

**GUÍA COMPARATIVA DE TECNOLOGÍAS DE GENERACIÓN DE ENERGÍA
ELÉCTRICA RENOVABLE PARA EL NORDESTE ANTIOQUEÑO**

SEBASTIAN CAMILO HURTADO SALDARRIAGA

**INSTITUCIÓN UNIVERSIARIA PASCUAL BRAVO
FACULTAD DE INGENIERÍA
TECNOLOGÍA EN SUPERVISIÓN DE SISTEMAS DE GENERACIÓN Y
DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA
MEDELLÍN
2024**

**GUÍA COMPARATIVA DE TECNOLOGÍAS DE GENERACIÓN DE ENERGÍA
ELÉCTRICA RENOVABLE PARA EL NORDESTE ANTIOQUEÑO**

SEBASTIAN CAMILO HURTADO SALDARRIAGA

**Trabajo de grado para optar al título de Tecnólogo en Supervisión de Sistemas de
Generación y Distribución de Energía Eléctrica.**

Asesor técnico

Carlos Alberto Ocampo Quintero

Magíster en ingeniería con énfasis en ingeniería de sistemas

Asesor metodológico

Jauder Alexander Ocampo Toro

Magíster en Gestión energética industrial

INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO

FACULTAD DE INGENIERÍA

TECNOLOGÍA EN SUPERVISIÓN DE SISTEMAS DE GENERACIÓN Y

DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

MEDELLÍN

2024

Contenido

Pág.

Glosario	6
Introducción	8
1. Planteamiento del problema	9
1.1 Descripción	9
1.2 Formulación	10
2. Justificación	11
3. Objetivos	13
3.1 Objetivo general	13
3.2 Objetivos específicos	13
4. Referentes teóricos	14
4.1 Análisis del potencial y seguridad energética en la diversificación de fuentes renovables	14
4.2 Análisis integral de viabilidad y sostenibilidad en proyectos de energía renovable	15
4.3 Estrategias de implementación y conocimiento tecnológico en energía renovable	16
4.3.1 estrategias de implementación	16
4.3.2 Conocimiento tecnológico	16
4.4 Evaluación del potencial y análisis de viabilidad en energía renovable	17
4.4.1 Evaluación del potencial	17
4.4.2 Análisis de viabilidad técnica y económica	17
4.5 Diseño de sistemas integrados y conocimiento del contexto regional	17
4.5.1 Diseño de sistemas integrados	17
4.5.2 Conocimiento del contexto regional	17
4.6 Identificación del potencial de energía renovable y evaluación de factores económicos y financieros	18
5. Metodología	19
5.1 Tipo de proyecto	19
5.2 Método	19
5.3 Población y muestra	20
5.4 Instrumentos de la recolección de la información	21

5.4.1 Fuentes primarias	21
5.4.2 Fuentes secundarias	21
6. Resultados de la propuesta	23
6.1 Energía solar	23
6.1.1 Energía solar en Remedios	24
6.1.2 Energía solar en Segovia	26
6.1.3 Energía solar en Amalfi.....	28
6.1.4 Energía solar en Anorí.....	29
6.1.5 Energía solar en Cisneros	31
6.1.6 Energía solar en San Roque.....	32
6.1.7 Energía solar en Santo Domingo.....	34
6.1.8 Energía solar en Vegachí.....	35
6.1.9 Energía solar en Yalí	37
6.1.10 Energía solar en Yolombó.....	38
6.2 Energía eólica	40
6.2.1 Energía eólica en Remedios	42
6.2.2 Energía eólica en Segovia	44
6.2.3 Energía eólica en Amalfi	46
6.2.4 Energía eólica en Anorí.....	48
6.2.5 Energía eólica en Cisneros	50
6.2.6 Energía eólica en San Roque.....	52
6.2.7 Energía eólica en Santo Domingo	54
6.2.8 Energía eólica en Vegachí.....	56
6.2.9 Energía eólica en Yalí	58
6.2.10 Energía eólica en Yolombó	60
6.3 Energía hidroeléctrica.....	62
6.3.1 Energía hidráulica en Remedios.....	63
6.4 Biomasa.....	69
6.5 Aspectos a tener en cuenta en un proyecto de generación de energía renovable en el nordeste antioqueño.....	70
6.6 Impacto socio ambiental.....	74

7.	Conclusiones.....	77
8.	Recomendaciones	78
9.	Referencias bibliográficas	79

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1. Producción respecto a la media de Remedios Antioquia	26
Figura 2. Producción respecto a la media de Segovia Antioquia	27
Figura 3. Producción respecto a la media de Amalfi Antioquia	29
Figura 4. Producción respecto a la media de Anorí Antioquia	30
Figura 5. Producción respecto a la media de Cisneros Antioquia	32
Figura 6. Producción respecto a la media de San Roque Antioquia.....	33
Figura 7. Producción respecto a la media de Santo Domingo Antioquia	35
Figura 8. Producción respecto a la media de Vegachí Antioquia	36
Figura 9. Producción respecto a la media de Yalí Antioquia	38
Figura 10. Producción respecto a la media de Yolombó Antioquia	39
Figura 11. Variabilidad en 10 km a la redonda del municipio de Remedios Antioquia.....	42
Figura 12. Variación estacional del municipio de Remedios Antioquia	43
Figura 13. Distribución de frecuencias del municipio de Remedios Antioquia	43
Figura 14. Variabilidad en 10 km a la redonda del municipio de Segovia Antioquia.....	44
Figura 15. Variación estacional del municipio de Segovia Antioquia.....	45
Figura 16. Distribución de frecuencias del municipio de Segovia Antioquia	45
Figura 17. Variación estacional del municipio de Amalfi Antioquia	46
Figura 18. Distribución de frecuencias del municipio de Amalfi Antioquia.....	47
Figura 19. Variación estacional del municipio de Segovia Antioquia.....	47
Figura 20. Variabilidad en 10 km a la redonda del municipio de Anorí Antioquia	48
Figura 21. Variación estacional del municipio de Anorí Antioquia	49
Figura 22. Distribución de frecuencias del municipio de Anorí Antioquia.....	49
Figura 23. Variabilidad en 10 km a la redonda del municipio de Cisneros Antioquia.....	50
Figura 24. Variación estacional del municipio de Cisneros Antioquia	51
Figura 25. Distribución de frecuencias del municipio de Cisneros Antioquia	51
Figura 26. Variabilidad en 10 km a la redonda del municipio de San Roque Antioquia	52
Figura 27. Variación estacional del municipio de San Roque Antioquia	53
Figura 28. Distribución de frecuencias del municipio de San Roque Antioquia.....	53
Figura 29. Variabilidad en 10 km a la redonda del municipio de Santo Domingo Antioquia.....	54

Figura 30. Variación estacional del municipio de Santo Domingo Antioquia	55
Figura 31. Distribución de frecuencias del municipio de Santo Domingo Antioquia	55
Figura 32. Variabilidad en 10 km a la redonda del municipio de Vegachí Antioquia	56
Figura 33. Variación estacional del municipio de Vegachí Antioquia	57
Figura 34. Distribución de frecuencias del municipio de Vegachí Antioquia.....	57
Figura 35. Variabilidad en 10 km a la redonda del municipio de Yalí Antioquia.....	58
Figura 36. Variación estacional del municipio de Yalí Antioquia.....	59
Figura 37. Distribución de frecuencias del municipio de Yalí Antioquia	59
Figura 38. Variabilidad en 10 km a la redonda del municipio de Yolombó Antioquia.....	60
Figura 39. Variación estacional del municipio de Yolombó Antioquia	61
Figura 40. Distribución de frecuencias del municipio de Yolombó Antioquia	61

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Estimación de producción solar de Remedios Antioquia	25
Tabla 2. Estimación de producción solar de Segovia Antioquia	27
Tabla 3. Estimación de producción solar de Amalfi Antioquia.....	28
Tabla 4. Estimación de producción solar de Anorí Antioquia.....	30
Tabla 5. Estimación de producción solar de Cisneros Antioquia	31
Tabla 6. Estimación de producción solar de San Roque Antioquia.....	33
Tabla 7. Estimación de producción solar de Santo Domingo Antioquia.....	34
Tabla 8. Estimación de producción solar de Vegachí Antioquia.....	36
Tabla 9. Estimación de producción solar de Yalí Antioquia	37
Tabla 10. Estimación de producción solar de Yolombó Antioquia	39
Tabla 11. Producción eólica en kWh de Remedios Antioquia	42
Tabla 12. Producción eólica en kWh de Segovia Antioquia	44
Tabla 13. Producción eólica en kWh de Amalfi Antioquia	46
Tabla 14. Producción eólica en kWh de Anorí Antioquia	48
Tabla 15. Producción eólica en kWh de Cisneros Antioquia	50
Tabla 16. Producción eólica en kWh de San Roque Antioquia.....	52
Tabla 17. Producción eólica en kWh de Santo Domingo Antioquia	54
Tabla 18. Producción eólica en kWh de Vegachí Antioquia	56
Tabla 19. Producción eólica en kWh de Yalí Antioquia	58
Tabla 20. Producción eólica en kWh de Yolombó Antioquia	60
Tabla 21. Fuentes hídricas caracterizadas del municipio de Remedios Antioquia.....	64
Tabla 22. Fuente hídrica La Culebra.....	65
Tabla 23. Fuente hídrica La Estrella	67

Resumen

GUÍA COMPARATIVA DE TECNOLOGÍAS DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA RENOVABLE PARA EL NORDESTE ANTIOQUEÑO

SEBASTIAN CAMILO HURTADO SALDARRIAGA

La "Guía comparativa de tecnologías de generación de energía eléctrica renovable para el nordeste antioqueño" es un recurso integral que examina las opciones disponibles para el desarrollo de energía renovable en esta región colombiana. El documento explora una variedad de tecnologías, incluyendo solar, eólica, hidroeléctrica y biomasa, evaluando sus ventajas, desventajas y aplicaciones potenciales en el contexto específico del nordeste antioqueño. Se destaca la importancia de considerar factores como la disponibilidad de recursos naturales, las características geográficas y climáticas, así como las necesidades energéticas locales al seleccionar la tecnología más adecuada. La guía ofrece criterios claros para evaluar la viabilidad de cada tecnología, facilitando la toma de decisiones informadas por parte de los planificadores y responsables políticos. Además, se enfatiza en la necesidad de un enfoque integrado y sostenible para el desarrollo energético, que tome en cuenta tanto los aspectos técnicos como socioeconómicos y medioambientales. En resumen, esta guía proporciona una herramienta invaluable para avanzar hacia un futuro energético más sostenible y resilientes en el nordeste antioqueño.

Palabras clave: Generación energía eléctrica, Energía renovable, Nordeste antioqueño

Abstract

COMPARATIVE GUIDE OF RENEWABLE ENERGY GENERATION TECHNOLOGIES FOR THE NORTHEASTERN ANTIOQUIA

SEBASTIAN CAMILO HURTADO SALDARRIAGA

The "Comparative guide to renewable electricity generation technologies for northeast Antioquia" is a comprehensive resource that examines the available options for renewable energy development in this Colombian region. The document explores a variety of technologies, including solar, wind, hydroelectric, and biomass, evaluating their advantages, disadvantages, and potential applications in the specific context of northeast Antioquia. The importance of considering factors such as the availability of natural resources, geographic and climatic characteristics, as well as local energy needs when selecting the most suitable technology is highlighted. The guide provides clear criteria for evaluating the viability of each technology, facilitating informed decision-making by planners and policymakers. Additionally, emphasis is placed on the need for an integrated and sustainable approach to energy development, considering technical, socioeconomic, and environmental aspects. In summary, this guide provides an invaluable tool for advancing towards a more sustainable and resilient energy future in northeast Antioquia.

Keywords: Electricity Generation, Renewable Energy, Northeastern Antioquia.

Glosario

Aplicaciones potenciales: Posibles usos o implementaciones de algo en un contexto específico.

Características geográficas y climáticas: Aspectos relacionados con la topografía, el clima y otros elementos físicos de un área específica.

Enfoque integrado y sostenible: Estrategia que considera múltiples aspectos y busca mantener un equilibrio entre ellos para lograr un desarrollo duradero.

GHI: Índice de Radiación Solar Global (GHI, por sus siglas en inglés), se refiere a una medida de la cantidad de radiación solar recibida en una superficie horizontal durante un período de tiempo específico, generalmente expresada en kilovatios-hora por metro cuadrado por día (kWh/m²/día). Este índice es importante en el campo de la energía solar para evaluar el potencial de generación de energía solar en una determinada ubicación.

Necesidades energéticas locales: Requerimientos de energía de una comunidad o región específica.

Nordeste Antioqueño: Región específica ubicada en Antioquia, Colombia, caracterizada por sus particularidades geográficas, climáticas y sociales.

Planificadores y responsables políticos: Personas encargadas de diseñar y ejecutar políticas y planes de desarrollo.

Recursos naturales: Materiales o elementos presentes en la naturaleza que se pueden utilizar para satisfacer las necesidades humanas, como agua, aire, suelo, minerales, etc.

Renovable: Que puede ser renovado o regenerado naturalmente en un período de tiempo relativamente corto, en contraste con los recursos no renovables, como los combustibles fósiles.

Resilientes: Capaces de recuperarse o adaptarse a cambios o desafíos.

Socioeconómicos: Aspectos que involucran tanto a la sociedad como a la economía.

Tecnología más adecuada: La opción más apropiada o conveniente en un determinado contexto o en realidad.

Tecnologías de generación de energía eléctrica renovable: Se refiere a los métodos o sistemas utilizados para producir electricidad a partir de fuentes renovables, es decir, que se pueden regenerar naturalmente, como la energía solar, eólica, hidroeléctrica y biomasa.

Viabilidad: Capacidad de ser llevado a cabo con éxito.

Introducción

El Nordeste Antioqueño, reconocido por su riqueza natural y diversidad geográfica, emerge como un territorio prometedor para el desarrollo de proyectos de generación de energía eléctrica renovable (Herrera & Osorio, 2017; Sánchez & García, 2019). En un contexto mundial donde la transición hacia fuentes de energía más limpias y sostenibles es una prioridad, esta región de Antioquia presenta un potencial significativo para contribuir a la matriz energética del país de manera más sostenible y respetuosa con el medio ambiente (ONU Medio Ambiente, 2018; Gobernación de Antioquia, 2019).

En este contexto, el presente estudio tiene como objetivo principal explorar y analizar los potenciales desarrollos de generación de energía eléctrica renovable en el Nordeste Antioqueño. Para alcanzar este objetivo, se abordarán tres aspectos fundamentales:

Se realizará un análisis exhaustivo de los recursos naturales disponibles en la región, incluyendo la radiación solar, el viento, la biomasa y el potencial hidroeléctrico. Se buscará identificar las zonas con mayor potencial energético y evaluar su viabilidad para la implementación de proyectos de energía renovable (UPME,2015).

Una vez identificados los recursos naturales disponibles, se procederá a caracterizar las tecnologías y sistemas de generación de energía renovable más adecuados para la región. Se analizarán las ventajas, desventajas y requerimientos técnicos de cada tecnología, incluyendo paneles solares, aerogeneradores, plantas de biomasa y centrales hidroeléctricas (Mora y Quicaza, 2021).

Finalmente, se desarrollará una guía detallada que contemple las variables clave para evaluar la viabilidad técnica, económica, social y ambiental de los proyectos de energía renovable en la región. Esta guía servirá como herramienta de orientación para desarrolladores, inversores y entidades gubernamentales interesadas en promover el desarrollo sostenible y la adopción de energías limpias en el Nordeste Antioqueño (UPME,2015).

1. Planteamiento del problema

1.1 Descripción

En el ámbito de la generación de energía eléctrica renovable, se enfrenta un vasto panorama de información que, lamentablemente, suele carecer de una adecuada caracterización geográfica. Aunque existen numerosos estudios y datos sobre diversas tecnologías y recursos energéticos renovables, la falta de información detallada sobre su ubicación geográfica dificulta su aprovechamiento óptimo (Alcaldía de Medellín, 2023).

Es fundamental comprender que los sistemas de generación de energía renovable están estrechamente ligados al entorno en el que se instalan. Cada tecnología, ya sea solar, eólica, hidroeléctrica o de otra naturaleza, requiere condiciones específicas de topografía, clima y recursos naturales para funcionar de manera eficiente y rentable. Por lo tanto, la caracterización geográfica adecuada es esencial para determinar la viabilidad y el potencial de estos proyectos (Alcaldía de Medellín, 2023).

Los proyectos de energía renovable no pueden evaluarse únicamente en función de sus aspectos técnicos y económicos. También deben considerarse una serie de variables interdependientes relacionadas con la región en la que se implementarán. Factores como la disponibilidad de recursos naturales, la infraestructura existente, las regulaciones gubernamentales y las necesidades energéticas locales son determinantes en la viabilidad y el éxito de estos proyectos (UPME, 2015).

En resumen, la caracterización geográfica precisa, la comprensión de las condiciones medioambientales específicas y la consideración de variables regionales interdependientes son elementos críticos en la evaluación y planificación de proyectos de energía eléctrica renovable. Solo mediante un enfoque integral y detallado podemos maximizar el potencial de estas tecnologías para contribuir a un futuro energético sostenible (ONU Medio Ambiente, 2018).

1.2 Formulación

¿Es posible viabilizar proyectos de generación de energía eléctrica renovable para el Nordeste Antioqueño a partir de sus particularidades tecnológicas, teniendo en cuenta los diversos factores geográficos y ambientales influyentes?

2. Justificación

Es fundamental comprender y analizar los diversos factores que pueden influir en los proyectos de energía renovable en el Nordeste Antioqueño. La identificación de factores ambientales, sociales y técnicos, como la disponibilidad de recursos naturales (sol, viento, agua, biomasa), la aceptación comunitaria y el impacto en las poblaciones locales, y la viabilidad tecnológica, permitirá una planificación más precisa y efectiva de los proyectos (UPME,2015).

Según (Rovira, Patiño y Schaper, 2017), la selección de tecnologías apropiadas es esencial para garantizar la eficiencia y la sostenibilidad de los proyectos de energía renovable en la región. Dado que las condiciones medioambientales pueden variar considerablemente, es crucial identificar y aplicar las tecnologías más adecuadas para maximizar el rendimiento energético y minimizar el impacto ambiental.

Antes de la implementación de cualquier proyecto, es necesario evaluar cuidadosamente su viabilidad en términos técnicos, económicos, sociales y ambientales. Esta evaluación integral permitirá identificar posibles desafíos y riesgos, así como desarrollar estrategias para mitigarlos y garantizar el éxito a largo plazo de los proyectos (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2020).

Los proyectos de energía renovable pueden enfrentar demoras o incluso cancelaciones debido a factores externos como conflictos sociales, cambios en las políticas gubernamentales o impactos ambientales imprevistos. Estos factores pueden obstaculizar el progreso de los proyectos y, en última instancia, llevar a la pérdida de oportunidades de desarrollo sostenible y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (Observatorio de la Sostenibilidad en España, s.f.).

La implementación de tecnologías poco adecuadas para las condiciones medioambientales específicas del Nordeste Antioqueño puede resultar en una baja eficiencia energética y un rendimiento insatisfactorio de los proyectos. Es crucial seleccionar cuidadosamente las

tecnologías energéticas y adaptarlas a las condiciones locales para garantizar su viabilidad y éxito a largo plazo (UPME,2015).

La falta de viabilidad técnica, económica, social y ambiental puede llevar al fracaso de los proyectos de generación de energía renovable en la región. La falta de financiamiento, la oposición de la comunidad local, la ausencia de un marco regulatorio claro y otros desafíos pueden obstaculizar la implementación y operación exitosas de los proyectos, lo que resulta en su fracaso y pérdida de inversión. Por tal motivo, es necesario verificar todos los procesos de manera detallada para que el proyecto pueda ser un éxito y que perdure en el tiempo, por tal motivo es necesario verificar todos los procesos de manera detallada para que el proyecto pueda ser un éxito y que perdure en el tiempo (Editorial La República, 2024).

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

Elaborar una guía comparativa de tecnologías de generación de energía eléctrica renovable para el Nordeste Antioqueño.

3.2 Objetivos específicos

Identificar los potenciales desarrollos de generación de energía eléctrica renovable para el Nordeste Antioqueño.

Caracterizar los sistemas potenciales de generación de energía eléctrica renovable para el Nordeste Antioqueño.

Formular una guía de variables necesarios para la viabilidad de proyectos de generación de energía eléctrica renovable en el Nordeste Antioqueño.

4. Referentes teóricos

En el contexto de los potenciales desarrollos de generación de energía eléctrica renovable para el nordeste antioqueño, es crucial tener un conocimiento exhaustivo de las fuentes de energía renovable disponibles en la región. Según García y Arce (2018), la diversidad de fuentes renovables como la solar, eólica, hidroeléctrica, biomasa y geotérmica ofrece oportunidades para la implementación de sistemas de generación de energía sostenibles y eficientes. Este conocimiento integral es fundamental para identificar las opciones más adecuadas y viables para la región.

4.1 Análisis del potencial y seguridad energética en la diversificación de fuentes renovables

Se necesita analizar detalladamente la viabilidad técnica y económica de proyectos de energía renovable, considerando factores como recursos naturales, tecnología, costos y rentabilidad a largo plazo. Es esencial identificar las opciones más eficientes y viables.

Además, la evaluación del impacto ambiental y social es crucial, implicando la identificación de efectos adversos sobre el medio ambiente y las comunidades locales, así como la adopción de medidas de mitigación y participación comunitaria para asegurar la aceptación social.

Por último, el éxito de los proyectos requiere estrategias efectivas de implementación, incluyendo la definición de objetivos claros, coordinación entre actores involucrados, asignación adecuada de recursos y sistemas de monitoreo y evaluación.

