



Proyecto de Parque Eólico

Autores:

**Rosalía Arias; Katherin Galindo Ortiz; Juan Gabriel Ochoa
& Alexandra Sáenz**

Tutor: Ricardo Salas Silva

**Trabajo de grado para la obtención del título en la Maestría
en Estructuración Ágil de Proyectos de Alta Complejidad**

Facultad de Economía

Universidad Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario

Bogotá – Colombia

2024

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS	3
ÍNDICE DE TABLAS	4
INTRODUCCIÓN	5
RESUMEN EJECUTIVO	6
ENTENDIMIENTO DE LAS ALTERNATIVAS DE ENERGÍA	8
CONTEXTO Y ANÁLISIS DEL MERCADO ENERGÉTICO Y DE DEMANDA DE ENERGÍA EN EL PAÍS	8
ÁRBOL DE PROBLEMAS Y ÁRBOL DE SOLUCIONES.....	12
MAPA DE ACTORES	15
MARCO LEGAL ENERGÍAS ALTERNATIVAS Y RENOVABLES EN COLOMBIA	18
PROFUNDIZACIÓN DE LA ENERGÍA EÓLICA	21
CÓMO SE PRODUCE LA ENERGÍA EÓLICA	26
<i>Proceso de producción de energía eólica:</i>	26
TRANSPORTE DE LA ENERGÍA EÓLICA	28
ENTREGA DE LA ENERGÍA EÓLICA	30
NUESTRO PROYECTO	32
UBICACIÓN DEL PROYECTO.....	32
TAMAÑO DEL PROYECTO	36
CANTIDAD DE AEROGENERADORES DEL PROYECTO	40
SELECCIÓN DEL TIPO DE AEROGENERADOR	42
MARCO LEGAL DEL PROYECTO	44
<i>Uso de suelo y permisos legales en ubicación del parque eólico, de acuerdo con el estudio de Geolocalización:</i>	48
IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO.....	49
<i>Evaluación del impacto ambiental - Método Conesa Simplificado:</i>	51
FINANCIACIÓN DEL PROYECTO	55
<i>Incentivos para el proyecto:</i>	55
<i>Métodos de financiación:</i>	56
<i>Método escogido para financiar nuestro proyecto:</i>	61
EVALUACIÓN FINANCIERA Y ECONÓMICA DEL PROYECTO.....	63
<i>Evaluación financiera:</i>	63
<i>Evaluación económica y social del proyecto:</i>	69
CONCLUSIONES	73
BIBLIOGRAFÍA	75

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. CRECIMIENTO DE LA GENERACIÓN DEL SISTEMA INTERCONECTADO NACIONAL	8
FIGURA 2. COMPORTAMIENTO DE LA DEMANDA DE ENERGÍA ANUAL EN COLOMBIA (GW/H).....	9
FIGURA 3. EVOLUCIÓN ESPERADA DE LA CAPACIDAD INSTALADA	9
FIGURA 4. ÁRBOL DE PROBLEMAS - EFECTOS	12
FIGURA 5. ÁRBOL DE SOLUCIONES	14
FIGURA 6. ESTRUCTURA INSTITUCIONAL DEL SECTOR ELÉCTRICO EN COLOMBIA.....	15
FIGURA 7. OTROS ACTORES DENTRO DEL SECTOR ELÉCTRICO EN COLOMBIA	16
FIGURA 8. ¿SABES CÓMO LLEGA LA ENERGÍA A TU EMPRESA O CASA?	17
FIGURA 9. CRECIMIENTO DEL PARQUE SOLAR Y EÓLICO EN COLOMBIA	22
FIGURA 10. PAÍSES DEL REFERENCIAMIENTO	28
FIGURA 11. MAPA DE VIENTOS DE COLOMBIA.....	33
FIGURA 12. MAPA DE VIENTOS DE CUNDINAMARCA	33
FIGURA 13. COORDENADAS EXACTAS	34
FIGURA 14. CURVA DE POTENCIA.....	43
FIGURA 15. FOTOS AEROGENERADOR GE VERNOVA DE 2,5 MW	43
FIGURA 16. OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE	50
FIGURA 17. MATRIZ DE EVALUACIÓN DE AFECTACIÓN MÉTODO CONESA.....	54
FIGURA 18. PROCESO DE SELECCIÓN DE OPCIONES FINANCIERAS	57

