la actualidad se tiene gran variedad de modelos de aerogeneradores que se pueden adaptar a diversas condiciones, Asociado a estas variables se

tiene que la humedad relativa del municipio es del 95%, y relativamente contante, es decir, varía, pero no abruptamente, por lo que no presenta variaciones y puede estar dentro del rango permitido.

A partir de la información obtenida, se puede denotar que en el municipio de Filandia, es viable el uso de aerogeneradores como soporte energético, dado que por sus condiciones no es una zona adecuada para instalar parques eólicos, estos debido a los usos de suelos, la diversidad e importancia ecológica entre otras variables.

Fase 3 Establecer el modelo apropiado para implementar proyectos de energía eólica, a partir de bases de datos climatológicas, en el municipio de Filandia.

En primera instancia se obtienen los datos a partir de las bases de datos de acceso abierto de la NASA, en donde se descargaron los datos para 5 puntos estratégicos, estos corresponden a las estaciones climáticas, pluviométricas y pluviográficas que se encuentran vinculadas con el municipio de Filandia, la temporalidad de los años es desde el 2002 hasta el 2021, para un total de 20 años, de esta forma, a continuación, se presenta la tabla donde se consignaron los datos:

Tabla 2. Datos de vientos durante 20 años para el municipio de Filandia.

ESTE	NORTE	AÑO	VIENTOS
-75,6042	4,6926	2002	4,555
-75,6042	4,6926	2003	4,303
-75,6042	4,6926	2004	4,591
-75,6042	4,6926	2005	4,373
-75,6667	4,6833	2006	4,393
-75,6667	4,6833	2007	4,378
-75,6667	4,6833	2008	4,309
-75,6667	4,6833	2009	3,920
-75,61	4,6667	2010	3,933
-75,61	4,6667	2011	3,734
-75,61	4,6667	2012	4,015
-75,61	4,6667	2013	4,088
-75,71	4,6333	2014	4,040
-75,71	4,6333	2015	4,435
-75,71	4,6333	2016	3,871

-75,71	4,6333	2017	3,763
-75,65	4,6335	2018	3,843
-75,65	4,6335	2019	4,017
-75,65	4,6335	2020	3,993
-75,65	4,6335	2021	4,004

Fuente: Autores (2023).

Cabe resaltar, que los datos de la velocidad se encuentran en m/s. Adicional a esto, se tiene que a partir de la información consignada en la tabla y en el mapa de la figura 11, se observan los datos de vientos, asimismo, en cuanto al proceso para la obtención de lo que se consigna en el mapa, a continuación, se describe detalladamente el proceso empleado para su realización:

- Se cargan los datos de los puntos que se tenían en excel y se procede a exportarlos como una capa, luego se les cambia el sistema de coordenadas empleando la caja de herramientas o ArcToolbox, de la siguiente manera: Data Management Tools → Projections and Transformations → Project, esto es con el fin de se proyecte al origen de coordenadas seleccionado, debido a que estos datos se encontraban en Origen de WGS 1984.
- Posterior a esto, para obtener la parte del raster a partir del que se generaran las isolíneas, se procede a realizar lo siguiente: Spatial Analyst Tools → Interpolation → IDW.
- Luego con el raster obtenido, se procede a la generación de las isolíneas de la siguiente forma: Spatial Analyst Tools → Surface → Contour.
- De manera consecutiva, se procede a cortar el raster generado por medio del geoprocesamiento de clip o extraer por mascara para la zona requerida, que en este caso es el municipio de Filandia-Quindío, la ruta para encontrar estas herramientas es: Spatial Analyst Tools → Extraction → Extract by Mask y Data Management Tools → Raster → Raster Processing → Clip.
- Adicionalmente a lo anterior, se procede a cortar el Shapefile de las isolíneas para la zona del municipio por medio del geoprocesamiento de clip.