Para determinar el potencial de cada fuente de energía renovable, se debe evaluar la radiación solar, velocidad del viento, caudal de los ríos y disponibilidad de biomasa. Este análisis implica estudiar las características geográficas y climáticas, aplicar modelos matemáticos y utilizar herramientas de simulación para estimar la energía que puede ser capturada por cada fuente.

En resumen, la evaluación del potencial de energía renovable implica estudios detallados de cada fuente y su adaptación a las condiciones locales, asegurando un enfoque sostenible y eficiente en el desarrollo de proyectos energéticos. (UPME, 2015).

4.2 Análisis integral de viabilidad y sostenibilidad en proyectos de energía renovable

Para garantizar el éxito de los proyectos de energía renovable en el nordeste antioqueño, es crucial realizar un estudio exhaustivo de viabilidad técnica y económica. Esto implica evaluar detalladamente la capacidad de las tecnologías disponibles para cumplir con los objetivos del proyecto y determinar la idoneidad de la infraestructura existente. Desde el punto de vista técnico, se analiza la eficiencia y confiabilidad de las tecnologías renovables en el contexto local, considerando la disponibilidad y variabilidad de los recursos naturales. Económicamente, se estiman los costos de inversión, operativos y de mantenimiento, así como los ingresos generados por la venta de energía eléctrica producida.

Además de los aspectos financieros directos, se deben considerar los impactos económicos e indirectos, como la generación de empleo y la reducción de costos asociados con la contaminación ambiental y la dependencia de combustibles fósiles. Estos beneficios pueden influir significativamente en la rentabilidad y sostenibilidad económica a largo plazo de los proyectos.

La evaluación del impacto ambiental y social es otro pilar fundamental en la planificación y desarrollo de proyectos de energía renovable en la región. Implica identificar y analizar los posibles efectos adversos sobre el medio ambiente y las comunidades locales, así como desarrollar estrategias de mitigación y compensación adecuadas. Esto incluye evaluar cómo los proyectos pueden afectar la calidad del aire, agua, biodiversidad y ecosistemas locales, así como su impacto en la calidad de vida y relaciones comunitarias. La aceptación comunitaria es crucial, requiriendo la participación activa de las comunidades locales en el proceso de toma de decisiones y la consideración de sus preocupaciones y necesidades.

Finalmente, los proyectos de energía renovable pueden ser una fuente importante de empleo y oportunidades económicas para las comunidades locales, contribuyendo al desarrollo económico y social de la región. Sin embargo, es fundamental implementar políticas y programas adecuados para maximizar los beneficios y minimizar los impactos negativos. (Martínez, 2020).

4.3 Estrategias de implementación y conocimiento tecnológico en energía renovable

4.3.1 estrategias de implementación. Para lograr el éxito en los proyectos de energía renovable, se deben diseñar estrategias bien planificadas. Esto comienza con la selección cuidadosa de tecnologías adecuadas para la región, considerando eficiencia, costos y disponibilidad de recursos. Asimismo, el establecimiento de alianzas estratégicas con diversos actores clave, como empresas, instituciones académicas y gobiernos locales, proporciona acceso a recursos financieros y apoyo técnico crucial para la implementación. La gestión proactiva de riesgos, identificando posibles obstáculos y planificando acciones de mitigación, es esencial. Además, la participación activa de las comunidades locales en el proceso garantiza la aceptación social y el compromiso con los proyectos. (Mora y Quicaza, 2021).

4.3.2 Conocimiento tecnológico. Es imprescindible comprender las diferentes tecnologías de generación de energía renovable disponibles. En el Nordeste Antioqueño, la energía solar destaca debido a su alta radiación durante todo el año. La tecnología fotovoltaica convierte esta energía en electricidad, siendo una opción viable tanto en zonas urbanas como rurales. La energía eólica también es prometedora en áreas montañosas con vientos consistentes, donde los aerogeneradores pueden aprovechar la energía del viento de manera eficiente y sostenible. La energía hidroeléctrica, aprovechando los numerosos ríos de la región, también es relevante, aunque se deben considerar los impactos ambientales y sociales asociados. Además, la biomasa ofrece oportunidades para la generación de energía renovable, utilizando residuos agrícolas, forestales y urbanos para producir biogás, biodiesel y biocombustibles sólidos, especialmente beneficiosos para comunidades rurales. (UPME, 2015).

4.4 Evaluación del potencial y análisis de viabilidad en energía renovable

4.4.1 Evaluación del potencial. Para determinar el potencial de cada tecnología de energía renovable en el Nordeste Antioqueño, es crucial considerar varios factores. La disponibilidad de recursos naturales, como la radiación solar para la energía solar, es fundamental. Además, la topografía del terreno influye en tecnologías como la energía eólica y la hidroeléctrica. Las condiciones climáticas locales también desempeñan un papel crucial en la eficiencia de tecnologías como la biomasa. (Méndez y Rivera, 2015).

4.4.2 Análisis de viabilidad técnica y económica. Es esencial realizar un análisis detallado de la viabilidad técnica y económica de los sistemas potenciales de energía renovable. Esto implica evaluar la factibilidad técnica, considerando la disponibilidad de recursos naturales y la infraestructura existente. Además, se deben calcular los costos de inversión y operativos, así como evaluar la eficiencia energética. El análisis económico incluye calcular el retorno de la inversión y otros indicadores financieros, considerando también los beneficios ambientales y sociales. La eficiencia energética es crucial para garantizar la rentabilidad y contribuir a un suministro de energía sostenible y asequible. (Hoyos y Hernández, 2017).

4.5 Diseño de sistemas integrados y conocimiento del contexto regional

4.5.1 Diseño de sistemas integrados. Es esencial diseñar sistemas integrados de generación de energía renovable que optimicen la eficiencia y minimicen los impactos ambientales y sociales. Esto implica combinar estratégicamente tecnologías como la solar, eólica, hidroeléctrica y biomasa para aumentar la estabilidad del suministro y aprovechar las fortalezas de cada una. Al distribuir la generación en diferentes ubicaciones e integrarla en la infraestructura existente, se reducen los impactos sobre los ecosistemas locales y se mejoran los beneficios económicos y sociales para las comunidades. (Sarmiento, Rodríguez, Castillo y Vásquez, 2014).

4.5.2 Conocimiento del contexto regional. Para desarrollar proyectos de energía renovable en el Nordeste Antioqueño, es crucial comprender su contexto geográfico, climático, social,

económico y político. La topografía del terreno y la disponibilidad de recursos naturales, como la radiación solar y los caudales de los ríos, determinan el potencial de generación de energía renovable. Factores sociales y económicos, como la demografía y la actividad económica dominante, influyen en la aceptación y viabilidad de los proyectos. Además, el marco político y legal afecta la viabilidad y rentabilidad de los proyectos, así como el acceso a financiamiento y la participación de actores locales. (Ministerio de Ambiente, 2022).

4.6 Identificación del potencial de energía renovable y evaluación de factores económicos y financieros

Es esencial evaluar tanto el potencial de diversas fuentes de energía renovable, considerando factores como la disponibilidad de recursos naturales y condiciones climáticas locales, como realizar un análisis económico y financiero exhaustivo de los proyectos. Esto implica evaluar los costos de inversión, operativos y los precios de la energía, junto con la consideración de incentivos y subsidios disponibles. Estos análisis son cruciales para determinar la viabilidad financiera y el impacto económico de los proyectos en el desarrollo regional. (UPME, 2015).

5. Metodología

5.1 Tipo de proyecto

Se realizó una revisión de la literatura científica y técnica relacionada con las tecnologías de generación de energía renovable, así como con las características específicas del Nordeste Antioqueño. Luego, se pudo identificar y comparar las ventajas y desventajas de cada tecnología en función de los criterios relevantes para la región, como la disponibilidad de recursos naturales y la geografía de la región, entre otros, además se pudo llevar a cabo entrevistas o encuestas a expertos en energía renovable, ingenieros, ambientalistas y funcionarios gubernamentales locales para recopilar información cualitativa sobre las tecnologías de generación de energía renovable más adecuadas para el Nordeste Antioqueño.

5.2 Método

Investigación de Tecnologías Existentes: La guía comparativa se basa en la recopilación y análisis de información sobre tecnologías de generación de energía eléctrica renovable que ya están disponibles y en uso en otras regiones del mundo. Aunque el enfoque es adaptar esta información al contexto específico del Nordeste Antioqueño, el proyecto no implica el desarrollo de nuevas tecnologías desde cero.

Análisis Comparativo: El objetivo principal del proyecto es realizar un análisis comparativo de las diferentes tecnologías de generación de energía renovable para determinar cuál es la más adecuada para el Nordeste Antioqueño en función de sus características geográficas, climáticas, socioeconómicas y ambientales. Este enfoque implica la recopilación y síntesis de datos existentes, así como la evaluación de múltiples opciones disponibles en el mercado.

Validación de Resultados: Aunque se realizarán simulaciones y proyecciones para evaluar el potencial de cada tecnología en la región, el proyecto no incluye la implementación física de prototipos o la realización de pruebas de campo a gran escala. En cambio, se espera que los

resultados obtenidos se validen a través de la revisión por parte de expertos en el campo y la retroalimentación de partes interesadas clave.

El proyecto de guía comparativa de tecnologías de generación de energía eléctrica renovable para el Nordeste Antioqueño se centra en la investigación, análisis y evaluación de opciones existentes en lugar de la creación o desarrollo de nuevas tecnologías, lo que lo clasifica como un proyecto de investigación aplicada.

5.3 Población y muestra

La población objetivo para esta investigación fueron todos los posibles actores relevantes involucrados en el sector energético del Nordeste Antioqueño. Esto incluiría:

Expertos en energía: Ingenieros, académicos y profesionales con experiencia en diferentes tecnologías de generación de energía.

Representantes del gobierno: funcionarios públicos y privados relacionados con el sector de la energía, reguladores y autoridades encargadas de la formulación de políticas energéticas.

Industria energética: Empresas y organizaciones dedicadas a la generación, distribución y comercialización de energía en Colombia.

Comunidades locales: Residentes de áreas donde se implementarán proyectos energéticos, quienes pueden verse afectados directamente por las decisiones relacionadas con las tecnologías de generación de energía.

5.4 Instrumentos de la recolección de la información

5.4.1 Fuentes primarias

Encuestas a Particulares y Profesionales: Diseño y distribución de encuestas a individuos y profesionales relacionados con el sector energético, como consumidores de energía, trabajadores del sector, y otros interesados.

Análisis de Documentos Gubernamentales: Revisión de informes, políticas y documentos gubernamentales relacionados con el sector energético en el Nordeste Antioqueño.

Datos Estadísticos Oficiales: Utilización de los datos estadísticos oficiales proporcionados por entidades como el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) y el Ministerio de Minas y Energía de Colombia.

Reportes de Empresas del Sector Energético: Revisión de reportes y documentos publicados por empresas del sector energético en Colombia, como compañías eléctricas, productores de energía renovable y empresas de consultoría.

Informes Gubernamentales y Documentos Institucionales: Revisión de informes y documentos publicados por entidades gubernamentales y organizaciones nacionales relacionadas con el sector energético en Colombia, como el Ministerio de Minas y Energía, la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) y la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG). Estos informes proporcionan datos, análisis y políticas relacionadas con la generación de energía en el país.

5.4.2 Fuentes secundarias

Artículos Científicos: Revisión de artículos publicados en revistas científicas especializadas en temas energéticos, ingeniería eléctrica, sostenibilidad y medio ambiente. Estos artículos

proporcionan investigaciones detalladas, análisis y discusiones sobre tecnologías de generación de energía y su relevancia en diferentes contextos.

Libros y Monografías: Consulta de libros y monografías sobre energía, política energética, tecnologías renovables y aspectos socioeconómicos de la generación de energía. Estos recursos pueden ofrecer una visión más amplia y profunda sobre los factores que influyen en la importancia del estudio comparativo de las tecnologías energéticas para el Nordeste Antioqueño.

6. Resultados de la propuesta

EL nordeste antioqueño está conformado por los siguientes municipios: Remedios, Segovia, Amalfi, Anorí, Cisneros, San Roque, Santo Domingo, Vegachí, Yalí y Yolombó, a los cuales se va a identificar la capacidad que tienen para generar energía eléctrica a partir de diferentes fuentes de energía renovable. Las fuentes de energía renovable disponibles en el nordeste antioqueño son las siguientes:

6.1 Energía solar

La energía solar es una fuente importante de energía renovable en el Nordeste Antioqueño debido a su alta radiación solar. Se puede aprovechar mediante la instalación de paneles solares fotovoltaicos para la generación de electricidad.

El nordeste antioqueño presenta varias características que hacen viable la aplicación de energía solar en la región:

Radiación solar: Esta zona de Colombia recibe una cantidad significativa de radiación solar a lo largo del año debido a su ubicación geográfica cercana al ecuador. La alta radiación solar es un factor clave para la generación eficiente de energía solar.

Clima favorable: El nordeste antioqueño tiene un clima predominantemente cálido y seco en algunas zonas, lo que proporciona condiciones propicias para la instalación y operación de sistemas de energía solar.

Disponibilidad de espacio: La región cuenta con amplias áreas de terreno disponibles, lo que facilita la instalación de paneles solares tanto en áreas urbanas como rurales.

Necesidades energéticas: Muchos municipios del nordeste antioqueño enfrentan desafíos en el suministro de energía eléctrica convencional debido a su ubicación geográfica y la falta de

infraestructura adecuada. La energía solar puede ser una solución rentable y sostenible para satisfacer estas necesidades energéticas.

Reducción de costos: Con el avance de la tecnología solar y la disminución de los costos de los paneles solares, la energía solar se ha vuelto más accesible y competitiva en términos de costos en comparación con otras fuentes de energía convencionales en la región.

La cantidad de radiación solar anual necesaria para que una región pueda generar energía solar de manera efectiva depende de varios factores, como la eficiencia de los paneles solares, el clima local y la disponibilidad de tecnología de almacenamiento de energía. Sin embargo, en general, se considera que una región con al menos 1000 kilovatios-hora (kWh) de radiación solar por metro cuadrado al año es adecuada para la generación eficiente de energía solar (IRENA, s.f).

¿Por qué es importante conocer la Irradiación Horizontal Global (GHI)?

La Irradiación Horizontal Global (GHI) es una medida clave para evaluar el potencial de energía solar en una región. Esta medida representa la cantidad total de radiación solar recibida en un plano horizontal en la superficie de la Tierra durante un período de tiempo específico, generalmente expresado en kilovatios por metro cuadrado (kW/m²) o en julios por metro cuadrado (J/m²).

El valor de GHI proporciona información sobre la cantidad de energía solar disponible en la región y puede ser utilizado para determinar la viabilidad de futuros proyectos de energía solar. Sin embargo, otros factores también deben ser considerados para evaluar completamente el potencial solar de una ubicación, como la variabilidad climática a lo largo del año, la disponibilidad de espacio para la instalación de paneles solares, y la eficiencia de las tecnologías solares disponibles.

6.1.1 Energía solar en Remedios

Ubicación: El municipio de Remedios se encuentra ubicado al nordeste el departamento de Antioquia sobre las coordenadas 07° 01' 21" de latitud norte y 74° 41' 46" de longitud oeste.

GHI: 1911,8 Kwh/m² anual.

Temperatura: La temperatura media anual en Remedios es 26°.

Extensión: 1985Km²

Con el software de Enair, utilizando la opción satelital se ubicó el municipio donde arrojó los datos de la Tabla 1. La producción solar mensual respecto a la media de Remedios Antioquia en la Figura 1.

Tabla 1.

Estimación de producción solar de Remedios Antioquia

Meses	KWh/mes	KWh/día	KWh/año
Enero	112,6	3,63	1270
Febrero	100,3	3,55	
Marzo	103,5	3,34	
Abril	98,9	3,30	
Mayo	103,0	3,32	
Junio	102,4	3,41	
Julio	112,1	3,61	
Agosto	115,2	3,72	
Septiembre	109,4	3,65	
Octubre	105,4	3,40	
Noviembre	100,8	3,36	
Diciembre	106,4	3,43	
PROMEDIO	105,8	3,5	

Fuente: <https://www.enair.es/es/app>

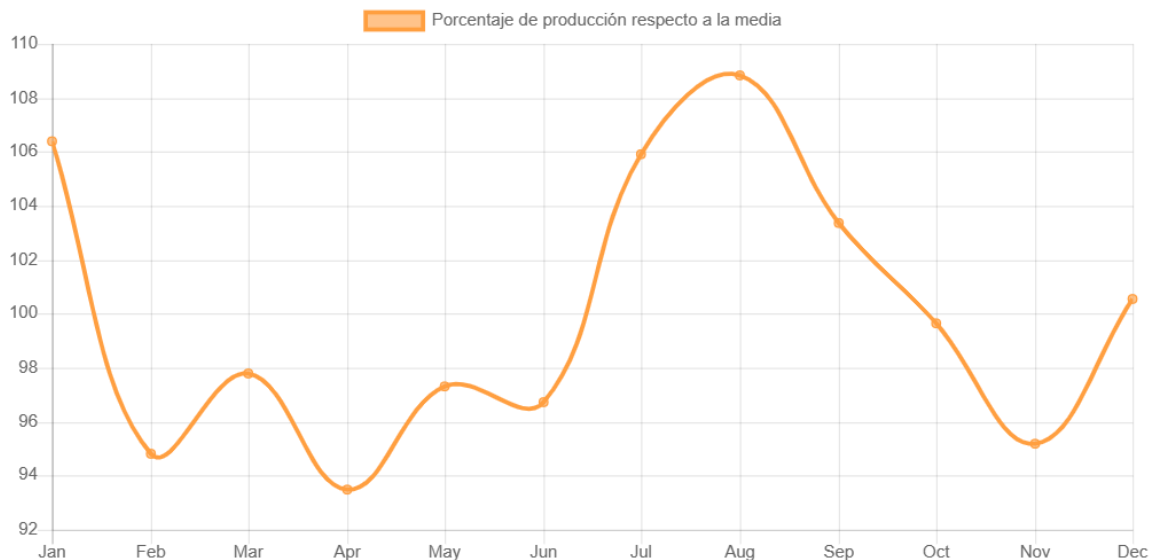


Figura 1. Producción solar mensual respecto a la media de Remedios Antioquia

Fuente: extraído de <https://www.enair.es/es/app>

6.1.2 Energía solar en Segovia

Ubicación: El municipio de Segovia se encuentra ubicado al nordeste el departamento de Antioquia sobre las coordenadas Latitud: 7° 15' 8" Norte, Longitud: 74° 44' 56" Oeste.

GHI: 1897,9Kwh/m² anual.

Temperatura: La temperatura media anual en Remedios es 26°.

Extensión: 1246Km²

Con el software de Enair, utilizando la opción satelital se ubicó el municipio donde arrojó los datos de la Tabla 2. La producción solar mensual respecto a la media de Segovia Antioquia en la Figura 2.

Tabla 2.
Estimación de producción solar de Segovia Antioquia

Meses	KWh/mes	KWh/día	KWh/año
Enero	108,5	3,50	1236
Febrero	97,6	3,45	
Marzo	101,2	3,26	
Abril	95,9	3,20	
Mayo	100,0	3,23	
Junio	100,5	3,35	
Julio	110,7	3,57	
Agosto	112,7	3,64	
Septiembre	106,5	3,55	
Octubre	103,7	3,34	
Noviembre	97,1	3,24	
Diciembre	101,7	3,28	
PROMEDIO	103,0	3,4	

Fuente: <https://www.enair.es/es/app>

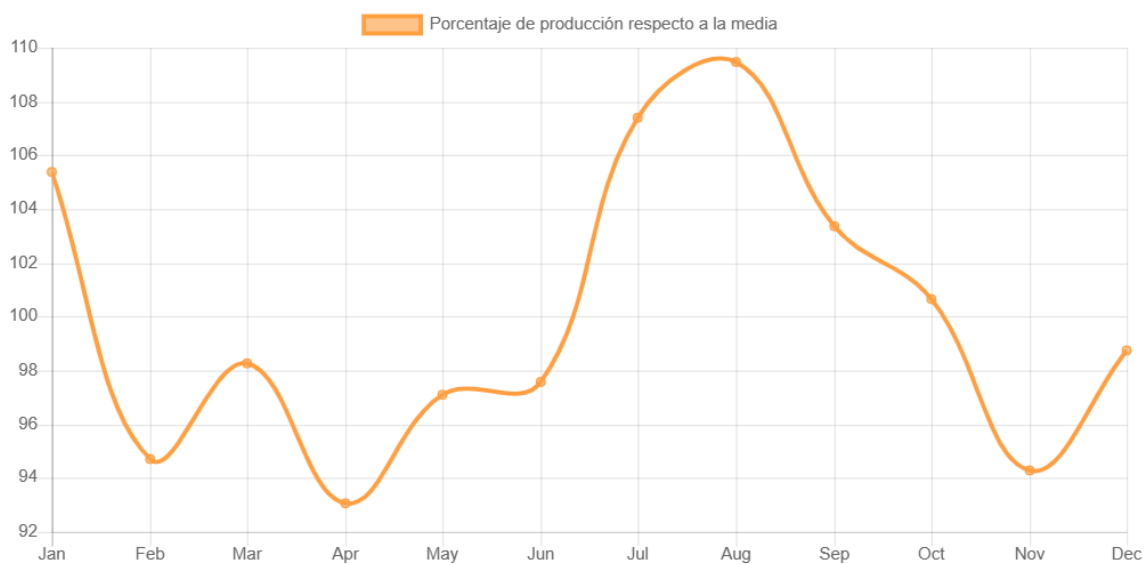


Figura 2. Producción solar mensual respecto a la media de Segovia Antioquia

Fuente: extraído de <https://www.enair.es/es/app>

6.1.3 Energía solar en Amalfi

Ubicación: El municipio de Amalfi se encuentra ubicado al nordeste el departamento de Antioquia sobre las coordenadas Latitud: 6° 54' 0" Norte Longitud: 75° 4' 1" Oeste.

GHI: 1695,3Kwh/m² anual.