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. TIPOS DE FNCER ESTABLECIDOS POR LA LEY 1515 DE 2014	10
TABLA 2. EMPRESAS Y ENTIDADES AGREMIADAS DEL SECTOR ELÉCTRICO DEL PAÍS	16
TABLA 3. AGENTES ACTIVOS	18
TABLA 4. VENTAJAS Y DESVENTAJA DE LA ENERGÍA EÓLICA.....	23
TABLA 5. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA PRODUCCIÓN COSTA AFUERA	24
TABLA 6. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA PRODUCCIÓN EN TIERRA	25
TABLA 7. DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES	34
TABLA 8. PESO DE LAS VARIABLES	36
TABLA 9. MATRIZ DE EVALUACIÓN	36
TABLA 10. PRINCIPALES PARQUES EÓLICOS DEL MUNDO	37
TABLA 11. PRINCIPALES PARQUES EÓLICOS DE LATINOAMÉRICA.....	37
TABLA 12. PRINCIPALES PARQUES EÓLICOS DE COLOMBIA.....	38
TABLA 13. DETALLE AEROGENERADORES PARQUES EÓLICOS DEL MUNDO.....	38
TABLA 14. PROYECCIÓN DEMANDA PMÁX TOTAL NACIONAL (MW).....	39
TABLA 15. PROYECCIÓN DEL 10% DE LA DEMANDA PMÁX TOTAL NACIONAL (MW)	40
TABLA 16. PROYECCIÓN DEL NÚMERO DE AEROGENERADORES PARA SUPLIR LA DEMANDA DEL 10%.....	41
TABLA 17. PROYECCIÓN DEL 1% DE LA DEMANDA PMÁX TOTAL NACIONAL (MW).....	41
TABLA 18. PROYECCIÓN DEL NÚMERO DE AEROGENERADORES PARA SUPLIR LA DEMANDA DEL 1%.....	41
TABLA 19. CANTIDAD DE AEROGENERADORES POR REFERENCIA	42
TABLA 20. CANTIDAD DE AEROGENERADORES POR REFERENCIA	42
TABLA 21. LEYES QUE IMPACTAN LOS PROYECTOS DE ENERGÍA EÓLICA	44
TABLA 22. CRITERIOS DE EVALUACIÓN - MÉTODO CONESA SIMPLIFICADO	52
TABLA 23. COSTOS DE INVERSIÓN DEL PROYECTO	63
TABLA 24. DESGLOSE DE LOS COSTOS DE INVERSIÓN	64
TABLA 25. COSTOS DE OPERACIÓN AÑO 1	64
TABLA 26. DETALLE DE LOS COSTOS DE OPERACIÓN AÑO 1	65
TABLA 27. ANÁLISIS HISTÓRICO PRECIOS DE ESCASEZ	65
TABLA 28. ANÁLISIS INGRESOS OPERACIONALES AÑO 1	66
TABLA 29. RELACIÓN DEUDA/EQUITY DEL PROYECTO	67
TABLA 30. IMPUESTO A LA RENTA DEL PROYECTO	67
TABLA 31. FINANCIAMIENTO PARA PROYECTO	67
TABLA 32. ANÁLISIS PARA IDENTIFICACIÓN DEL Ke Y WACC DEL PROYECTO.....	67
TABLA 33. FLUJO EVALUACIÓN FINANCIERA DEL PROYECTO	68
TABLA 34. RPC APLICADO A LOS INGRESOS.....	69
TABLA 35. RPC APLICADO A LOS COSTOS DE INVERSIÓN	69
TABLA 36. RPC APLICADO A LOS COSTOS DE OPERACIÓN	70
TABLA 37. FLUJO ECONÓMICO DEL PROYECTO CON LOS RPC INCLUIDOS EN LOS INGRESOS Y COSTOS DEL PROYECTO	70
TABLA 38. FLUJO ECONÓMICO DEL PROYECTO CON LA INCLUSIÓN DE LA EXTERNALIDAD POSITIVA Y NEGATIVA	72

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo fue desarrollado por los estudiantes de la primera cohorte de la Maestría de Estructuración Ágil de Proyectos de Alta Complejidad del Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario. Quisiéramos agradecer a cada uno de los profesores que nos acompañaron durante este año y medio de mucho aprendizaje, pero en especial al profesor Ricardo Salas Silva por su guía para la culminación de este trabajo. También nos gustaría darle las gracias al profesor Andrés Mauricio Pérez Gordillo por su tiempo y habernos dado bases técnicas necesarias para este proyecto.

Cada uno tiene bases profesionales muy diferentes (Ingeniería de Software, Relaciones Internacionales, Ingeniería Industrial y Administración de Empresas), lo que permitió que este ejercicio fuera aún más enriquecedor, al poder compartir experiencias y puntos de vista que culminaron en el planteamiento de este proyecto de grado. Este ejercicio nos permitió una inmersión vivida de lo que significa la estructuración de un proyecto complejo, donde pudimos aplicar de forma práctica varios de los conceptos aprendidos en clase y poner una milla extra para lograr un documento en el cual se plasma el esfuerzo y dedicación de este grupo, y del cual nos sentimos orgullosos.

Por último, este trabajo se lo dedicamos a nuestras familias, que nos apoyaron hasta el final, incluso cuando tuvimos que sacrificar tiempo de calidad con ellos. A cada uno de ellos, gracias.