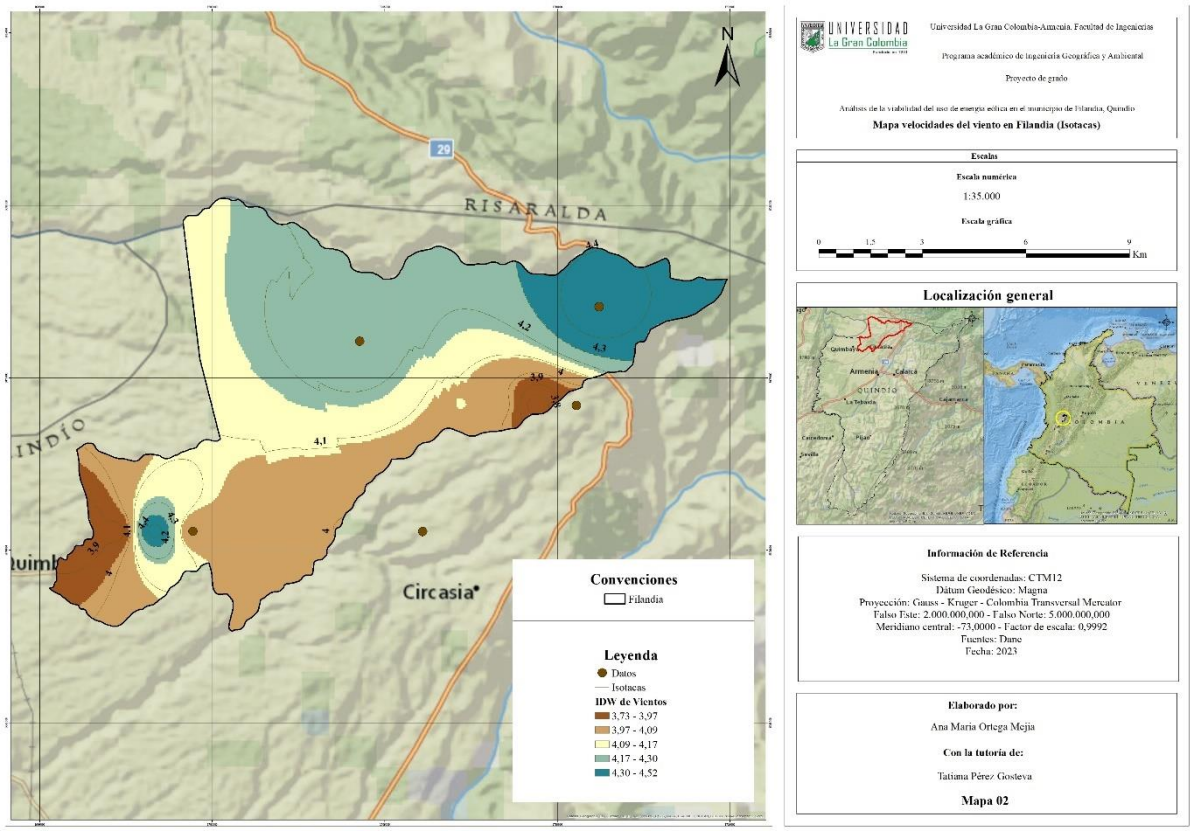


Figura 12. Mapa de velocidades de los vientos y las Isotacas en Filandia.
Fuente: Autores (2023).

Partiendo de la información recopilada en el mapa anterior, se observa que las isolineas que para este caso son las isotacas, en conjunto con los rangos de color observados gracias al proceso obtenido en el IDW, indican variaciones de las velocidades del viento entre los 3,73 o 3,70 y los 4,52 o 4,6 m/s, en cuanto a la distribución de los colores, se presenta que los rangos de color café claro y oscuro son los menores valores concentrados entre los 3,7 y los 3,9 m/s, por otro lado los colores azul claro y oscuro se relacionan con los mayores rangos entre los 4,2 y los 4,5 m/s.