Temperatura: Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 15 °C a 25 °C y rara vez baja a menos de 14 °C o sube a más de 28 °C.

Extensión: 1224Km²

Con el software de Enair, utilizando la opción satelital se ubicó el municipio donde arrojó los datos de la Tabla 3. La producción solar mensual respecto a la media de Amalfi Antioquia en la Figura 3.

Tabla 3.

Estimación de producción solar de Amalfi Antioquia

	KWh/mes	KWh/día	KWh/año
Enero	96,5	3,11	1171
Febrero	85,2	3,02	
Marzo	90,2	2,91	
Abril	89,2	2,97	
Mayo	97,8	3,16	
Junio	101,0	3,37	
Julio	111,6	3,60	
Agosto	113,8	3,67	
Septiembre	104,7	3,49	
Octubre	97,3	3,14	
Noviembre	89,7	2,99	
Diciembre	93,5	3,02	
PROMEDIO	97,6	3,2	

Fuente: <https://www.enair.es/es/app>

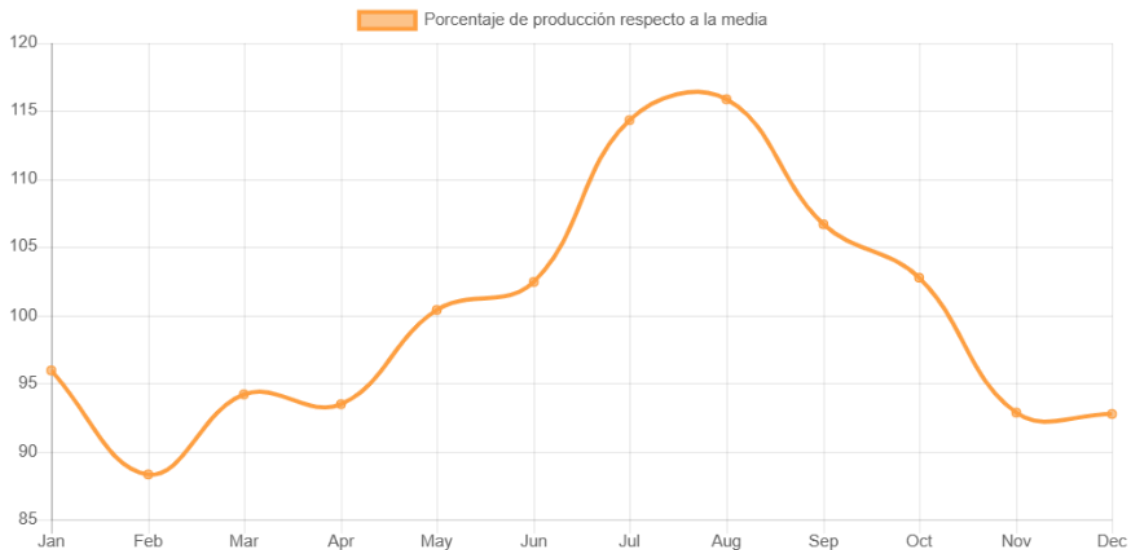


Figura 3. Producción solar mensual respecto a la media de Amalfi Antioquia

Fuente: extraído de <https://www.enair.es/es/app>

6.1.4 Energía solar en Anorí

Ubicación: El municipio de Anorí se encuentra ubicado al nordeste el departamento de Antioquia sobre las coordenadas Latitud: 7° 4' 1" Norte, Longitud: 75° 7' 59" Oeste

GHI: 1731,6Kwh/m² anual.

Temperatura: Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 19 °C a 29 °C y rara vez baja a menos de 18 °C o sube a más de 33 °C.

Extensión: 1430Km²

Con el software de Enair, utilizando la opción satelital se ubicó el municipio donde arrojó los datos de la Tabla 4. La producción solar mensual respecto a la media de Anorí Antioquia en la Figura 4.

Tabla 4.
Estimación de producción solar de Anorí Antioquia

Meses	KWh/mes	KWh/día	KWh/año
Enero	88,4	2,85	1094
Febrero	80,3	2,84	
Marzo	85,6	2,76	
Abril	85,2	2,84	
Mayo	91,3	2,95	
Junio	93,0	3,10	
Julio	103,8	3,35	
Agosto	105,2	3,39	
Septiembre	97,4	3,25	
Octubre	94,0	3,03	
Noviembre	85,1	2,84	
Diciembre	85,2	2,75	
PROMEDIO	91,2	3,0	

Fuente: <https://www.enair.es/es/app>

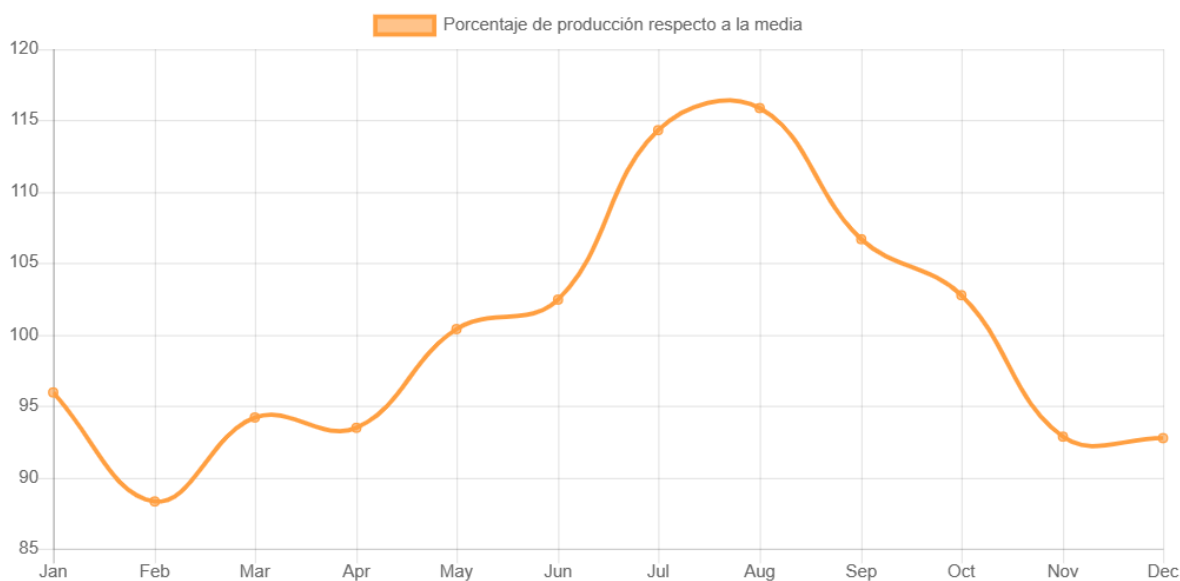


Figura 4. Producción solar mensual respecto a la media de Anorí Antioquia

Fuente: extraído de <https://www.enair.es/es/app>

6.1.5 Energía solar en Cisneros

Ubicación: El municipio de Cisneros se encuentra ubicado al nordeste el departamento de Antioquia sobre las coordenadas Latitud: 6° 32' 18" Norte, Longitud: 75° 5' 19" Oeste.

GHI: 1945,2Kwh/m² anual.

Temperatura: temperatura aproximada de 24 grados centígrados

Extensión: 47Km²

Con el software de Enair, utilizando la opción satelital se ubicó el municipio donde arrojó los datos de la Tabla 5. La producción solar mensual respecto a la media de Cisneros Antioquia en la Figura 5.

Tabla 5.
Estimación de producción solar de Cisneros Antioquia

	KWh/mes	KWh/día	KWh/año
Enero	108,8	3,51	1303
Febrero	96,2	3,41	
Marzo	103,8	3,35	
Abril	102,0	3,40	
Mayo	109,2	3,52	
Junio	110,03	3,68	
Julio	121,4	3,92	
Agosto	123,8	4,00	
Septiembre	116,9	3,90	
Octubre	108,4	3,50	
Noviembre	98,8	3,27	
Diciembre	103,8	3,35	
PROMEDIO	108,6	3,6	

Fuente: <https://www.enair.es/es/app>

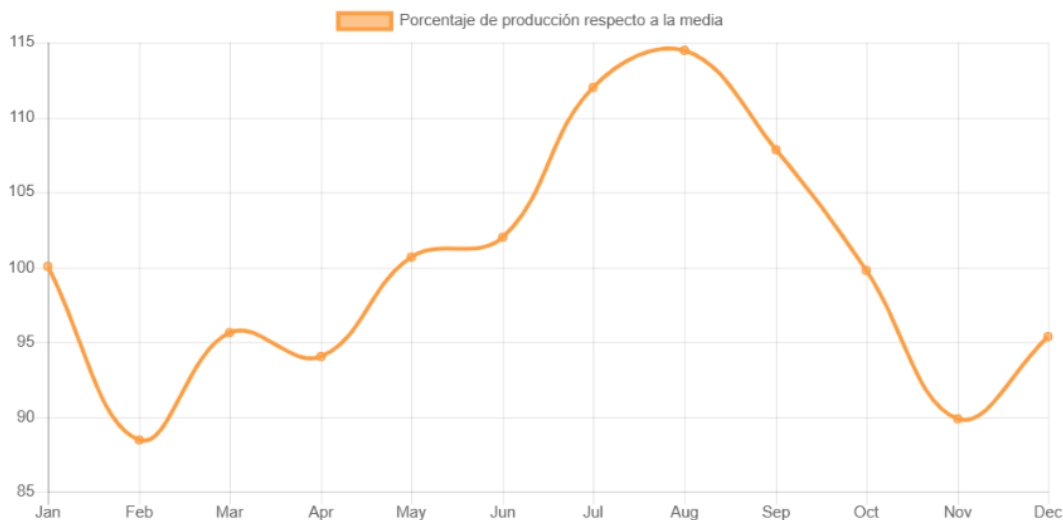


Figura 5. Producción solar mensual respecto a la media de Cisneros Antioquia

Fuente: extraído de <https://www.enair.es/es/app>

6.1.6 Energía solar en San Roque

Ubicación: El municipio de San Roque se encuentra ubicado al nordeste el departamento de Antioquia sobre las coordenadas Latitud: 6° 28' 1" Norte, Longitud: 75° 0' 0" Oeste.

GHI: 1943,6Kwh/m² anual.

Temperatura: Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 16 °C a 26 °C y rara vez baja a menos de 15 °C o sube a más de 29 °C.

Extensión: 441Km²

Con el software de Enair, utilizando la opción satelital se ubicó el municipio donde arrojó los datos de la Tabla 6. La producción solar mensual respecto a la media de San Roque Antioquia en la Figura 6.

Tabla 6.
Estimación de producción solar de San Roque Antioquia

	KWh/mes	KWh/día	KWh/año
Enero	101,3	3,27	1267
Febrero	90,1	3,19	
Marzo	99,2	3,20	
Abril	99,8	3,33	
Mayo	108,7	3,51	
Junio	110,5	3,68	
Julio	121,2	3,91	
Agosto	122,8	3,96	
Septiembre	115,3	3,84	
Octubre	106,0	3,42	
Noviembre	94,0	3,13	
Diciembre	97,6	3,15	
PROMEDIO	105,6	3,5	

Fuente: <https://www.enair.es/es/app>

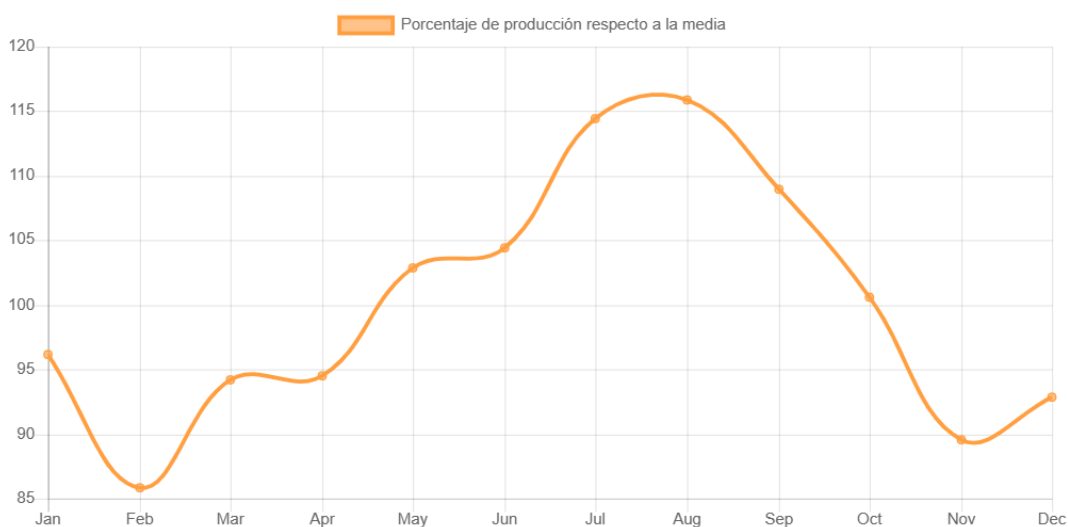


Figura 6. Producción solar mensual respecto a la media de San Roque Antioquia

Fuente: extraído de <https://www.enair.es/es/app>

6.1.7 Energía solar en Santo Domingo

Ubicación: El municipio de Santo Domingo se encuentra ubicado al nordeste el departamento de Antioquia sobre las coordenadas Latitud: 6° 28' 1" Norte, Longitud: 75° 10' 1" Oeste

GHI: 1918,4Kwh/m²

Temperatura: temperatura promedio de 19 grados centígrados.

Extensión: 274Km²

Con el software de Enair, utilizando la opción satelital se ubicó el municipio donde arrojó los datos de la Tabla 7. La producción solar mensual respecto a la media de Santo Domingo Antioquia en la Figura 7.

Tabla 7.

Estimación de producción solar de Santo Domingo Antioquia

	KWh/mes	KWh/día	KWh/año
Enero	102,8	3,32	1280
Febrero	90,3	3,20	
Marzo	100,4	3,24	
Abril	100,0	3,33	
Mayo	109,9	3,55	
Junio	112,6	3,75	
Julio	123,8	3,99	
Agosto	125,6	4,05	
Septiembre	117,3	3,91	
Octubre	105,2	3,39	
Noviembre	93,7	3,12	
Diciembre	98,6	3,18	
PROMEDIO	106,7	3,5	

Fuente: <https://www.enair.es/es/app>

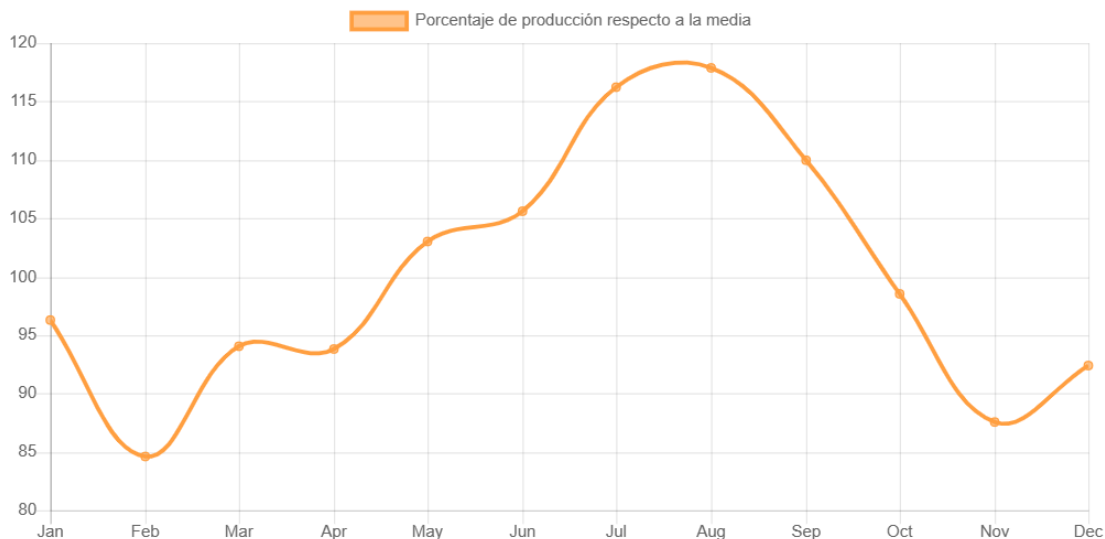


Figura 7. Producción solar mensual respecto a la media de Santo Domingo Antioquia

Fuente: extraído de <https://www.enair.es/es/app>

6.1.8 Energía solar en Vegachí

Ubicación: El municipio de Vegachí se encuentra ubicado al nordeste el departamento de Antioquia sobre las coordenadas Latitud: 6° 46' 1" Norte, Longitud: 74° 48' 0" Oeste.

GHI: 1899Kwh/m²

Temperatura: La temperatura media anual es 29°.

Extensión: 518Km²

Con el software de Enair, utilizando la opción satelital se ubicó el municipio donde arrojó los datos de la Tabla 8. La producción solar mensual respecto a la media de Vegachí Antioquia en la Figura 8.

Tabla 8.
Estimación de producción solar de Vegachí Antioquia

	KWh/mes	KWh/día	KWh/año
Enero	106,3	3,43	1231
Febrero	94,6	3,35	
Marzo	98,5	3,18	
Abril	95,1	3,17	
Mayo	100,9	3,25	
Junio	102,5	3,42	
Julio	112,8	3,64	
Agosto	114,9	3,71	
Septiembre	107,5	3,58	
Octubre	102,4	3,30	
Noviembre	95,1	3,17	
Diciembre	100,0	3,23	
PROMEDIO	102,6	3,4	

Fuente: <https://www.enair.es/es/app>

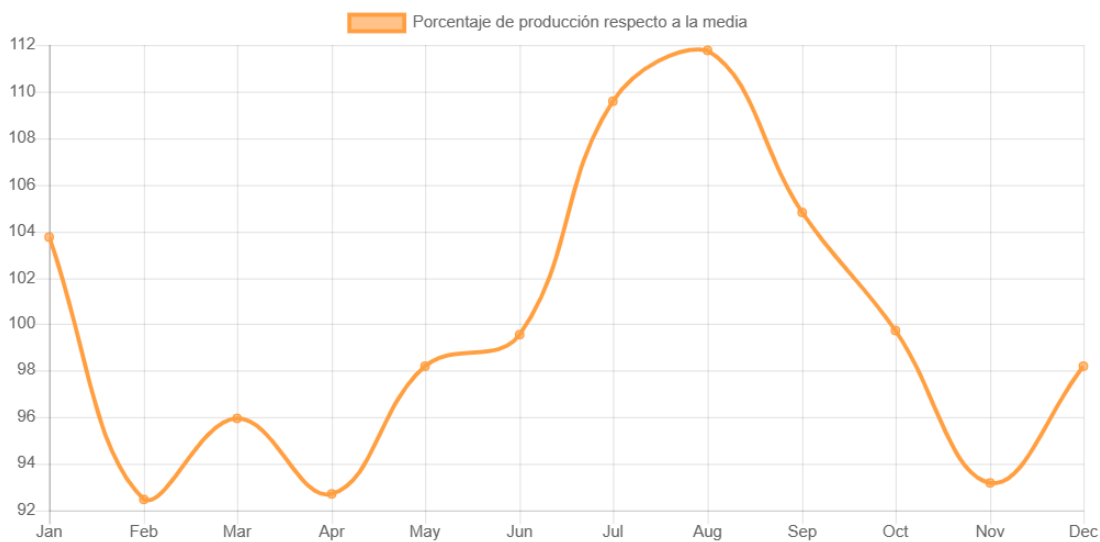


Figura 8. Producción solar mensual respecto a la media de Vegachí Antioquia

Fuente: extraído de <https://www.enair.es/es/app>

6.1.9 Energía solar en Yalí

Ubicación: El municipio de Yalí se encuentra ubicado al nordeste el departamento de Antioquia sobre las coordenadas Latitud: 6° 40' 59" Norte, Longitud: 74° 51' 0" Oeste.

GHI: 1934,8Kwh/m²

Temperatura: temperatura ambiente promedio de 23°C.

Extensión: 483Km²

Con el software de Enair, utilizando la opción satelital se ubicó el municipio donde arrojó los datos de la Tabla 9. La producción solar mensual respecto a la media de Yalí Antioquia en la Figura 9.

Tabla 9.

Estimación de producción solar de Yalí Antioquia

	KWh/mes	KWh/día	KWh/año
Enero	111,0	3,58	1231
Febrero	98,4	3,48	
Marzo	105,7	3,41	
Abril	103,1	3,44	
Mayo	108,8	3,51	
Junio	109,7	3,66	
Julio	120,7	3,89	
Agosto	123,6	3,99	
Septiembre	116,7	3,89	
Octubre	109,0	3,52	
Noviembre	100,3	3,34	
Diciembre	106,4	3,43	
PROMEDIO	109,4	3,6	

Fuente: <https://www.enair.es/es/app>

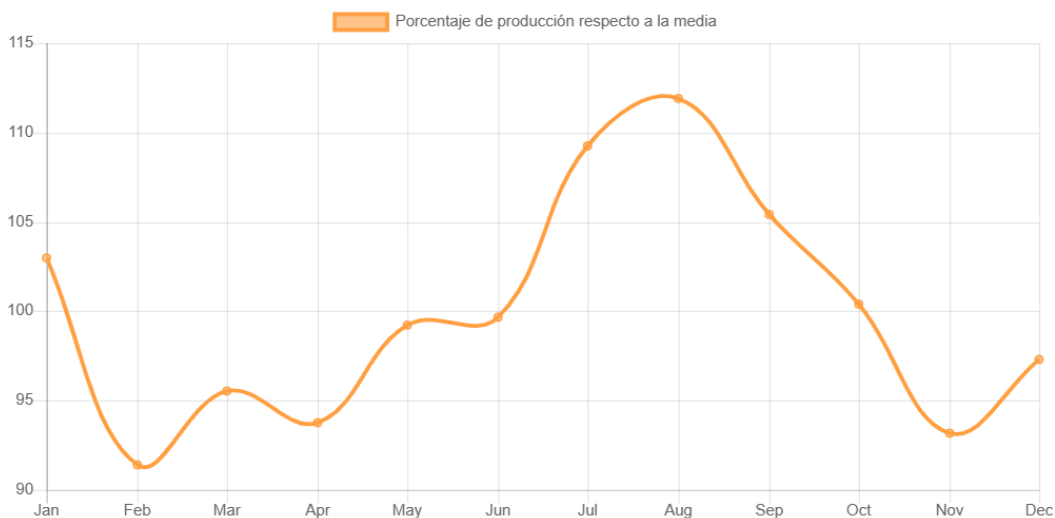


Figura 9. Producción solar mensual respecto a la media de Yalí Antioquia

Fuente: extraído de <https://www.enair.es/es/app>

6.1.10 Energía solar en Yolombó

Ubicación: El municipio de Yolombó se encuentra ubicado al nordeste el departamento de Antioquia sobre las coordenadas Latitud: 6° 34' 59" Norte, Longitud: 75° 0' 0" Oeste.

GHI: 1992,8Kwh/m²

Temperatura: temperatura ambiente promedio de 23°C.

Extensión: 952Km²

Con el software de Enair, utilizando la opción satelital se ubicó el municipio donde arrojó los datos de la Tabla 10. La producción solar mensual respecto a la media de Yolombó Antioquia en la Figura 10.

Tabla 10.
Estimación de producción solar de Yolombó Antioquia

	KWh/mes	KWh/día	KWh/año
Enero	108,1	3,49	1318
Febrero	96,4	3,41	
Marzo	105,0	3,39	
Abril	104,7	3,49	
Mayo	111,7	3,60	
Junio	112,5	3,75	
Julio	122,7	3,96	
Agosto	125,2	4,04	
Septiembre	118,9	3,96	
Octubre	110,0	3,55	
Noviembre	99,1	3,30	
Diciembre	103,6	3,34	
PROMEDIO	109,8	3,6	

Fuente: <https://www.enair.es/es/app>

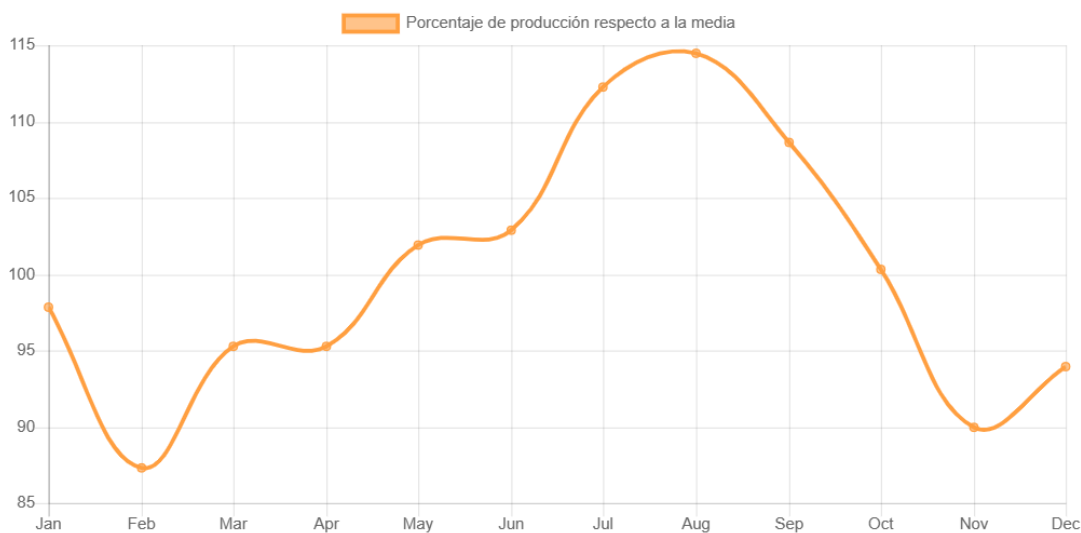


Figura 10. Producción solar mensual respecto a la media de Yolombó Antioquia

Fuente: extraído de <https://www.enair.es/es/app>

Después de validar la información de cada uno de los municipios que conforman el Nordeste Antioqueño, en cuanto a la radiación solar por año, la cantidad promedio de kWh/año, sus condiciones geográficas y su clima adecuado, se puede concluir que:

Potencial para la generación de energía solar: La región tiene un gran potencial para la generación de energía solar debido a la abundante radiación solar que recibe, produce una suficiente cantidad de kWh/año, lo que significa que hay suficiente luz solar para hacer que la instalación de paneles solares sea económicamente viable y eficiente.

Condiciones geográficas favorables: Los excelentes terrenos disponibles en la región proporcionan oportunidades para la instalación de parques solares y otras infraestructuras relacionadas con la energía solar. Además, la topografía adecuada puede facilitar la orientación y disposición de los paneles solares para maximizar la captación de radiación solar.

Clima adecuado: El clima favorable, que probablemente incluye cielos despejados y niveles mínimos de nubosidad, contribuye a maximizar la eficiencia de la generación de energía solar al garantizar una mayor disponibilidad de luz solar durante todo el año.

Beneficios económicos y medioambientales: La generación de energía solar en el nordeste antioqueño no solo puede generar beneficios económicos, como la creación de empleo y el impulso al desarrollo local, sino también beneficios medioambientales al reducir la dependencia de fuentes de energía no renovables y disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero.

6.2 Energía eólica

Velocidad del viento: Esta zona de Colombia cuenta con vientos constantes y relativamente fuertes, especialmente en áreas montañosas y en las crestas de las colinas. Estas condiciones proporcionan una alta velocidad del viento, un factor clave para la generación eficiente de energía eólica.

Topografía adecuada: La topografía del Nordeste Antioqueño, caracterizada por montañas y valles, crea corrientes de aire favorables que aumentan la velocidad del viento en ciertas áreas. Esto facilita la instalación de aerogeneradores en lugares estratégicos para aprovechar al máximo el recurso eólico disponible.

Bajo impacto ambiental: La energía eólica es una fuente de energía limpia y renovable que produce cero emisiones de gases de efecto invernadero y tiene un bajo impacto ambiental en comparación con las fuentes de energía convencionales. En el Nordeste Antioqueño, donde la conservación del medio ambiente es importante, la energía eólica puede ser una opción atractiva para reducir la huella de carbono.

Reducción de costos: Con el avance de la tecnología eólica y la disminución de los costos de los aerogeneradores, la energía eólica se ha vuelto más accesible y competitiva en términos de costos en comparación con otras fuentes de energía convencionales en la región. Esto hace que sea una opción atractiva para diversificar la matriz energética.

Validar la velocidad del viento de cada municipio durante un año, fue la medida que se utilizó para obtener los datos necesarios y así poder hallar el potencial eólico de cada municipio que conforman el Nordeste Antioqueño.

Si se toma en la cuenta la siguiente información del aplicativo Enair se puede validar el potencial eólico de cada municipio de la región y así poder validar si se cuenta con el suficiente recurso para la generación de energía.

Modelo del Aerogenerador: Enair 200

Rugosidad del terreno: Tierra del cultivo campo abierto.

Altura sobre el suelo: 20 metros

Potencia nominal: 18KW

Potencia máxima: 20KW

Área de barrido: $75,4m^2$

Operativo: 1,85 a 30m/s.

6.2.1 Energía eólica en Remedios. Con el software de Enair, utilizando la opción satelital se ubicó el municipio donde arrojó los datos de la Tabla 11. La variabilidad de vientos, su historial y variación estacional y la distribución de frecuencias (Rosa de vientos) de Remedios Antioquia se muestran en las Figura 11, 12 y 13 respectivamente.

Tabla 11.

Producción eólica en kWh de Remedios Antioquia

Meses	Velocidad del Viento (m/s)	kWh/día	kWh/mes	kWh/año
Enero	3,6	47,1	1461	15493
Febrero	3,9	58,9	1663	
Marzo	3,7	51,3	1591	
Abril	3,2	34,8	1044	
Mayo	3,1	29,5	915	
Junio	3,4	40,6	1219	
Julio	3,5	43,2	1338	
Agosto	3,5	43,2	1338	
Septiembre	3,5	43,2	1295	
Octubre	3,3	35,9	1113	
Noviembre	3,3	38,2	1147	
Diciembre	3,5	43,2	1338	
Promedio	3,4	42,4	1291	

Fuente: <https://www.enair.es/es/app>

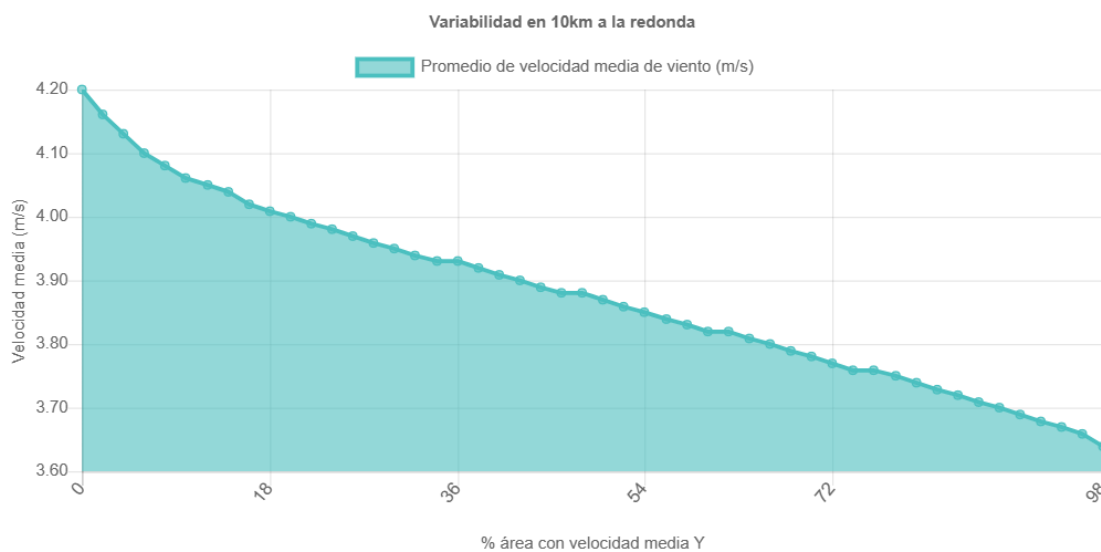


Figura 11. Variabilidad en 10 km a la redonda del municipio de Remedios Antioquia

Fuente: extraído de <https://www.enair.es/es/app>

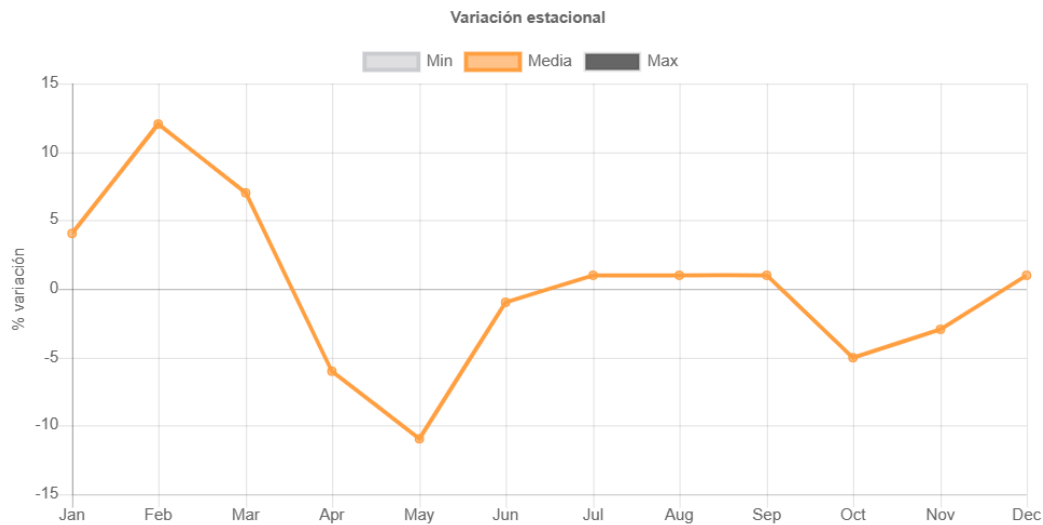


Figura 12. Variación estacional del municipio de Remedios Antioquia

Fuente: extraído de <https://www.enair.es/es/app>

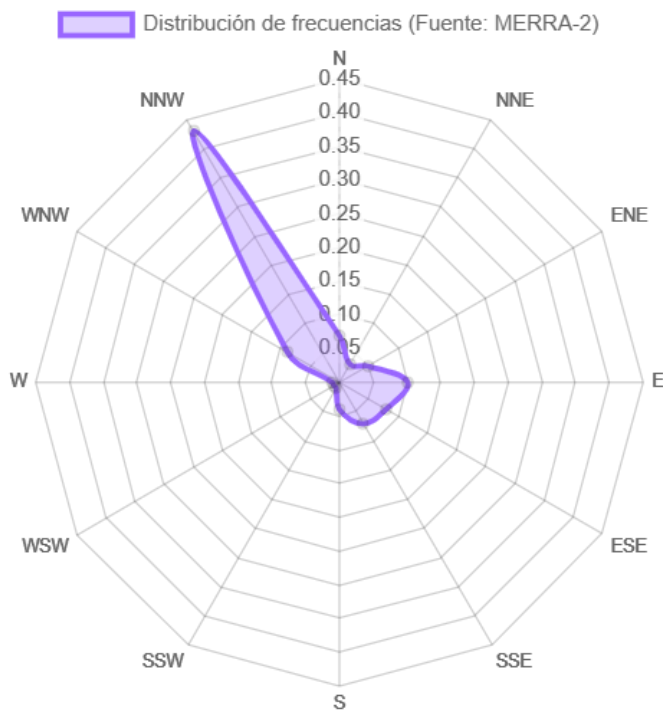


Figura 13. Distribución de frecuencias (Rosa des vientos) del municipio de Remedios Antioquia

Fuente: extraído de <https://www.enair.es/es/app>

6.2.2 Energía eólica en Segovia. Con el software de Enair, utilizando la opción satelital se ubicó el municipio donde arrojó los datos de la Tabla 12. La variabilidad de vientos, su historial y variación estacional y la distribución de frecuencias (Rosa de vientos) de Segovia Antioquia se muestran en las Figura 14, 15 y 16 respectivamente.

Tabla 12.

Producción eólica en kWh de Segovia Antioquia

Meses	Velocidad del Viento (m/s)	kWh/día	kWh/mes	kWh/año
Enero	2,9	26,0	807	9560
Febrero	3,0	30,1	851	
Marzo	3,0	27,6	856	
Abril	2,8	22,3	669	
Mayo	2,7	20,3	628	
Junio	3,0	28,4	853	
Julio	3,1	31,9	988	
Agosto	3,0	29,3	907	
Septiembre	3,0	27,6	828	
Octubre	2,8	22,3	692	
Noviembre	2,8	23,0	691	
Diciembre	2,9	25,2	783	
Promedio	2,9	26,2	797	

Fuente: <https://www.enair.es/es/app>

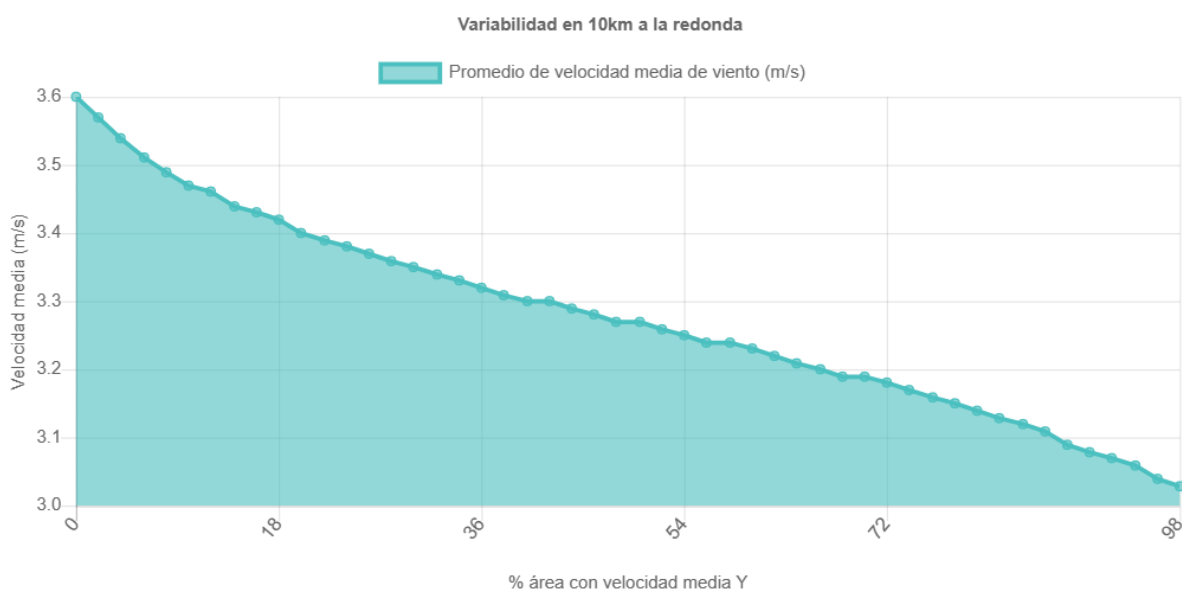


Figura 14. Variabilidad en 10 km a la redonda del municipio de Segovia Antioquia

Fuente: extraído de <https://www.enair.es/es/app>

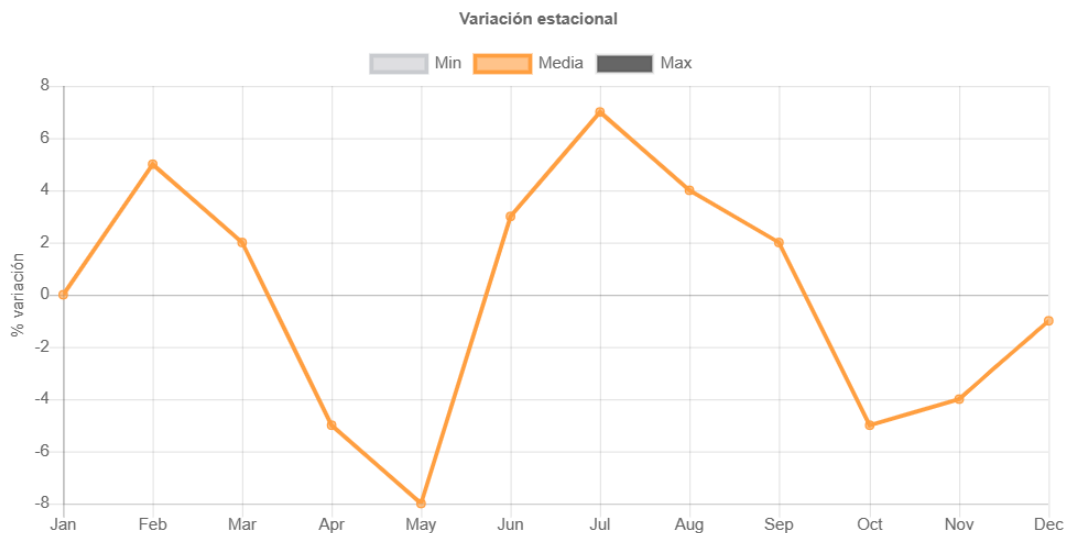


Figura 15. Variación estacional del municipio de Segovia Antioquia

Fuente: extraído de <https://www.enair.es/es/app>

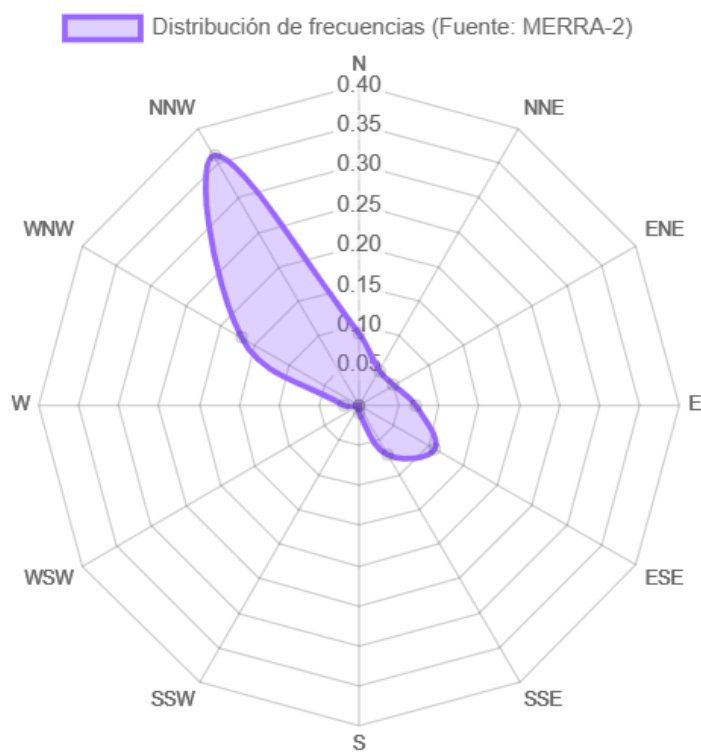


Figura 16. Distribución de frecuencias (Rosa des vientos) del municipio de Segovia Antioquia

Fuente: extraído de <https://www.enair.es/es/app>

6.2.3 Energía eólica en Amalfi. Con el software de Enair, utilizando la opción satelital se ubicó el municipio donde arrojó los datos de la Tabla 13. La variabilidad de vientos, su historial y variación estacional y la distribución de frecuencias (Rosa de vientos) de Amalfi Antioquia se muestran en las Figura 17, 18 y 19 respectivamente.

Tabla 13.