Dado lo anterior, se tiene que, para la instalación de aerogeneradores, según el Ministerio de minas y energía (UPME), en el factor climático se debe tener en cuenta que la temperatura ambiente para este tipo de sistemas energéticos debe estar en el rango de -10°C a +40°C, de igual manera la variable de humedad relativa debe ser de 95% aproximadamente, la radiación solar de 1000 W/m^2, y la densidad del aire de 1,225 kg/m^3.

Finalmente, después de analizar algunos prototipos de empresas que trabajan con aerogeneradores de eje vertical, se proponen algunos modelos como los que indican.

Retomando los modelos de entidades como ICEWIND, como se observa en la figura 12



Figura 13. Turbina ICEWIND.
Fuente: ICEWIND (s. f.)

Debido a las características de este modelo se presenta una posibilidad a nivel residencial. Se propone este tipo de sistema debido a que las cuchillas del CW100, estas son curvas en el interior y en el exterior rectas, tiene una masa de 65kg, lo que ayuda a mitigar el impacto por la presión del viento, evitando accidentes como ocurre con aerogeneradores de torres altas. Adicional a esto, este modelo tiene una altura de 1,5 m, puede estar en plataformas para mayor altura o a nivel del suelo, es un sistema con un nivel de ruido inferior a 30dB, con capacidad de soportar vientos superiores a 20m/s y con un diseño omnidireccional, es decir, que no debe estar de cara al viento para producir energía. Adicional a esto el modelo no es un peligro para las aves debido a su diseño y los materiales que lo componen.

Otro posible diseño que se propone es el relacionado con la empresa HALCIUM, denominado PowerPod, este modelo no tiene partes móviles externas y el flujo de aire ingresa por las rendijas hasta una pala circular interior que le permite incrementar su potencial en un 40%. El modelo se observa en la figura



Figura 14. Turbina PowerPod
Fuente: Halcium (s. f.)

Finalmente, cabe resaltar la importancia de mantener un equilibrio entre la tecnología y el territorio, además de las variables climáticas y ambientales, con el fin de llevar a cabo procesos que permitan disminuir el impacto negativo del cambio climático

Conclusiones

Partiendo de los datos obtenidos para los objetivos específicos planteados, se observa que en torno al primer objetivo específico, se presenta que para poder establecer e implementar las energías renovables es importante tener en cuenta las condiciones de la zona y el territorio, como por ejemplo la orografía, la velocidad del viento y la velocidad, debido a que es muy importante conocer como interactúa la velocidad del viento con la rugosidad de la zona, con lo que se logran establecer los modelos adecuados para una zona determinada.

En cuanto al objetivo dos, se observa la amplia necesidad de que en todos los procesos de energías renovables y de proyectos que se realicen, se tengan en cuenta las variables climáticas y como estas interactúan con las diferentes condiciones y necesidades actuales en términos de la comunidad, de las necesidades económicas y ambientales, al igual que otros factores relacionados, con lo que se permite una mejor planeación y ordenamiento del territorio, por otra parte, se vincula el objetivo tres del presente proyecto, debido a que por medio de herramientas geográficas se obtuvo el mapa de vientos para el municipio de Filandia donde se indican variaciones en los rangos de velocidad entre los 3,8 m/s y 4,5 m/s, de tal forma que se puede considerar que el municipio sirve como prueba piloto para la obtención de energía eólica, y además haciendo uso de los modelos ya existentes, se puede partir para la elaboración de procesos semejantes y adaptarlos a los diferentes municipios y departamentos del territorio colombiano.

Por otra parte, desde el perfil profesional de la Ingeniería Geográfica y Ambiental se deben implementar alternativas donde se busque un equilibrio entre el desarrollo y las necesidades ambientales, donde se debe tener en cuenta la sobreexplotación de los recursos naturales, generando alternativas para mitigar estos impactos negativos, para así tener una mejor planificación de los territorios y el medio ambiente, es por ello que se realiza este proyecto con la finalidad de buscar alternativas diferentes para producir energía eléctrica fuera de las convencionales, por consiguiente se evaluó la exploración de energía eólica para el municipio de Filandia ubicado en el departamento del Quindío, debido a que este tipo de energía es una fuente de electricidad limpia, proveniente de fuentes naturales como lo es el viento y fácilmente se puede adaptar geográficamente a cualquier región.