Producción eólica en kWh de Amalfi Antioquia

	Velocidad del Viento (m/s)	kWh/día	kWh/mes	kWh/año
Enero	2,1	11,3	349	5724
Febrero	2,1	11,6	329	
Marzo	2,3	16,4	508	
Abril	2,3	15,5	464	
Mayo	2,3	15,9	494	
Junio	2,4	18,4	552	
Julio	2,5	21,1	655	
Agosto	2,5	20,0	620	
Septiembre	2,4	18,4	552	
Octubre	2,2	14,1	437	
Noviembre	2,1	11,6	349	
Diciembre	2,2	13,7	424	
Promedio	2,3	15,7	477	

Fuente: <https://www.enair.es/es/app>

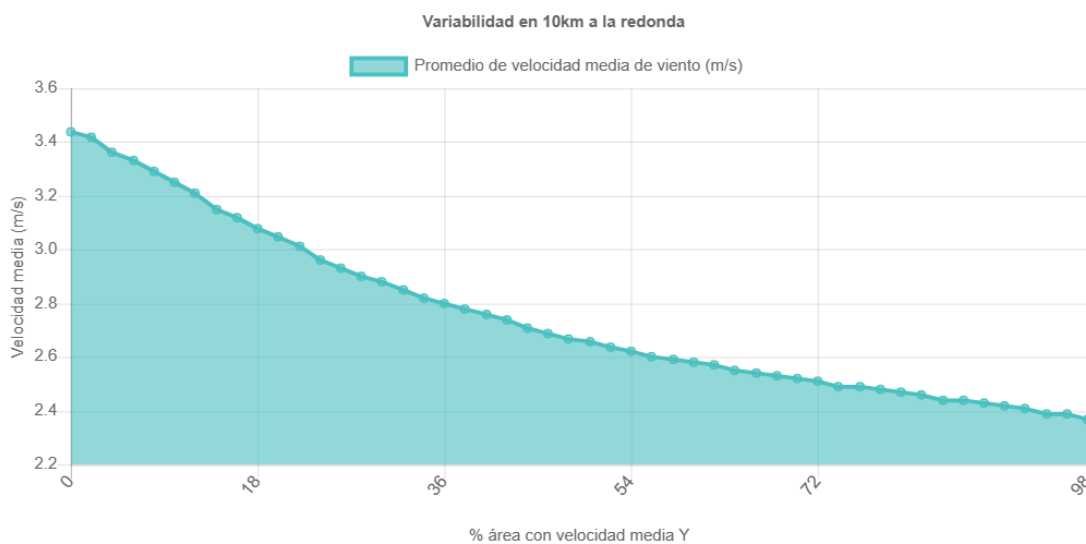


Figura 17. Variación estacional del municipio de Amalfi Antioquia

Fuente: extraído de <https://www.enair.es/es/app>

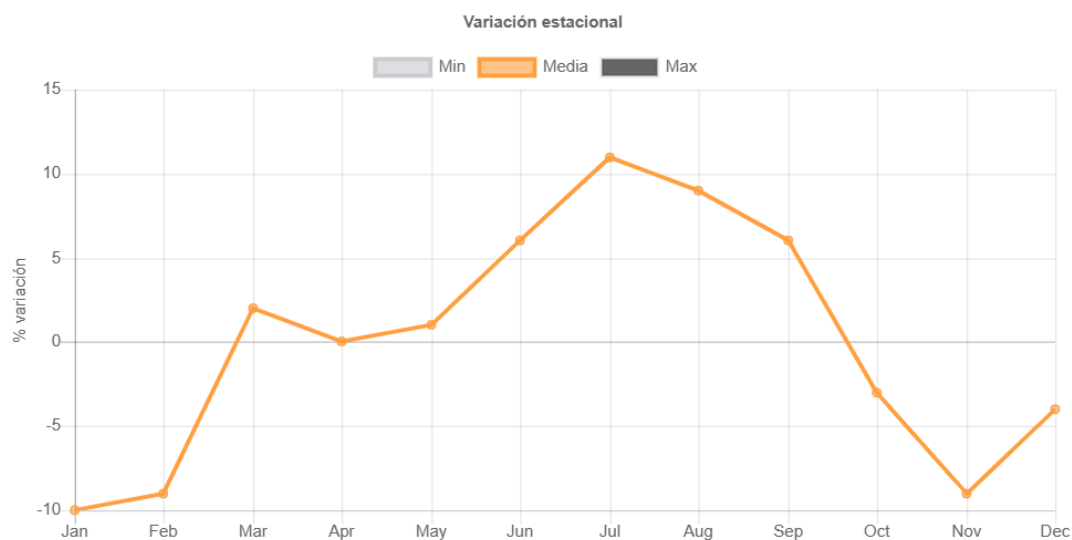


Figura 18. Variación estacional del municipio de Segovia Antioquia

Fuente: extraído de <https://www.enair.es/es/app>

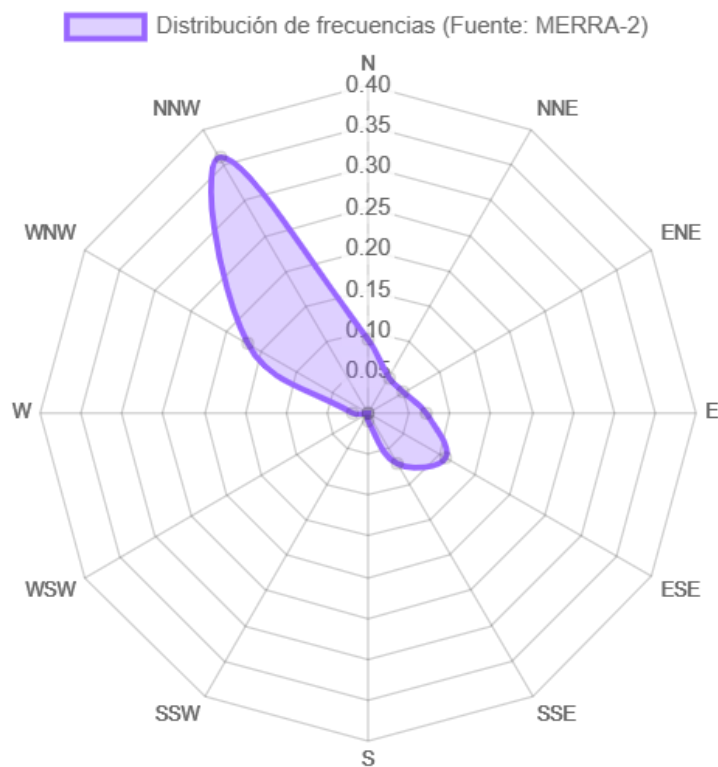


Figura 19. Distribución de frecuencias (Rosa des vientos) del municipio de Amalfi Antioquia

Fuente: extraído de <https://www.enair.es/es/app>

6.2.4 Energía eólica en Anorí. Con el software de Enair, utilizando la opción satelital se ubicó el municipio donde arrojó los datos de la Tabla 14. La variabilidad de vientos, su historial y variación estacional y la distribución de frecuencias (Rosa de vientos) de Anorí Antioquia se muestran en las Figura 20, 21 y 22 respectivamente.

Tabla 14.

Producción eólica en kWh de Anorí Antioquia

Meses	Velocidad del Viento (m/s)	kWh/día	kWh/mes	kWh/año
Enero	1,6	6,0	187	2563
Febrero	1,7	7,0	199	
Marzo	1,8	7,5	231	
Abril	1,7	6,2	187	
Mayo	1,7	6,4	199	
Junio	1,7	7,0	211	
Julio	1,7	7,0	218	
Agosto	1,8	7,9	245	
Septiembre	1,8	7,7	231	
Octubre	1,8	7,2	225	
Noviembre	1,7	6,2	187	
Diciembre	1,8	7,9	245	
Promedio	1,7	7,0	214	

Fuente: <https://www.enair.es/es/app>

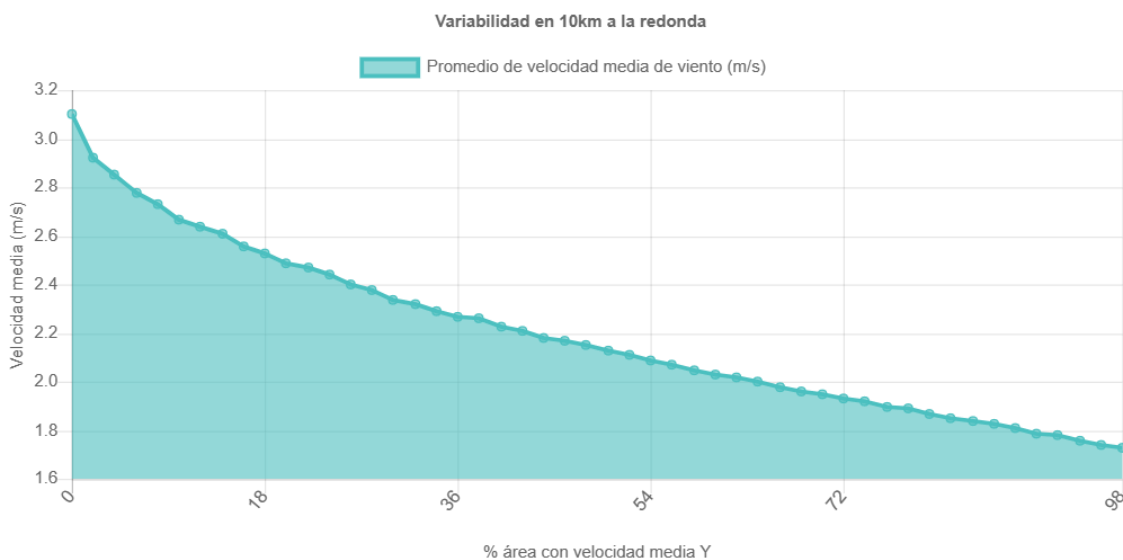


Figura 20. Variabilidad en 10 km a la redonda del municipio de Anorí Antioquia

Fuente: extraído de <https://www.enair.es/es/app>

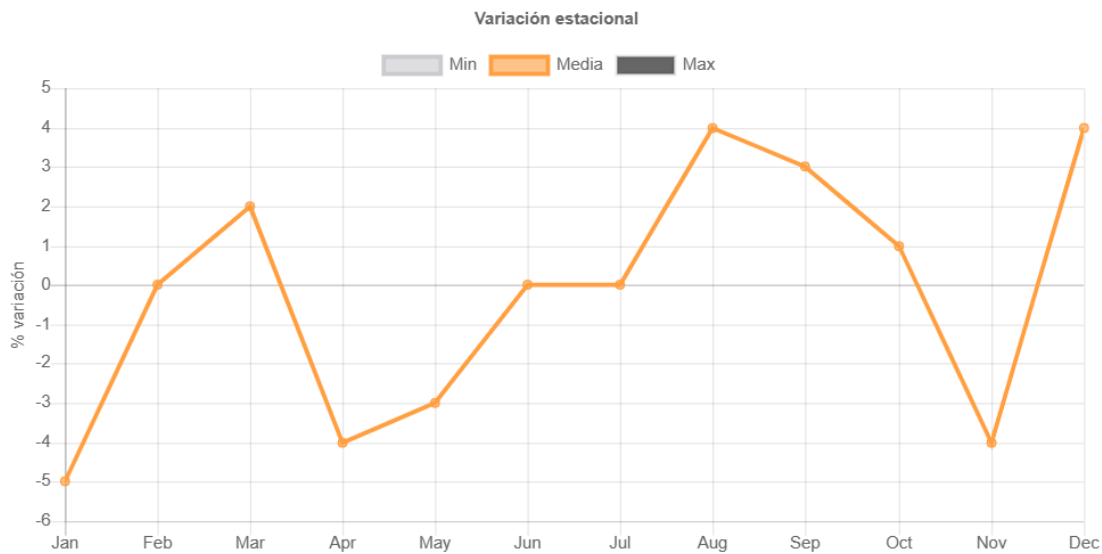


Figura 21. Variación estacional del municipio de Anorí Antioquia

Fuente: extraído de <https://www.enair.es/es/app>

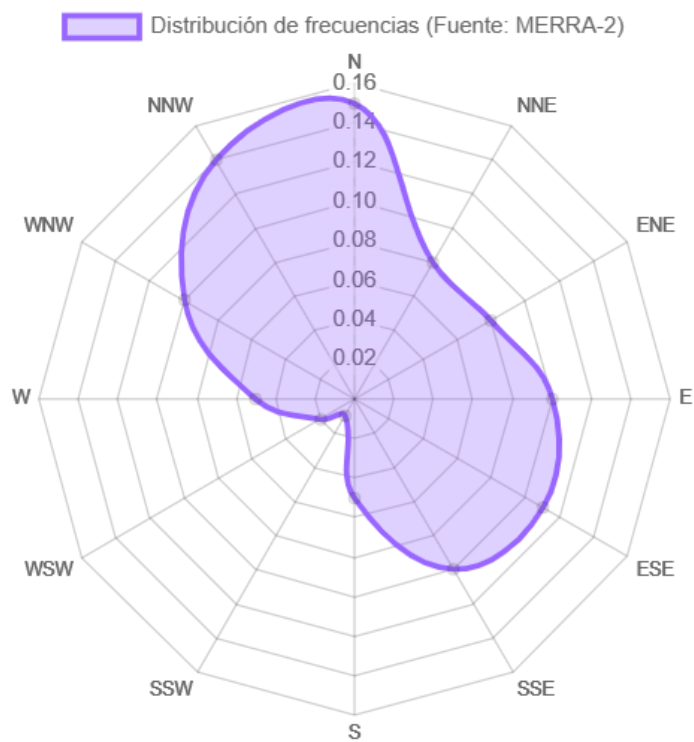


Figura 22. Distribución de frecuencias (Rosa des vientos) del municipio de Anorí Antioquia

Fuente: extraído de <https://www.enair.es/es/app>

6.2.5 Energía eólica en Cisneros. Con el software de Enair, utilizando la opción satelital se ubicó el municipio donde arrojó los datos de la Tabla 15. La variabilidad de vientos, su historial y variación estacional y la distribución de frecuencias (Rosa de vientos) de Cisneros Antioquia se muestran en las Figura 23, 24 y 25 respectivamente.

Tabla 15.

Producción eólica en kWh de Cisneros Antioquia

Meses	Velocidad del Viento (m/s)	kWh/día	kWh/mes	kWh/año
Enero	2,6	21,4	663	10418
Febrero	2,9	31,0	876	
Marzo	2,9	30,1	934	
Abril	2,9	30,1	903	
Mayo	2,8	27,5	854	
Junio	2,8	28,4	851	
Julio	2,9	29,2	906	
Agosto	2,9	31,9	989	
Septiembre	3,0	34,8	1043	
Octubre	2,8	28,4	880	
Noviembre	2,7	23,6	707	
Diciembre	2,7	25,9	803	
Promedio	2,8	28,5	868	

Fuente: <https://www.enair.es/es/app>

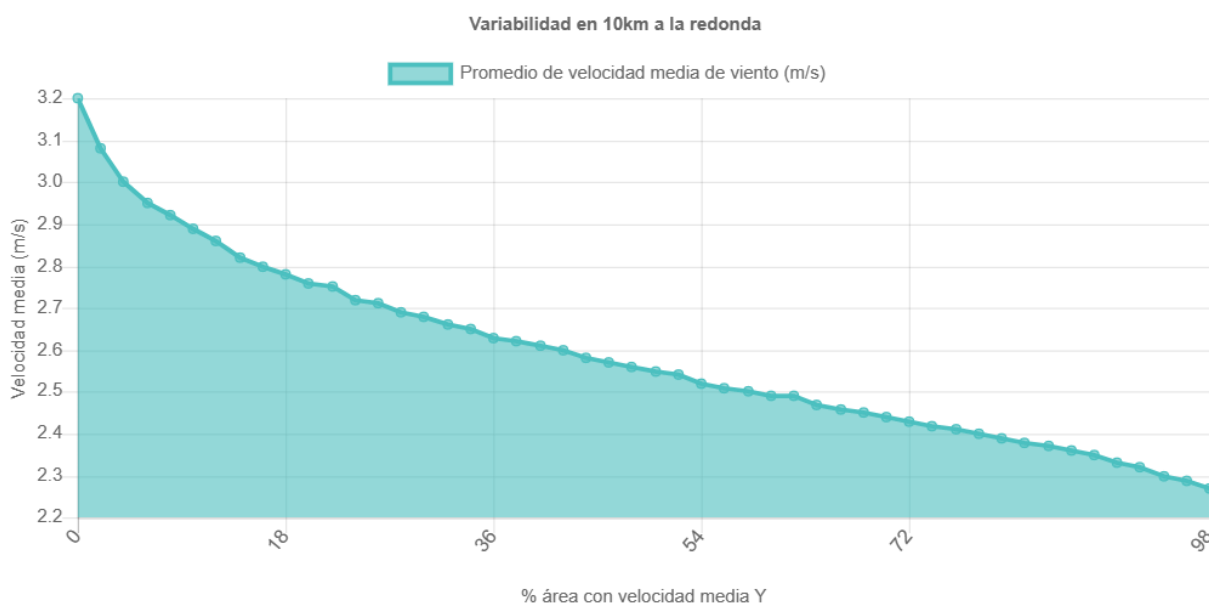


Figura 23. Variabilidad en 10 km a la redonda del municipio de Cisneros Antioquia

Fuente: extraído de <https://www.enair.es/es/app>

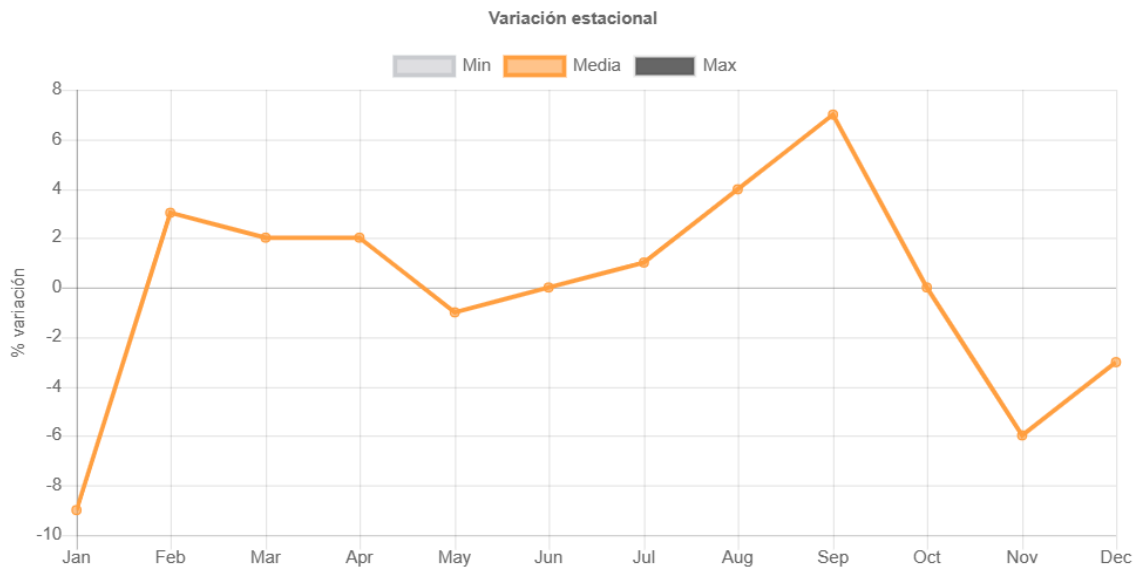


Figura 24. Variación estacional del municipio de Cisneros Antioquia

Fuente: <https://www.enair.es/es/app>

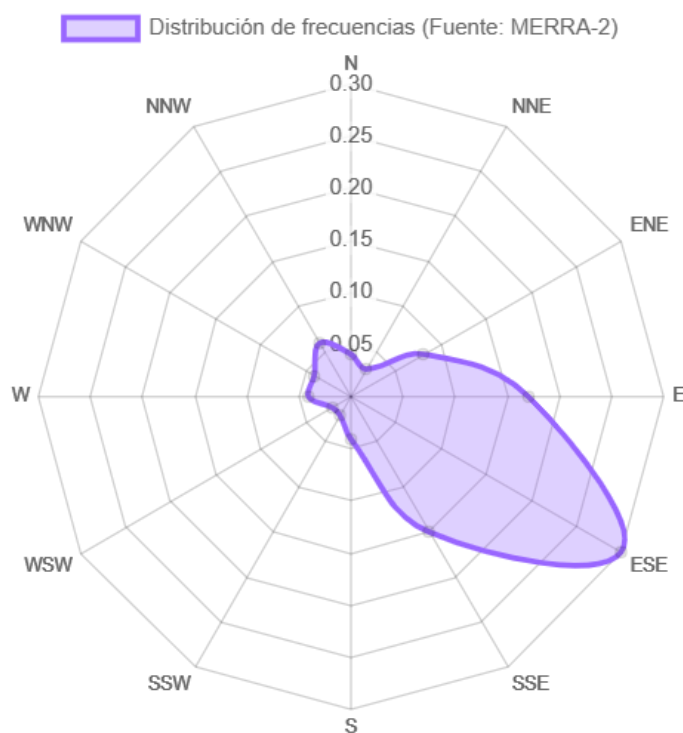


Figura 25. Distribución de frecuencias (Rosa des vientos) del municipio de Cisneros Antioquia

Fuente: extraído de <https://www.enair.es/es/app>

6.2.6 Energía eólica en San Roque. Con el software de Enair, utilizando la opción satelital se ubicó el municipio donde arrojó los datos de la Tabla 16. La variabilidad de vientos, su historial y variación estacional y la distribución de frecuencias (Rosa de vientos) de San Roque Antioquia se muestran en las Figura 26, 27 y 28 respectivamente.

Tabla 16.

Producción eólica en kWh de San Roque Antioquia

Meses	Velocidad del Viento (m/s)	kWh/día	kWh/mes	kWh/año
Enero	1,9	6,7	207	3041
Febrero	2,0	7,8	220	
Marzo	2,2	9,3	289	
Abril	2,1	8,3	249	
Mayo	2,0	8,0	249	
Junio	2,1	8,8	264	
Julio	2,1	9,1	281	
Agosto	2,2	9,6	297	
Septiembre	2,3	10,7	322	
Octubre	2,1	8,3	257	
Noviembre	2,0	7,1	213	
Diciembre	1,9	6,2	194	
Promedio	2,1	8,3	253	

Fuente: <https://www.enair.es/es/app>

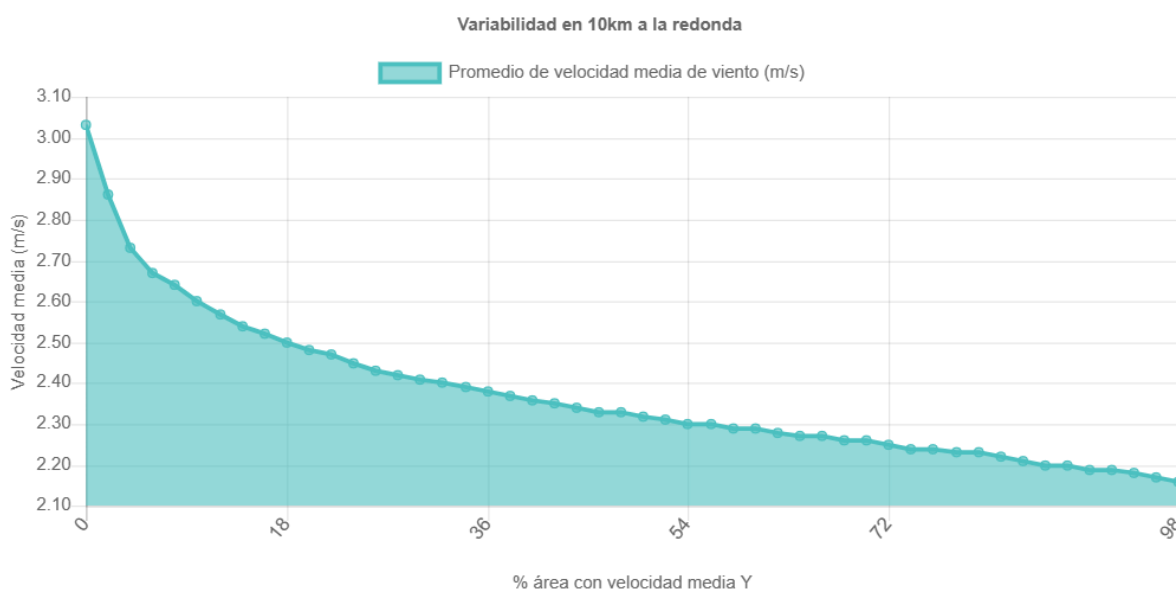


Figura 26. Variabilidad en 10 km a la redonda del municipio de San Roque Antioquia

Fuente: extraído de <https://www.enair.es/es/app>

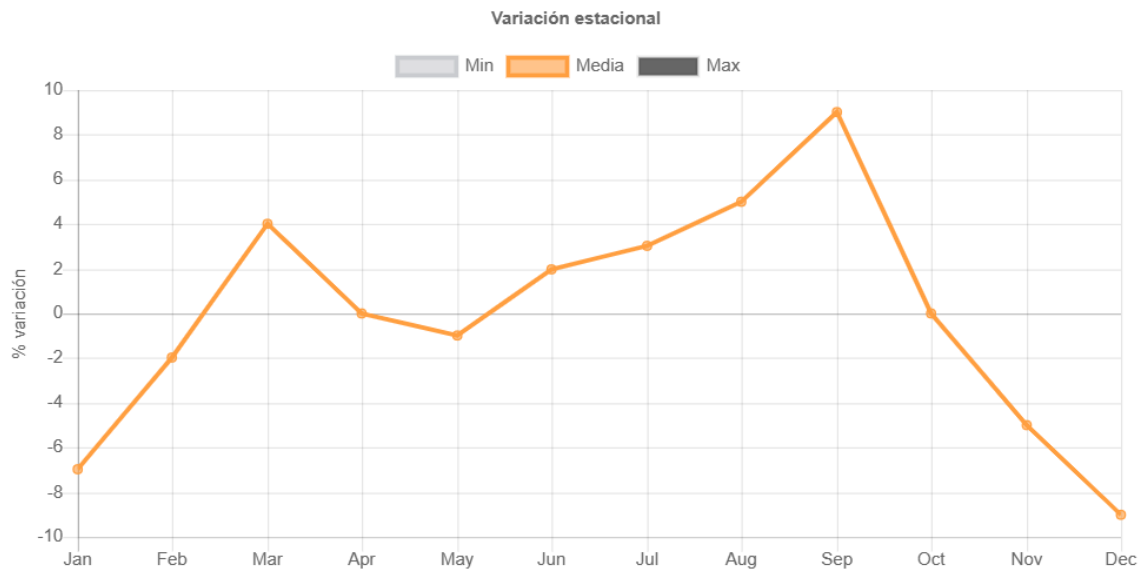


Figura 27. Variación estacional del municipio de San Roque Antioquia

Fuente: extraído de <https://www.enair.es/es/app>

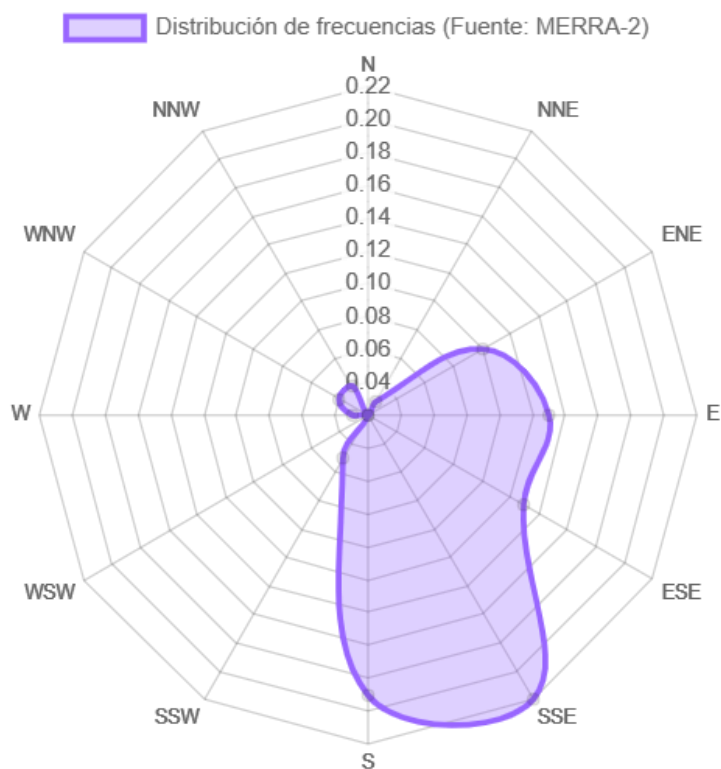


Figura 28. Distribución de frecuencias (Rosa des vientos) del municipio de San Roque Antioquia

Fuente: extraído de <https://www.enair.es/es/app>

6.2.7 Energía eólica en Santo Domingo. Con el software de Enair, utilizando la opción satelital se ubicó el municipio donde arrojó los datos de la Tabla 17. La variabilidad de vientos, su historial y variación estacional y la distribución de frecuencias (Rosa de vientos) de Santo Domingo Antioquia se muestran en las Figura 29, 30 y 31 respectivamente.

Tabla 17.

Producción eólica en kWh de Santo Domingo Antioquia

Meses	Velocidad del Viento (m/s)	kWh/día	kWh/mes	kWh/año
Enero	2,0	6,7	207	3413
Febrero	2,2	8,9	251	
Marzo	2,3	10,0	310	
Abril	2,2	9,1	274	
Mayo	2,2	8,9	275	
Junio	2,3	11,2	336	
Julio	2,4	12,5	388	
Agosto	2,3	11,2	347	
Septiembre	2,4	12,2	365	
Octubre	2,1	8,6	267	
Noviembre	2,0	6,7	200	
Diciembre	1,9	6,2	193	
Promedio	2,2	9,3	284	

Fuente: <https://www.enair.es/es/app>

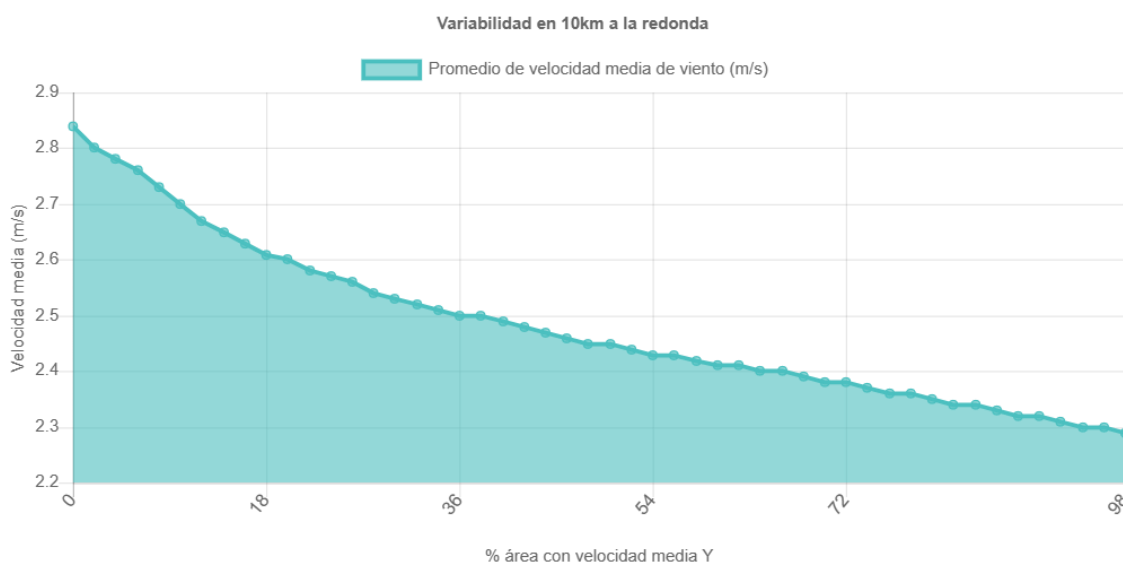


Figura 29. Variabilidad en 10 km a la redonda del municipio de Santo Domingo Antioquia

Fuente: extraído de <https://www.enair.es/es/app>

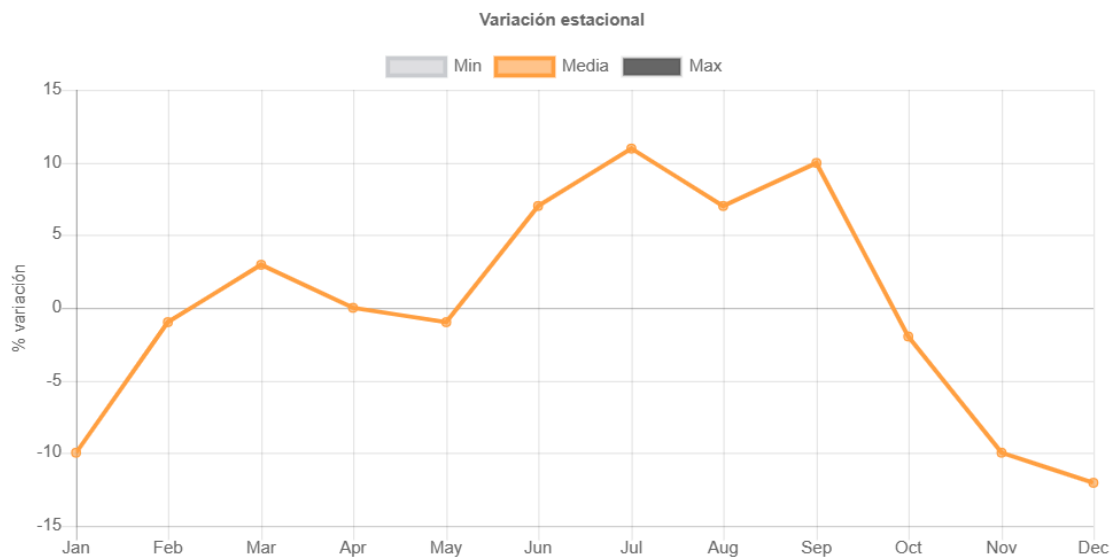


Figura 30. Variación estacional del municipio de Santo Domingo Antioquia

Fuente: extraído de <https://www.enair.es/es/app>

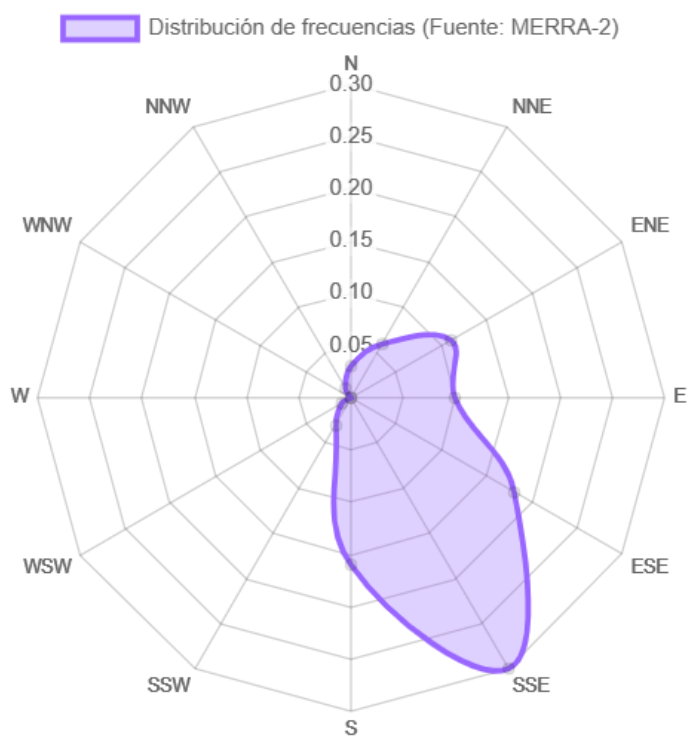


Figura 31. Distribución de frecuencias (Rosa des vientos) del municipio de Santo Domingo Antioquia

Fuente: extraído de <https://www.enair.es/es/app>

6.2.8 Energía eólica en Vegachí. Con el software de Enair, utilizando la opción satelital se ubicó el municipio donde arrojó los datos de la Tabla 18. La variabilidad de vientos, su historial y variación estacional y la distribución de frecuencias (Rosa de vientos) de Vegachí Antioquia se muestran en las Figura 32, 33 y 34 respectivamente.

Tabla 18.

Producción eólica en kWh de Vegachí Antioquia

Meses	Velocidad del Viento (m/s)	kWh/día	kWh/mes	kWh/año
Enero	2,9	25,5	790	9660
Febrero	3,1	32,2	909	
Marzo	2,9	26,3	814	
Abril	2,6	19,1	574	
Mayo	2,7	19,8	613	
Junio	2,9	26,3	788	
Julio	3,0	28,7	889	
Agosto	3,1	30,4	942	
Septiembre	3,1	31,3	938	
Octubre	2,9	25,5	790	
Noviembre	2,9	25,5	764	
Diciembre	2,9	27,0	838	
Promedio	2,9	26,4	805	

Fuente: <https://www.enair.es/es/app>

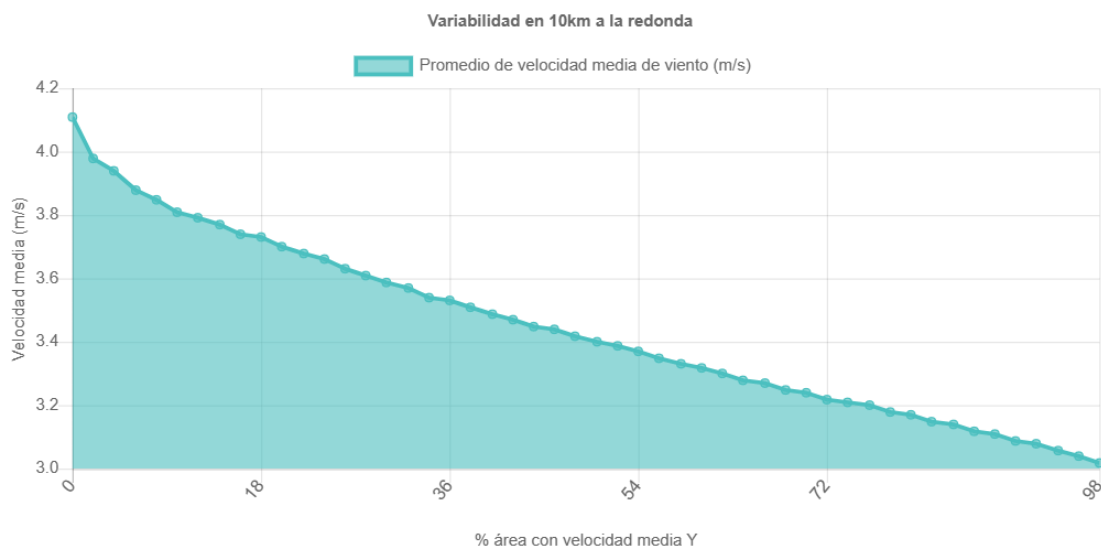


Figura 32. Variabilidad en 10 km a la redonda del municipio de Vegachí Antioquia

Fuente: extraído de <https://www.enair.es/es/app>

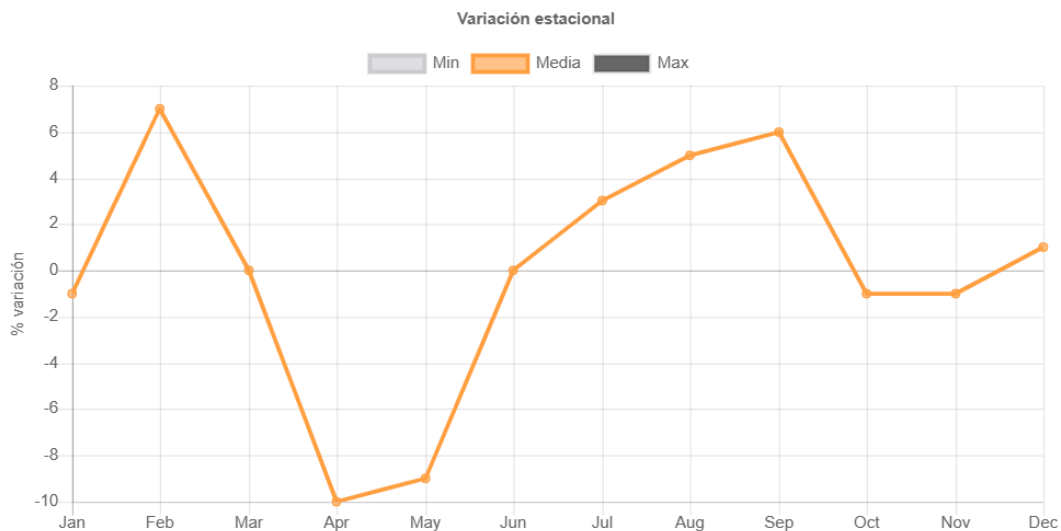


Figura 33. Variación estacional del municipio de Vegachí Antioquia

Fuente: extraído de <https://www.enair.es/es/app>

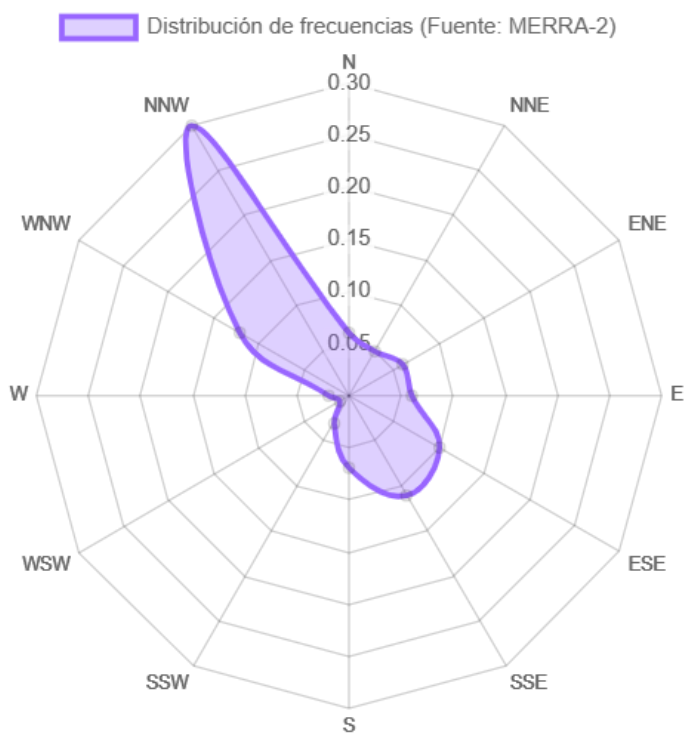


Figura 34. Distribución de frecuencias (Rosa des vientos) del municipio de Vegachí Antioquia

Fuente: extraído de <https://www.enair.es/es/app>

6.2.9 Energía eólica en Yalí. Con el software de Enair, utilizando la opción satelital se ubicó el municipio donde arrojó los datos de la Tabla 19. La variabilidad de vientos, su historial y variación estacional y la distribución de frecuencias (Rosa de vientos) de Yalí Antioquia se muestran en las Figura 35, 36 y 37 respectivamente.

Tabla 19.