Impactos

Impacto ambiental

Por la parte ambiental se observa que a pesar de que la implementación de energía eólica puede generar repercusiones sobre la fauna y flora, al igual que sobre algunas dinámicas culturales, sin embargo, se tienen múltiples testimonios y evidencias que demuestran que la energía eólica, al igual que las energías renovables en general, presentan y traen una cantidad de impactos positivos y mejoras que minimizan las posibles alteraciones negativas, siendo mejores en casi todos los aspectos, por lo que en términos ambientales, son una solución efectiva para las problemáticas vinculadas con el cambio climático, al igual que con otras afectaciones asociadas con las actividades antrópicas.

Impacto ético

Con el proyecto que se está realizando se quiere enfatizar la importancia y el respeto que se debe tener con los ecosistemas y los recursos naturales, puesto que el desarrollo de los países, ciudades y municipios se debe dar siempre y cuando se tenga un equilibrio donde se retribuyan las condiciones ambientales que inicialmente se encuentran, es decir, que si se crea el proyecto de energía eólica se va a buscar armonía entre los seres humanos, los recursos naturales y los seres vivos que habitan en dicho lugar. Además, se debe hacer con ayuda de las diferentes instituciones como gobernación, alcaldías, la corporación autónoma regional del Quindío, y todas las entidades que quieran hacer parte del proyecto.

Impacto social y económico

La implementación de energía eólica en el municipio de Filandia, Quindío se traduciría en un ahorro significativo para los hogares, sobre todo para los que cuentan con menos dinero que podrían ahorrar en términos relativos, hasta un 3,9% de sus ingresos. Esto beneficiaria en gran

manera a la población del municipio de Filandia, debido a que continuamente se les han incrementado los servicios públicos, y este proyecto podría ser una fuente de apoyo energético que permite mayor acceso a los hogares, asimismo mientras está en construcción podría generar empleo, con lo que se mejora la calidad de vida de las comunidades beneficiadas. Al finalizar la ubicación de los aerogeneradores, se tiene una fuente de empleo para los técnicos encargados de las revisiones y los mantenimientos

Por otra parte, según el informe de sostenibilidad, (KPG) la energía eólica podría evitar 11 millones de toneladas de CO_2 en 2030. Otros beneficios destacables para 2030 son el ahorro de hasta 142 millones de m^3 de agua, la prevención de hasta 2.200 muertes prematuras y un ahorro en costos relacionados con la salud de aproximadamente el 0,2% del PIB.

Recomendaciones

Se recomienda imponer nuevos retos y lecciones para el desarrollo de la energía eólica, no solo en el municipio de Filandia sino en el Quindío, dando a conocer su viabilidad y beneficios frente a otros campos que poseen transversalidad. En cuanto a la problemática ambiental que vive el mundo la generación de energía a partir de la velocidad de los vientos puede ser un apoyo factible, y es posible alternar la energía fósil con las energías renovables, con el objetivo principal de ir haciendo la transición total a energías renovables en todo el país.

Referencias bibliográficas

- Arias, F. (2012). El proyecto de investigación. 6° edición. Editorial Episteme.
- Barliza Núñez, G., Barliza Núñez, R., & Kammerer David, M. (2019). Tendencia tecnológica de la energía eólica: resultado de una investigación.
- Barrera,C. (2018). "Energías renovables, un desafío para Colombia". *Revista credencial*, Colombia.
- Benavides et al, (s.f). *Estimación del potencial de energía eólica en una ubicación urbana del noroccidente de la ciudad de Medellín.* Recuperado de: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/31967873/Libro_Join_2011.120-132-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1649306998&Signature=GRub~Ma2oHuyChYnasRc9JOmDdtWaY1UwDkr0UC3-Nf1GoA0rxt1NeoNfy~jcPFGY6GEwmvhWheFbyx4f-jHIcZ0kwYx7xxoGcIXr1W5OZvV6XkHImLhOTKzYXWHowMvQ-1~xxoZlsoGlpftsCKoUOiRBJ8FTdo~8eeOoACIRvHbjyCueMcEsGbqhV0xvc81WGkWC2IqTkKJZeCr8Pw71SJkpdjMJxxTySocMOVf3grT5pfPrSp4yeuGEeMtp9CQJ7OxvogOmK4RAqQmSuZ9OimW8kCjMHj4PVzj9IueFTltO-F8xl5Mv42M7T2yqQQrk0wBoMJV2QnU11zv5kiNNA__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA
- B.J. Ruiz, V. Rodríguez-Padilla, Renewable energy sources in the Colombian energy policy, analysis and perspectives, Energy Policy, Volume 34, Issue 18, 2006, Pages 3684-3690, ISSN 0301-4215, https://doi.org/10.1016/j.enpol.2005.08.007. (https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421505002120)
- Cámara de Comercio, (2020) "Cámara de Comercio entabla diálogo con la Alcaldía de Filandia para fortalecer la reactivación", tomado de: https://camaraarmenia.org.co/noticias-empresarial/camara-de-comercio-entabla-dialogo-con-la-alcaldia-de-filandia-para-fortalecer-la-reactivacion
- Chaparro, (2017). *IDENTIFICACIÓN DEL LUGAR ÓPTIMO DE INSTALACIÓN DE UN PARQUE EÓLICO EN EL DEPARTAMENTO DEL ATLÁNTICO*. Recuperado de:

https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/bitstream/handle/20.500.12746/3224/Obando_Maria_2017.pdf?sequence=1

- DANE, (s.f). *Conceptos Básicos.* Recuperado de. https://www.dane.gov.co/files/inf_geo/4Ge_ConceptosBasicos.pdf
- Deloitte.(s.f). *Tendencias globales de la energía eólica.* Recuperado de: https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/es/Documents/energia/Deloitte-ES-tendencias-globales-energias-renovables.pdf /
- Díaz, M. A. R. B. (2013). Energía eólica. *Boletín IIE*, *37*(2), 54-57.
- DODERO, J. B., & GARCIA FERNANDEZ, M. A. R. I. A. (2012). *Generador eólico de baja potencia* (Doctoral dissertation, Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo-Universidad de Buenos Aires).
- Enrique Leff, «Racionalidad ambiental y diálogo de saberes», *Polis* [En línea], 7 | 2004, Publicado el 10 septiembre 2012, consultado el 29 marzo 2022. URL: http://journals.openedition.org/polis/6232.
- Eraso-Checa, F., Escobar-Rosero, E., Paz, D.F., y Morales, C. (2018). Metodología para la determinación de características del viento y evaluación del potencial de energía eólica en Túquerres-Nariño. Revista Científica, 31(1), 19-31. Doi: https://doi.org/10.14483/23448350.12304
- Estruga, (2020). Diseño de proyectos de energía eólica. Tomado de: https://www.ealde.es/proyecto-parque-eolico/
- Gabriele Carvajal-Romo, Mateo Valderrama-Mendoza, Daniella Rodríguez-Urrego, Leonardo Rodríguez-Urrego, Assessment of solar and wind energy potential in La Guajira, Colombia: Current status, and future prospects, Sustainable Energy Technologies and Assessments, Volume 36,2019, 100531, ISSN 2213-1388, https://doi.org/10.1016/j.seta.2019.100531.(https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213138819300992)