Producción eólica en kWh de Yalí Antioquia

Meses	Velocidad del Viento (m/s)	kWh/día	kWh/mes	kWh/año
Enero	2,4	15,1	468	6320
Febrero	2,7	20,3	575	
Marzo	2,5	17,6	545	
Abril	2,2	12,0	361	
Mayo	2,3	12,4	386	
Junio	2,6	18,1	544	
Julio	2,7	20,3	630	
Agosto	2,7	20,3	630	
Septiembre	2,8	22,1	663	
Octubre	2,5	16,6	514	
Noviembre	2,5	16,1	482	
Diciembre	2,5	16,6	514	
Promedio	2,5	17,3	527	

Fuente: <https://www.enair.es/es/app>

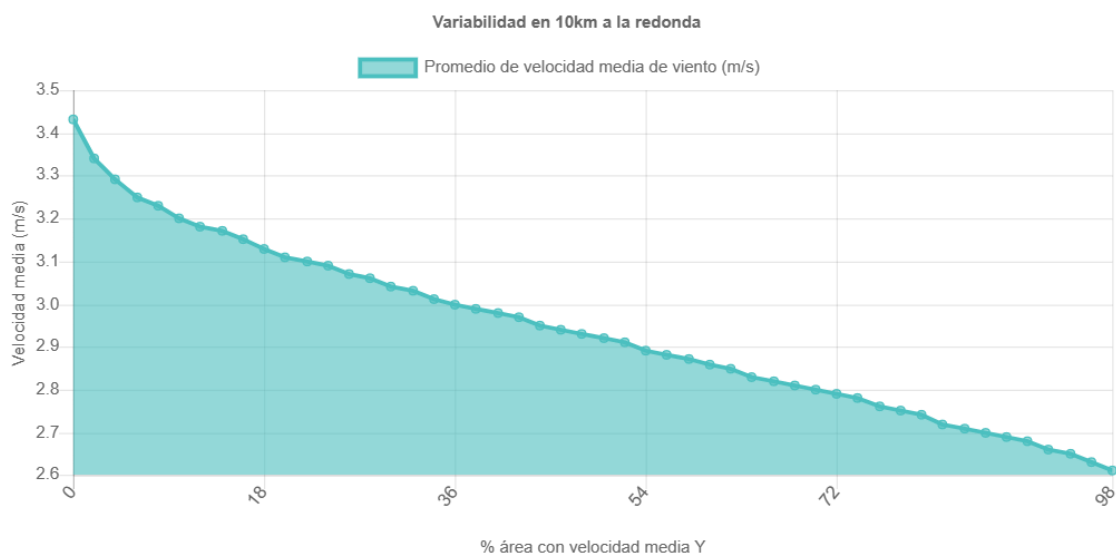


Figura 35. Variabilidad en 10 km a la redonda del municipio de Yalí Antioquia

Fuente: extraído de <https://www.enair.es/es/app>

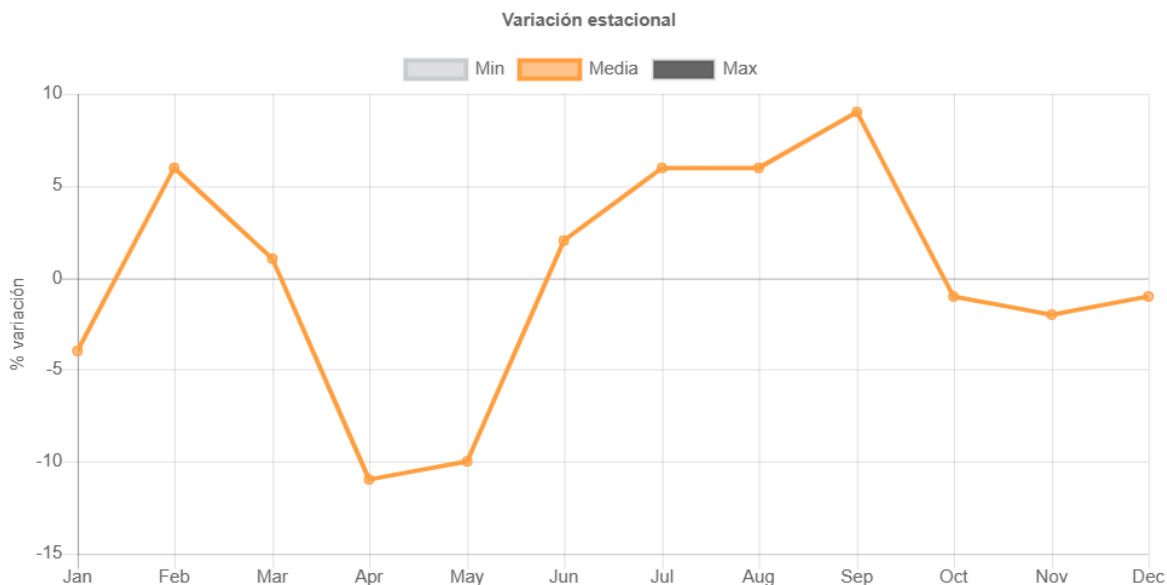


Figura 36. Variación estacional del municipio de Yalí Antioquia

Fuente: extraído de <https://www.enair.es/es/app>

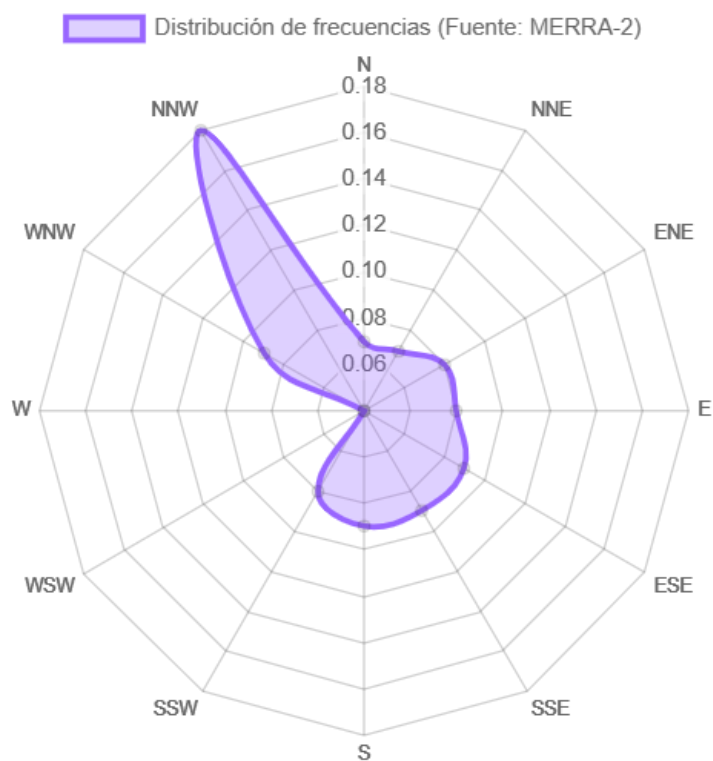


Figura 37. Distribución de frecuencias (Rosa des vientos) del municipio de Yalí Antioquia

Fuente: extraído de <https://www.enair.es/es/app>

6.2.10 Energía eólica en Yolombó. Con el software de Enair, utilizando la opción satelital se ubicó el municipio donde arrojó los datos de la Tabla 20. La variabilidad de vientos, su historial y variación estacional y la distribución de frecuencias (Rosa de vientos) de Yolombó Antioquia se muestran en las Figura 38, 39 y 40 respectivamente

Tabla 20.

Producción eólica en kWh de Yolombó Antioquia

Meses	Velocidad del Viento (m/s)	kWh/día	kWh/mes	kWh/año
Enero	2,9	22,9	708	10118
Febrero	3,1	28,3	801	
Marzo	3,1	29,2	905	
Abril	3,0	26,7	801	
Mayo	2,9	25,1	778	
Junio	3,2	30,9	928	
Julio	3,2	30,9	959	
Agosto	3,2	32,8	1016	
Septiembre	3,3	34,7	1040	
Octubre	3,0	25,9	803	
Noviembre	2,8	21,4	643	
Diciembre	2,9	23,6	731	
Promedio	3,0	27,7	843	

Fuente: <https://www.enair.es/es/app>

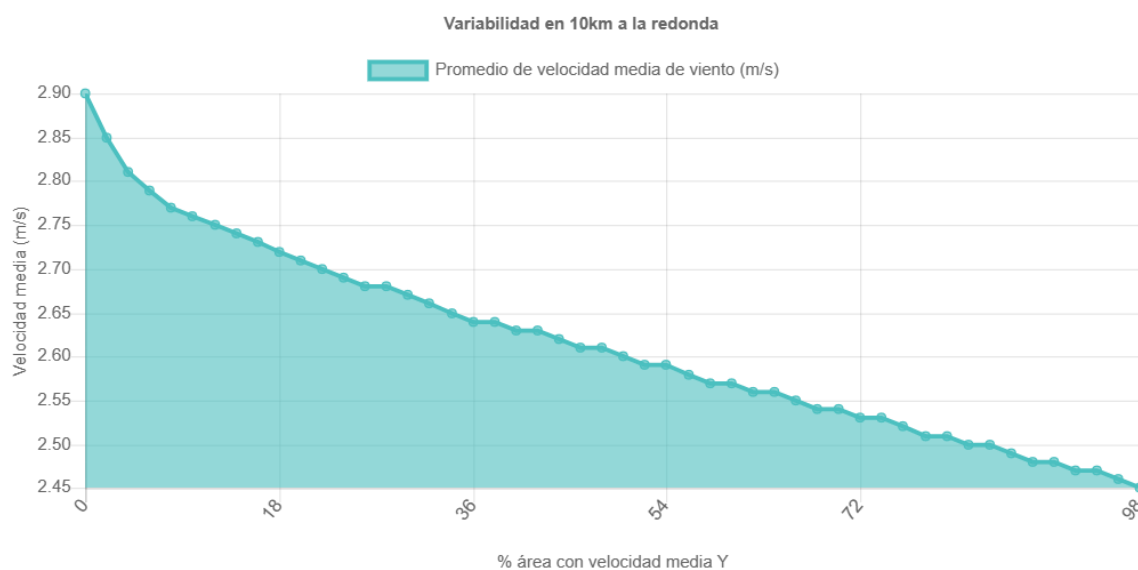


Figura 38. Variabilidad en 10 km a la redonda del municipio de Yolombó Antioquia

Fuente: extraído de <https://www.enair.es/es/app>

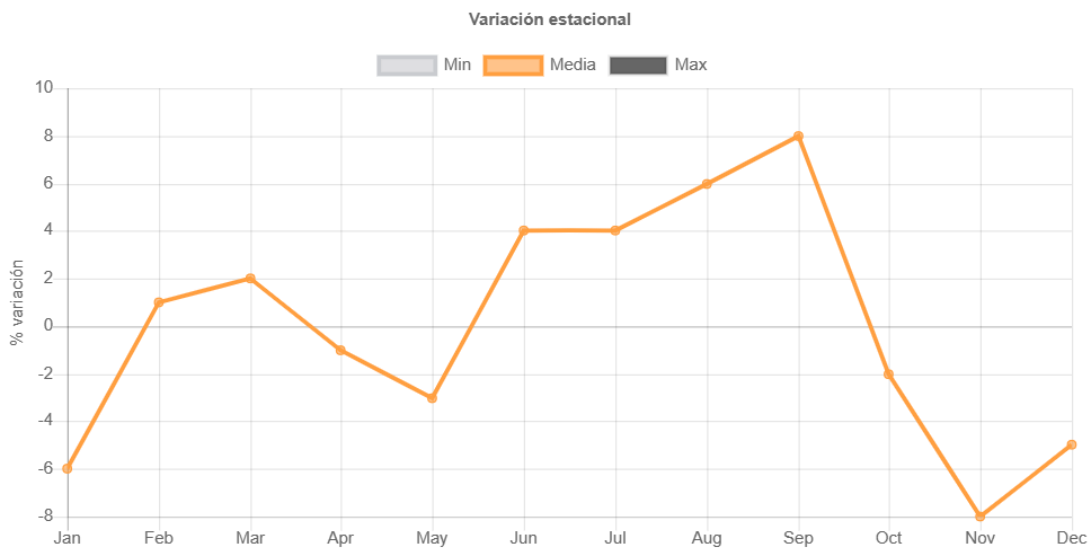


Figura 39. Variación estacional del municipio de Yolombó Antioquia

Fuente: extraído de <https://www.enair.es/es/app>

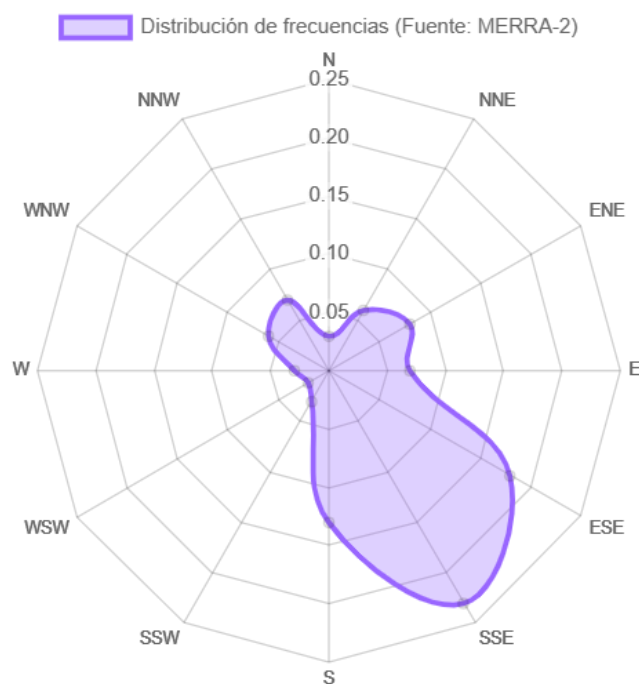


Figura 40. Distribución de frecuencias (Rosa des vientos) del municipio de Yolombó Antioquia

Fuente: extraído de <https://www.enair.es/es/app>

De acuerdo con la información analizada sobre la generación eólica en la región, se puede deducir que los municipios del Nordeste de Antioquia podrían generar energía eólica, porque su

rango de producción va desde 2563 kWh/año hasta 15493 kWh/año, esto sugiere que la región tiene un potencial eólico significativo para la generación de energía.

Este rango de producción de energía eólica indica que los municipios de la región están experimentando velocidades de viento adecuadas y tienen condiciones climáticas propicias para la generación de energía eólica. La variabilidad dentro del rango puede deberse a diferencias en la topografía, la exposición al viento y otros factores locales.

Es importante tener en la cuenta que el potencial eólico puede variar dentro de una región debido a factores como la topografía, la presencia de obstáculos naturales y la distribución geográfica de los recursos eólicos. Sin embargo, en general, el rango de producción de energía eólica que he identificado a través de la investigación sugiere que la región del Nordeste de Antioquia tiene un potencial eólico prometedor para la generación de energía limpia y renovable

6.3 Energía hidroeléctrica

El nordeste antioqueño tiene la capacidad de aplicar energía hidroeléctrica en su región por diversas razones:

Abundancia de recursos hídricos: La región cuenta con una gran cantidad de ríos y quebradas debido a su topografía montañosa y su clima húmedo. Estos cuerpos de agua proporcionan un suministro constante de agua que puede ser aprovechado para la generación de energía hidroeléctrica.

Potencial energético: Los ríos y quebradas del Nordeste Antioqueño presentan caudales significativos y desniveles que ofrecen un gran potencial para la instalación de centrales hidroeléctricas. La energía cinética del agua en movimiento puede convertirse en energía eléctrica de manera eficiente a través de turbinas hidroeléctricas.

Bajo impacto ambiental: La energía hidroeléctrica es una fuente de energía limpia y renovable que produce cero emisiones de gases de efecto invernadero y tiene un bajo impacto ambiental en

comparación con las fuentes de energía convencionales. La generación hidroeléctrica también puede ayudar a controlar las inundaciones y regular el flujo de agua en la región.

Estabilidad y confiabilidad: La energía hidroeléctrica ofrece una fuente de energía estable y confiable, ya que la disponibilidad de agua tiende a ser constante a lo largo del año. Esto contribuye a la seguridad energética y a la reducción de la dependencia de combustibles fósiles importados.

Beneficios económicos y sociales: La construcción y operación de centrales hidroeléctricas pueden generar empleo local, impulsar el desarrollo económico y mejorar la infraestructura en las comunidades cercanas. Además, los ingresos generados por la venta de energía pueden destinarse a proyectos sociales y de desarrollo en la región.

Como se mencionó anteriormente la región del nordeste antioqueño tiene el suficiente recurso hídrico para la generación de energía hidroeléctrica, la falencia se encuentra es que los ríos y quebradas de esta zona en su mayoría no cuentan con la debida caracterización, por lo tanto se tomará como ejemplo los ríos y quebradas más relevantes del municipio de Remedios Antioquia, que es el único municipio del cual se pudo encontrar caracterización de sus fuentes hídricas, no una caracterización completa, pero si los datos necesarios para saber si los ríos y quebradas cuentan con el suficiente recursos para generar energía.

6.3.1 Energía hidráulica en Remedios. Como no se conoce la altura de cada fuente hídrica, se tendrá en la cuenta la altura sobre el nivel del mar de cada fuente, para hallar el cálculo del potencial, de las fuentes que se mencionan a continuación, se tomarán dos fuentes hídricas para hacer el respectivo calculo, se tomará la fuente con el menor y mayor Q aforado, para hallar el potencial y así se podrá deducir el potencial para generar energía en el municipio. En la Tabla 21 se muestran las fuentes hídricas del municipio de Remedios.

Tabla 21.

Fuentes hídricas caracterizadas del municipio de Remedios Antioquia

VEREDA	FUENTE	Q aforado (l/s)	Q requerido(l/s)	CAPACIDAD DE LA FUENTE
Costeñal	Quebrada la Junta	70	1.3	Cumple
El Retiro	Nacimiento la Estrella	0.6	0.4	Cumple
Otú	Quebrada Otú	18	0.32	Cumple
La Culebra	La Culebra	810	12	Cumple
La Primavera	La Primavera	4.8	10	Cumple
Cañaverál	Quebrada Cañaverál	20	1	Cumple
Rio Bagre	Quebrada Rio Bagre	12	1	Cumple
Marmajón	Quebrada las Brujas	3	1	Cumple
Lejanías	Quebrada la Esmeralda	15	2.3	Cumple
El Mosquito	Quebrada el Mosquito	2.5	0.11	<i>Cumple</i>
Carrizal	Quebrada Barbascalito	4.5	2.92	<i>Cumple</i>
Cancha de Manila	Quebrada Cancha de Manila	4.3	1.3	<i>Cumple</i>
Playa Linda	Quebrada el Bosque	10	0.65	<i>Cumple</i>
Rio Negrito	Quebrada Rio Negrito	4.1	0.17	<i>Cumple</i>
El Popero	Quebrada el Popero	2.8	0.4	<i>Cumple</i>
Campo Bijao	Quebrada la Cristalina	50	0.91	Cumple
Paso de la Mula	Quebrada la Fiera	3.8	0.81	Cumple
La Gorgona	Quebrada Marbel	3.4	0.65	Cumple
Plaza Nueva	Quebrada el Rangano	2.9	0.39	Cumple

El Carmen	Pozo de aguas subterráneas	13	3.9	Cumple
Panamá 9	Quebrada Panamá 9	2.6	0.81	Cumple
Mina Nueva	Quebrada Caño Pelín	4.5	1.62	Cumple
Puerto Nuevo Ite	Quebrada la Roció	50	0.81	Cumple
Tamar Bajo	Quebrada la Muñeca	40	0.78	Cumple
Santa Marta	Quebrada el Tigre	2.5	0.65	Cumple

Fuente: <https://www.remedios-antioquia.gov.co/Transparencia/Informes/INFORME%20DE%20GESTION%20SMMA%202016-2019.pdf>

En la Tabla 22 se muestra la información de la fuente hídrica La Culebra.

Tabla 22.

Fuente hídrica La Culebra

Información de la fuente hídrica	
Vereda	La Culebra
Nombre de la	Quebrada la Culebra
Caudal aforado	810 l/s
Método de aforo	Área Velocidad
Coordenadas	N 7° 02' 0.18" W 74° 42' 54.7", altura: 721
Estado de la fuente	<p>Especies nativas:</p> <p>Estabilidad: Terrenos alledaños estables y abundante vegetación</p> <p>Actividades antrópicas: Aguas arriba de la bocatoma no hay asentamientos humanos, no existen actividades relacionadas con la agroindustria, la ganadería extensiva y/o actividades mineras.</p>

Q aforado (l/s) = 810 l/s

Q requerido(l/s) = 12l/s

Altura= 721msnm

Para calcular la potencia hidroeléctrica, primero se necesita obtener el caudal neto disponible, que es la diferencia entre el caudal aforado y el caudal requerido:

$$Q_{\text{neto}} = Q_{\text{aforado}} - Q_{\text{requerido}}$$

Dado que los caudales están en litros por segundo, se necesita convertirlos a metros cúbicos por segundo (m^3/s) para que las unidades sean consistentes. Se utiliza la relación: $1 \text{ l/s} = 0.001 \text{ m}^3/\text{s}$.

Entonces:

$$Q_{\text{aforado}} = 810 \text{ l/s} * 0,001 \text{ m}^3/\text{s/l} = 0,81 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{\text{requerido}} = 121 \text{ l/s} * 0,001 \text{ m}^3/\text{s/l} = 0,12 \text{ m}^3/\text{s}$$

Ahora se calcula el caudal neto:

$$Q_{\text{neto}} = 0,81 \text{ m}^3/\text{s} - 0,12 \text{ m}^3/\text{s} = 0,798 \text{ m}^3/\text{s}$$

Luego, se necesita conocer la altura neta de caída. Dado que solo se proporciona la altura sobre el nivel del mar, asumiremos que esta altura representa la altura neta de caída para hacer una estimación inicial, aunque no es un dato exacto, sirve como base esta altura para hallar la potencia.

$$H = 721 \text{ msnm}$$

Ahora, se utiliza la fórmula de potencia hidroeléctrica:

$$P = \eta \times \rho \times g \times Q_{\text{neto}} \times H$$

Donde:

η es la eficiencia del sistema (asumiremos un valor típico de 0.8).