- García Hernández, Luis Salvador, 2008, “Desarrollo sostenible y energía eólica en la región de La Rumorosa, Municipio de Tecate Un análisis multicriterio”, Tesis de Maestría en Administración Integral del Ambiente, El Colegio de la Frontera Norte, A.C, Tijuana, México, pp. 91.
- Gil Ruiz, S. A., Barriga, J. E. C., & Martínez, J. A. (2021). Wind power assessment in the Caribbean region of Colombia, using ten-minute wind observations and ERA5 data. Renewable Energy, 172, 158-176. doi:10.1016/j.renene.2021.03.033
- Global Climate Change: Evidence. (2008, June 15). Retrieved January 14, 2015, from http://climate.nasa.gov/evidence/.
- Guerrero Hoyos, Benito Gustavo; Vélez Macías, Fabio de Jesús & Morales Quintero, Diana Elizabeth (2019). Energía eólica y territorio: sistemas de información geográfica y métodos de decisión multicriterio en La Guajira (Colombia). Ambiente y Desarrollo, 23(44).
- Guerrero Hoyos, B. G., Vélez Macías, F. de J., & Morales Quintero, D. E. (2020). Energía eólica y territorio: sistemas de información geográfica y métodos de decisión multicriterio en La Guajira (Colombia). *Ambiente Y Desarrollo*, *23*(44). https://doi.org/10.11144/Javeriana.ayd23-44.eets
- Guillot Fula, J., & Viloria, A. (2015). Estudio Sobre el Abastecimiento Constante de Energía Eólica. *Investigación E Innovación En Ingenierías*, *3*(2). https://doi.org/10.17081/invinno.3.2.2028.
- Halcium Energy Inc. (s. f). PowerPod. Energía eólica innovadora y segura. Recuperado de: https://www.halcium.com/
- Hernández- Montero, Fidel Ernesto, & Ruiz -Barrios, Mario Luis, & de -Miguel, Luis Javier, & Rodríguez -Suárez, Juan Raúl, & Rolo -Naranjo, Alberto, & N.Y. -Gerges, Samir (2011). Sistema de bajo costo para el monitoreo por condición a aplicar en parques eólicos. *Ingeniería Energética*, *XXXII*(1),62-71.[fecha de Consulta 22 de Febrero de 2022]. ISSN: . Disponible en: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=329127746008
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C. Baptista Lucio, P. (2014). Metodología de la investigación. 6° edición. McGraw Hill.
- ICEWIND. (2022). IceWind, las mini-turbinas eólicas de eje vertical nacidas de los locos vientos islandeses. Recuperado de: https://ecoinventos.com/icewind/

- IDEAM, (s.f). ATLAS IDEAM. Tomado de: http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/VelocidaddelViento_texto.pdf.
- Linderman E.G. (2023). ¿Qué es la Energía Eólica? Centro de investigación en recursos energéticos y sustentables. Universidad Veracruzana. https://www.uv.mx/coatza/cires/main/keeseolica/#:~:text=Para%20poder%20aprovechar%20la%20energ%C3%ADa,hist%C3%B3ricas%20de%20datos%20con%20una

- Livas-García Adrián, Análisis de insumo-producto de energía y observaciones sobre el desarrollo sustentable, caso mexicano 1970-2010, Ingeniería, Investigación y Tecnología, Volume 16, Issue 2, 2015, Pages 239-251, ISSN 1405-7743, https://doi.org/10.1016/j.riit.2015.03.008.(https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1405774315000098).
- Maya Ochoa, C., Hernández Betancur, J. D., & Gallego Múnera, Ó. M. (2012). La valoración de proyectos de energía eólica en Colombia bajo el enfoque de opciones reales. Cuadernos de administracion, 25(44), 193–231. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-35922012000100009
- OchoaMuñoz-Sarria, I. F., & Bueno-López, M. (2022). Metodología para la selección de tecnologías en proyectos de energización rural. Revista UIS Ingenierías, 21(3), 85–100. https://doi.org/10.18273/revuin.v21n3-2022008.
- Moreno Cortés, P. A. (2013). Energía eólica: ventajas y desventajas de su utilización en Colombia.
- Nino, L. B., dos Anjos, F. S., & Estrada, E. M. (2022). Winds of change and rural multifunctionality: Study on social representations of farmers in the extreme south of brazil. [Ventos da mudança e multifuncionalidade rural: Estudo sobre representações sociais de agricultores no extremo sul do Brasil] *Revista De Economia e Sociologia Rural*, *60*(3), 1-18. Doi:10.1590/1806-9479.2021.238489.
- Ortega, A. O. (2018). Enfoques de investigación. *Extraído de https://www. researchgate. net/profile/Alfredo_Otero_Ortega/publication/326905435_*