ρ es la densidad del agua en kg/m^3 (aproximadamente $1000 \text{ kg}/\text{m}^3$).

g es la aceleración debido a la gravedad, aproximadamente $9,81 \text{ m}/\text{s}^2$

Q_{neto} es el caudal neto en metros cúbicos por segundo (m^3/s).

H es la altura neta de caída en metros (tomaremos la altura sobre el nivel del mar).

Se sustituyen los valores:

$$P=0,8*1000 \text{ kg/m}^3*9,81\text{m/s}^2*0,798\text{m}^3/\text{s}*721\text{metros}$$

$$P\approx 4515409,58\text{W}$$

En la Tabla 23 se muestra la información de la fuente hídrica La Estrella.

Tabla 23.

Fuente hídrica La Estrella

Información de la fuente hídrica	
Vereda	El Retiro
Nombre de la	Nacimiento la Estrella
Caudal aforado	0.6 l/s
Método de aforo	Área Velocidad
Coordenadas	N 6° 55' 0.12" W 74° 45' 54.9 ", altura: 1024
Estado de la fuente	Especies nativas: Karate, limoncillo y quiebra barrigas Estabilidad: Terrenos aledaños estables y abundante vegetación Actividades antrópicas: Aguas arriba de la bocatoma no hay asentamientos humanos, no existen actividades relacionadas con la agroindustria, la ganadería extensiva y/o actividades mineras.

$$Q \text{ aforado (l/s)} = 0,6 \text{ l/s}$$

$$Q \text{ requerido(l/s)} = 0,4\text{l/s}$$

$$\text{Altura} = 1024\text{msnm}$$

Para calcular la potencia hidroeléctrica, primero se necesita obtener el caudal neto disponible, que es la diferencia entre el caudal aforado y el caudal requerido:

$$Q_{\text{neto}} = Q_{\text{aforado}} - Q_{\text{requerido}}$$

Dado que los caudales están en litros por segundo, se necesita convertir a metros cúbicos por segundo (m^3/s) para que las unidades sean consistentes. Se utiliza la relación: $1 \text{ l/s} = 0.001 \text{ m}^3/s$.

Entonces:

$$Q_{\text{aforado}} = 0,6 \text{ l/s} * 0,001 \text{ m}^3/\text{l} = 0,0006 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{\text{requerido}} = 0,4 \text{ l/s} * 0,001 \text{ m}^3/\text{l} = 0,0004 \text{ m}^3/\text{s}$$

Ahora se calcula el caudal neto:

$$Q_{\text{neto}} = 0,0006 \text{ m}^3/\text{s} - 0,0004 \text{ m}^3/\text{s} = 0,0004 \text{ m}^3/\text{s}$$

Luego, necesita conocer la altura neta de caída. Dado que solo se proporciona la altura sobre el nivel del mar, asumiendo que esta altura representa la altura neta de caída para hacer una estimación inicial, aunque no es un dato exacto, sirve como base esta altura para hallar la potencia.

$$H = 1024 \text{ msnm}$$

Ahora, se utiliza la fórmula de potencia hidroeléctrica:

$$P = \eta \times \rho \times g \times Q_{\text{neto}} \times H$$

Donde

η es la eficiencia del sistema (se asume un valor típico de 0.8).

ρ es la densidad del agua en kg/m^3 (aproximadamente $1000 \text{ kg}/\text{m}^3$).

g es la aceleración debido a la gravedad, aproximadamente $9,81 \text{ m}/\text{s}^2$

Q_{neto} es el caudal neto en metros cúbicos por segundo (m^3/s).

H es la altura neta de caída en metros (se toma la altura sobre el nivel del mar).

Se sustituyen los valores.

$$P=0,8*1000 \text{ kg/m}^3*9,81\text{m/s}^2*0,0002\text{m}^3/\text{s}*1024\text{metros}$$

$$P\approx 1607,27\text{W}$$

Como se puede ver, se realizó el cálculo para la mayor y menor fuente hídrica del municipio de Remedios Antioquia, por lo cual se puede deducir que el municipio cuenta con fuentes de energía con buena potencia y no tan buena para generar energía eléctrica, como de los demás municipios del Nordeste no se encontró caracterización alguna sobre sus fuentes hídricas, pero de acuerdo al conocimiento que se tiene de la zona, las fuentes hídricas de los municipios son similares en su caudal, por lo que se puede deducir que el Nordeste Antioqueño cuenta con el suficiente recurso potencial para generar energía hidroeléctrica, pero para tener mayor certeza se debe realizar una caracterización más detallada de estas fuentes.

6.4 Biomasa

el nordeste antioqueño tiene la capacidad de aplicar energía de biomasa en su región por varias razones:

Abundancia de recursos biológicos: La región cuenta con una gran diversidad de recursos biológicos, incluyendo residuos agrícolas, forestales y agroindustriales, que pueden ser utilizados como materia prima para la producción de energía de biomasa. Estos recursos son renovables y están disponibles de manera constante en la región.

Potencial energético: La biomasa puede ser utilizada para generar calor, electricidad o biocombustibles, dependiendo de la tecnología utilizada. En el nordeste antioqueño, los residuos agrícolas como la cáscara de café, la bagaza de caña de azúcar y los desechos de madera pueden ser aprovechados para la generación de energía de manera eficiente y sostenible.

Reducción de residuos: El uso de biomasa para la generación de energía ayuda a reducir la cantidad de residuos orgánicos que de otra manera podrían terminar en vertederos o ser quemados

de manera no controlada, lo que contribuye a la contaminación ambiental. Al aprovechar estos residuos como combustible, se reduce la contaminación y se promueve una gestión más sostenible de los recursos naturales.

Beneficios económicos y sociales: La producción de energía de biomasa puede generar empleo local en la recolección, transporte y procesamiento de los materiales biológicos. Además, al utilizar recursos locales para la generación de energía, lo que puede contribuir a la seguridad energética y al desarrollo económico de la región.

Bajo impacto ambiental: Aunque la quema de biomasa puede generar emisiones de gases de efecto invernadero y contaminantes atmosféricos, la producción sostenible de biomasa y su uso eficiente en sistemas de generación de energía puede ser neutra en carbono y tener un impacto ambiental favorable en comparación con los combustibles fósiles.

Por conocimiento de la zona, el Nordeste Antioqueño cuenta con el potencial para generar energía Biomasa, pero por falta de caracterización de estos recursos no es posible tener datos claros y concretos de la cantidad de energía de este tipo que se pueda generar, por lo tanto las personas o entidades que deseen generar este tipo de energía en la región deben tener claridad que lo primero que se debe realizar es la caracterización para tener la información clara y así poder hacer posible este tipo de proyectos en el Nordeste de Antioquia.

6.5 Aspectos a tener en cuenta en un proyecto de generación de energía renovable en el nordeste antioqueño

Para el desarrollo de proyectos de energía eléctrica renovable en el nordeste antioqueño, es importante tener en cuenta algunos aspectos que permitan asegurar la viabilidad técnica, económica y ambiental del proyecto. A continuación, se describen los pasos clave que se deben tener en cuenta:

- A. Evaluación Inicial y Análisis de Viabilidad
 - a. Identificación de la Ubicación

- Selección de un sitio adecuado considerando los factores que se vieron en los apartados anteriores, además de la accesibilidad, la proximidad a la red eléctrica y las restricciones ambientales que pudieran presentarse.
 - Realización de estudios preliminares de viabilidad técnica y económica.
- b. Análisis de disponibilidad de suministro renovable
- Uso de datos meteorológicos y herramientas de simulación para evaluar la disponibilidad de recursos renovables (solares, eólicos, hidrológicos, biomasa, etc.) en la ubicación seleccionada.

B. Estudios de Factibilidad

a. Estudio Técnico

- Evaluación del tipo de tecnología más adecuada.
- Diseño preliminar del sistema, incluyendo la capacidad instalada, el número de dispositivos de generación, inversores y otros componentes necesarios.

b. Estudio Económico

- Análisis de costos de inversión, operación y mantenimiento.
- Evaluación de incentivos fiscales y financieros disponibles en Colombia para proyectos de energía renovable. Tener en cuenta la normativa colombiana relacionada con energías renovables, incluyendo la Ley 1715 de 2014 que promueve el desarrollo y la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional. En caso de querer conectarse al Sistema Interconectado Nacional, adicionalmente, darle cumplimiento a la Resolución CREG 135 de 2021 (Por la cual se establecen los mecanismos de protección y deberes de los usuarios del servicio público domiciliario de energía eléctrica que ejercen la actividad de Autogeneración a Pequeña Escala y entregan o venden sus excedentes al Comercializador que le presta el servicio.) y la Resolución CREG 174 de 2021 (Por la cual se regulan las actividades de autogeneración a pequeña escala y de generación distribuida en el Sistema Interconectado Nacional)
- Proyección de ingresos y análisis de rentabilidad (TIR, VAN, payback period).

c. Estudio Ambiental

- Identificación de impactos ambientales potenciales y medidas de mitigación.

- Obtención de licencias ambientales y permisos necesarios. Aquí es importante tener en cuenta, los requisitos de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (<https://creg.gov.co/publicaciones/15065/marco-regulatorio/>), tales como:
 - Elaboración del Diagnóstico Ambiental de Alternativas para proyectos puntuales, Resolución 1255 del 30 de junio de 2006.
 - Elaboración del estudio de impacto ambiental para la construcción y operación de centrales generadoras de energía hidroeléctricas, Resolución 1519 del 26 de julio de 2017.
 - Elaboración del diagnóstico ambiental de alternativas – DAA en proyectos de uso de biomasa para generación de energía, Resolución 1910 del 14 de septiembre de 2017.
 - Elaboración del estudio de impacto ambiental en proyectos de uso de biomasa para la generación de energía, Resolución 1060 del 7 de octubre de 2021.
 - Elaboración del estudio de impacto ambiental – EIA en proyectos de uso de energía eólica continental, Resolución 1312 del 11 de agosto de 2016.
 - Términos de referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental – EIA en proyectos de uso de energía solar fotovoltaica, Resolución 1670 del 15 de Agosto de 2017.

Igualmente, es importante identificar las regulaciones específicas de la Corporación Ambiental Regional para el Centro de Antioquia, CORANTIOQUIA.

C. Diseño Detallado del Proyecto

a. Ingeniería de Detalle

- Elaboración de planos y especificaciones técnicas detalladas del sistema.
- Selección de proveedores y componentes con certificaciones y garantías adecuadas.

b. Gestión de Permisos

- Tramitación de permisos de construcción, interconexión y operación con autoridades locales y entidades reguladoras.

D. Financiación del Proyecto

a. Estructuración Financiera

- Desarrollo de un plan financiero que incluya fuentes de financiamiento, estructura de capital y análisis de riesgos.
- Negociación de acuerdos de compra de energía (PPA) con compradores interesados.

b. Búsqueda de Financiamiento

- Identificación y negociación con bancos, inversionistas y otras fuentes de financiamiento.
- Aplicación a programas de incentivos y subvenciones disponibles.

E. Ejecución y Construcción

a. Contratación y Gestión de Proveedores

- Selección de contratistas y proveedores para la construcción y suministro de equipos.
- Supervisión y control de calidad durante la construcción.

b. Implementación del Proyecto

- Coordinación y gestión del cronograma de construcción.
- Instalación de paneles solares, inversores, sistemas de monitoreo y otros componentes del sistema.

c. Comisionamiento

- Pruebas y verificación del funcionamiento del sistema.
- Aseguramiento de la conformidad con los estándares técnicos y normativos.

F. Operación y Mantenimiento

a. Plan de Operación y Mantenimiento

- Desarrollo de un plan de operación y mantenimiento para asegurar la eficiencia y longevidad del sistema.
- Establecimiento de acuerdos de mantenimiento con proveedores especializados.

b. Monitoreo y Evaluación

- Implementación de sistemas de monitoreo en tiempo real para evaluar el rendimiento del sistema.

- Realización de auditorías periódicas y ajustes necesarios para optimizar la operación.

G. Evaluación de Impacto y Reporte

a. Evaluación de Impacto

- Monitoreo continuo de los impactos ambientales y sociales del proyecto.
- Implementación de medidas correctivas según sea necesario.

b. Reporte y Comunicación

- Elaboración de informes de desempeño para inversionistas, reguladores y otras partes interesadas.
- Comunicación de resultados y beneficios del proyecto a la comunidad y stakeholders.

Consideraciones Específicas para Colombia:

- **Regulaciones Locales:** Familiarizarse con la normativa colombiana relacionada con energías renovables, incluyendo la Ley 1715 de 2014 que promueve el desarrollo y la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional.
- **Incentivos y Subvenciones:** Aprovechar incentivos fiscales y financieros disponibles, como exenciones de IVA y aranceles para equipos de energía renovable, y la posibilidad de acceder a mecanismos de financiación verde.
- **Condiciones Climáticas y Geográficas:** Adaptar el diseño del proyecto a las condiciones específicas de la región, considerando factores como la altitud y las variaciones climáticas locales.

6.6 Impacto socio ambiental

La implementación de energías renovables en el nordeste antioqueño puede tener varios impactos socio ambientales, tanto positivos como negativos. A continuación, se enumeran algunos de estos impactos.

Impacto positivo en el medio ambiente: La generación de energía a partir de fuentes renovables puede reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y disminuir la dependencia de combustibles fósiles, contribuyendo así a la mitigación del cambio climático.

Beneficios para la salud pública: La reducción de la contaminación atmosférica asociada con la generación de energía convencional puede mejorar la calidad del aire y reducir los impactos negativos en la salud de la población.

Creación de empleo y desarrollo local: La implementación de proyectos de energía renovable puede generar empleo en la construcción, operación y mantenimiento de instalaciones, así como impulsar el desarrollo económico en las comunidades locales.

Conservación de la biodiversidad: La generación de energía renovable suele tener un menor impacto en la biodiversidad en comparación con las fuentes convencionales, lo que puede contribuir a la conservación de los ecosistemas locales y la fauna silvestre.

Afectación de los recursos hídricos: Algunas formas de energía renovable, como la hidroeléctrica, pueden tener impactos en los ecosistemas acuáticos y la disponibilidad de agua para otros usos.

Conflicto socio ambiental: La implementación de proyectos de energía renovable puede generar conflictos con las comunidades locales debido a la apropiación de tierras, cambios en el paisaje y otros impactos sociales y culturales.

Al considerar estos impactos socioambientales, es importante realizar una evaluación integral y participativa que involucre a todas las partes interesadas y tenga en cuenta los valores y necesidades de las comunidades locales. Esto garantizará una implementación más sostenible y equitativa de las energías renovables en el Nordeste Antioqueño.

La guía comparativa de tecnologías de generación de energía eléctrica renovable para el nordeste antioqueño propone una solución innovadora para la región, que busca aprovechar los

recursos naturales disponibles de manera eficiente y sostenible. El principio operativo del se basa en la implementación de sistemas de generación de energía eléctrica utilizando fuentes renovables, como la energía solar, eólica o hidroeléctrica y energía biomasa, adaptadas a las características geográficas y climáticas específicas del nordeste antioqueño.

7. Conclusiones

El estudio concluyó que la región del Nordeste Antioqueño posee un potencial significativo para la generación de energía eólica. Los análisis de velocidad del viento y la constancia de las corrientes eólicas en áreas específicas indican que la implementación de parques eólicos sería viable y eficiente, contribuyendo significativamente a la matriz energética regional.

La investigación demostró que la energía solar es una opción altamente viable para el Nordeste Antioqueño. La región recibe una cantidad adecuada de radiación solar durante la mayor parte del año, lo cual facilita la instalación de paneles solares fotovoltaicos. Esto podría reducir la dependencia de fuentes no renovables y disminuir la huella de carbono.

El Nordeste Antioqueño cuenta con recursos hídricos suficientes para el desarrollo de proyectos hidroeléctricos de pequeña y mediana escala. La disponibilidad de ríos y cuerpos de agua con un caudal constante podría ser aprovechada para la generación de electricidad, promoviendo el desarrollo sostenible y el abastecimiento energético local.

A diferencia de las otras fuentes renovables, se identificó una carencia significativa en la caracterización y evaluación de los recursos de biomasa en la región. Esta falta de datos impide una valoración precisa del potencial de la biomasa como fuente de energía, subrayando la necesidad de realizar estudios exhaustivos para explorar esta opción.

La guía comparativa resalta la oportunidad de diversificar la matriz energética del Nordeste Antioqueño mediante la integración de energía eólica, solar e hidroeléctrica. Esta diversificación no solo mejoraría la seguridad energética de la región, sino que también promovería la sostenibilidad ambiental y económica, al reducir la dependencia de combustibles fósiles y mitigar los efectos del cambio climático.

8. Recomendaciones

Se recomienda fomentar el desarrollo de proyectos eólicos en áreas identificadas con alto potencial. Esto podría incluir la realización de estudios más detallados de viento, la atracción de inversiones y la promoción de políticas que faciliten la instalación de parques eólicos, aprovechando al máximo el recurso disponible.

Es recomendable implementar programas de incentivos y subsidios para la instalación de sistemas de energía solar fotovoltaica en hogares, empresas y entidades públicas. Además, se podrían desarrollar proyectos piloto que demuestren la viabilidad y beneficios de la energía solar en la región, aumentando la conciencia y aceptación de esta tecnología.

Se sugiere llevar a cabo estudios más detallados sobre los recursos hídricos disponibles y desarrollar proyectos hidroeléctricos a pequeña escala. Esto no solo contribuirá al suministro de energía limpia, sino que también puede generar empleo local y fortalecer la economía regional.

Dada la falta de caracterización de los recursos de biomasa, se recomienda realizar estudios exhaustivos para evaluar el potencial de esta fuente de energía en la región. Esto incluye la identificación de tipos de biomasa disponibles, su cantidad, distribución y viabilidad para la generación de energía.

Se recomienda diseñar y poner en práctica una estrategia integral de diversificación de la matriz energética, que combine las tres tecnologías evaluadas (eólica, solar e hidroeléctrica). Esto debe ir acompañado de campañas educativas y de sensibilización para la población, así como la creación de marcos regulatorios que faciliten la integración de energías renovables en el sistema energético regional.

9. Referencias bibliográficas

Agencia Internacional de Energía Renovable (IRENA). (s.f.). Publicaciones en español.

Disponible en: <https://www.irena.org/es>

Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT). (s.f.).

Energía y Medio Ambiente. Disponible en: <https://www.ciemat.es/>

Unidad de Planeación Minero Energética. 2015. Disponible en:

[INTEGRACION ENERGIAS RENOVANLES WEB.pdf \(upme.gov.co\)](#)

Universidad Distrital. 2021. Disponible en: [FORMULACIÓN DE ESTRATEGIAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN Y FOMENTO DE FUENTES NO CONVENCIONALES DE ENERGÍAS RENOVABLES EN ZONAS NO INTERCONECTADAS DE COLOMBIA.pdf \(udistrital.edu.co\)](#)

Alcaldía de Medellín. 2023. Disponible en: [Energías renovables tipos e importancia en la conservación del planeta \(medellin.gov.co\)](#)

Eco innovación y producción verde, Una revisión sobre las políticas de América latina y el caribe. Sebastián Rovira, Jorge Patiño y Mariane Schaper. 2017. Disponible en: [Microsoft Word - 17-00072 Ecoinnovacion y produccion verde \(cepal.org\)](#).

Editorial la Republica. 2024. Disponible en: [Hay retrasos en 82% de los proyectos de energías renovables ubicados en La Guajira \(larepublica.co\)](#)

Ricardo Alfonso Martínez Aza Universidad de La Salle, Bogotá. 2020. Disponible en: [Análisis de viabilidad de implementación de proyectos de energías renovables \(lasalle.edu.co\)](#)

Méndez y Rivera, 2015. Disponible en: [evaluacion potencial energia 2015.pdf \(icesi.edu.co\)](#)

Hoyos y Hernández, 2017. [HoyosGuti%E9rrezOscar017.pdf \(udistrital.edu.co\)](#)

Sarmiento, Rodríguez, Castillo y Vásquez. 2014. Disponible en: [Sistemas Integrados de energías con fuentes renovables, requisitos y opciones \(sld.cu\)](#)

Ministerio de Ambiente. 2022. Disponible en: [GUIA-PARA-LA-FORMULACION-PIGCCT-web- ISBN_VF.pdf \(minambiente.gov.co\)](#)

Collado, S. A., & Hernández, A. M. (2010). Introducción a la Ingeniería: Enfoque de Aplicaciones. Alfaomega.

Martínez Cortizas, A., & Castillo Rodríguez, A. (2006). Geografía Física: Fundamentos y Aplicaciones. Pearson Educación.

Gómez, J. A., & González, M. L. (2013). Desarrollo sostenible: Principios, perspectivas y políticas. Pirámide.

Luque, A., & Muñoz, J. H. (2011). Energía Solar Fotovoltaica: Ingeniería, Medio Ambiente y Economía. Springer.

Gamboa, J. D., & Villalobos, C. M. (2012). Energía y Desarrollo Sostenible en Comunidades Rurales. Ediciones Díaz de Santos.

Uribe de Hincapié, M. T., & Melo, J. O. (2001). Antioquia: Geografía, Región y Cultura. Universidad de Antioquia.

Alonso, J. A., & Martínez-Vázquez, J. (2013). Políticas Públicas y Desarrollo Local. Fondo de Cultura Económica.

Machado, A., & De la Cruz, M. (2006). Gestión de los Recursos Naturales y Medio Ambiente. Ediciones Mundi-Prensa.

Álvarez, M. J., & García, C. (2018). Desarrollo Socioeconómico y Desigualdades: Una Perspectiva Latinoamericana. Siglo XXI Editores.

Sánchez, J. M., & Rodríguez, L. G. (2019). Selección de la Tecnología más Adecuada: Guía Práctica para Empresas. Editorial Síntesis.