ENFOQUES_DE_INVESTIGACION_TABLA_DE_CONTENIDO_Contenido/links/5b6b7f9992851ca650526dfd/ENFOQUES-DE-INVESTIGACION-TABLA-DECONTENIDO-Contenido. pdf el, 14.

- Palacios, Á. G. P., Rodríguez, S. A. I., Fuentes, E. D. V., Quinto, V. M. C., Párraga, N. L. M., & Gavilanes, F. E. Z. (2019). Producción de energía eólica en Ecuador. *Ciencia Digital*, *3*(3), 22-32.
- Pryor, SC, Barthelmie, RJ Una evaluación global de velocidades extremas del viento para aplicaciones de energía eólica. *Energía nacional* 6, 268–276 (2021). https://doi-org.bibliodigital.ugc.edu.co/10.1038/s41560-020-00773-7.
- Redacción Dinero (2018, septiembre 04). "Colombia da sus primeros pasos para implementar energías renovables". *Revista dinero,* Colombia.
- Salina, (s.f). *Desarrollo de la energía eólica en Colombia*. Recuperado de: https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/11070/VillabonaSalinasMariaFernanda2012.pdf?sequence=3
- Samaniego, G. (2022). Enfoque, tipo, diseño y métodos de investigación. Recuperado de: https://miasesordetesis.com/enfoque-tipo-diseno-metodo-de-investigacion/#Tipo_nivel_o_alcance
- Servicios integrados, (2016). "Elaboración de requisitos técnicos y recomendaciones regulatorias para la incorporación de la Generación Eólica al Sistema Interconectado Nacional en Colombia". Tomado de: https://www1.upme.gov.co/Documents/Informe_Final_Generacion_Eolica.pdf
- Schuldt, J. (2017). *Desarrollo a escala humana y de la naturaleza*. Universidad del Pacífico.
- Semana, (2015). *El costo de la energia Eolica*, Recuperado de: https://www.semana.com/pais/articulo/el-costo-energia-eolica/209799/
- Upme, (2019). *Primer Balance de Energía Útil para Colombia y Cuantificación de las Pérdidas Energéticas Relacionadas y la Brecha de Eficiencia Energética.* Recuperado de: https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/Balance_energia_util/BEU-Residencial.pdf

- Villamarín Guerrero, LF, Mayorga Betancourt, MA, Amaris Mendoza, MC, Martínez, MH, Sánchez Tachack, DR (2017). Evaluación del Potencial Eólico Microlocal para la Operación de un Aerogenerador Universitario. *Tecciencia* , *12* (23), 1–8. https://doi-org.bibliodigital.ugc.edu.co/10.18180/tecciencia.2017.23.1
- Wang, Z., Liu, W. Evaluación del potencial de energía eólica basada en la velocidad del viento, su dirección y datos de potencia. Informe científico 11, *16879* (2021). https://doi-org.bibliodigital.ugc.edu.co/10.1038/s41598-021-96376-7.
- Weather spark. (s. f) El clima y el tiempo promedio en todo el año en Filandia. Recuperado de: https://es.weatherspark.com/y/22441/Clima-promedio-en-Filandia-Colombia-durante-todo-el-a%C3%B1o#google_vignette
- Zeng, P., Sun, X. & Farnham, DJ Modelos estadísticos hábiles para predecir la velocidad del viento estacional y la radiación solar en un estudio de caso del estuario del río Yangtze. *Informe científico* 10, 8597 (2020). https://doi-org.bibliodigital.ugc.edu.co/10.1038/s41598-020-65281-w.