Para mi esposo, por ser mi compañero de vida y apoyarme incondicionalmente aún en la distancia, Rosalia Arias

Para mis padres y mi hermano, por siempre creer en mí y apoyarme a cumplir mis metas y seguir creciendo, Katherin Galindo Ortiz

Para mi esposa, porque gracias a su apoyo incondicional hizo que este logro fuera posible, Juan Gabriel Ochoa

Para mi hija, quien llegó para construirme y reinventarme día a día en busca de mi mejor versión, Alexandra Sáenz

RESUMEN EJECUTIVO

El presente documento expone la estructuración de un proyecto de parque eólico en Colombia, considerando los retos energéticos actuales y la necesidad de diversificar la matriz eléctrica del país mediante Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCER). Este esfuerzo busca contribuir significativamente al cumplimiento de la demanda energética nacional, mientras se promueve una transición energética sostenible y eficiente.

Colombia posee una de las matrices energéticas más limpias del mundo, con un 76,91% de la generación proveniente de fuentes renovables, principalmente hidroeléctricas (74,15%). Sin embargo, el fenómeno de El Niño ha reducido considerablemente los niveles de los embalses, evidenciando la vulnerabilidad de depender mayoritariamente de esta fuente. Ante este panorama, **diversificar con fuentes como la energía eólica es esencial para mitigar riesgos y garantizar la independencia energética del país.**

El proyecto aplica un análisis multicriterio para seleccionar la ubicación ideal, identificando variables como seguridad, velocidad del viento, conectividad vial, estabilidad social, entre otras. Se descartaron ubicaciones como La Guajira por su inestabilidad social, lo que ha llevado a retrasos y desestimaciones de este tipo de proyectos en el departamento. **La selección final fue el departamento de Cundinamarca como el sitio más adecuado.** Este análisis se realizó con herramientas como el “Global Wind Atlas” y datos de entidades nacionales.

El parque eólico final se diseñó para cubrir el 1% de la demanda energética nacional, lo que implica la instalación de 55 aerogeneradores con una capacidad de generación de 2,5 MW cada uno. Este enfoque equilibra viabilidad técnica, económica y ambiental, reduciendo la escala inicial del proyecto en comparación con objetivos más ambiciosos como cubrir el 10% de la demanda.

El proyecto incluye una evaluación ambiental mediante el método Conesa Simplificado, identificando posibles impactos sobre la flora, la fauna y las comunidades locales. Asimismo, propone medidas de mitigación para reducir alteraciones en ecosistemas críticos y mejorar la aceptación del proyecto entre las posibles comunidades afectadas. El desarrollo del parque eólico se enmarca en la Ley 1715 de 2014, que fomenta las FNCER y en normativas adicionales que regulan la conexión y operación de estos proyectos en la red eléctrica nacional. Este marco regula incentivos financieros y define las responsabilidades ambientales y sociales de los desarrolladores.

El proyecto opta por **una relación deuda sobre equity del 54% frente a un 46% respectivamente** para financiar la construcción e implementación, asegurando un balance óptimo entre riesgos y rentabilidad. Se presentan análisis financieros detallados, proyectando una producción energética competitiva y sostenible.

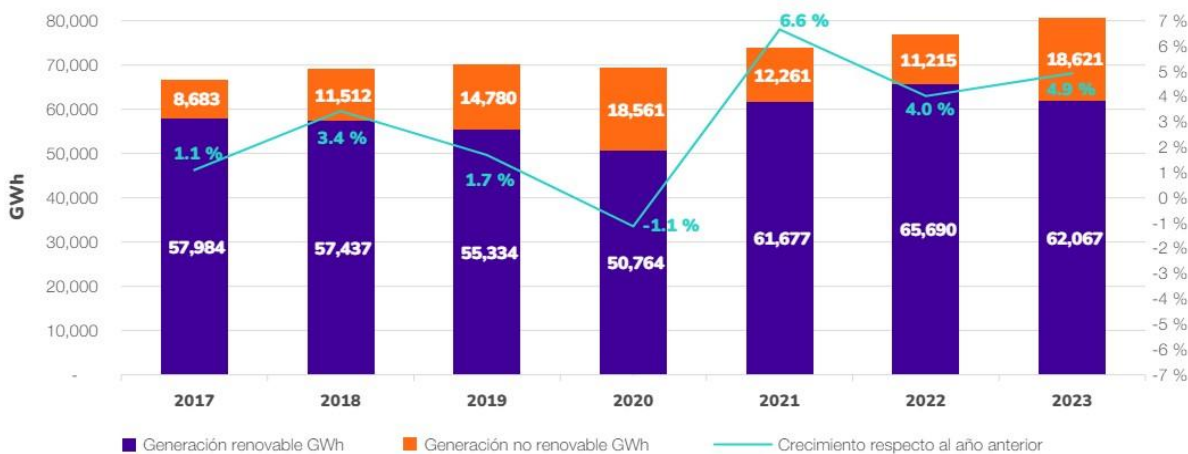
Este proyecto de parque eólico tiene como objetivo reducir la dependencia a las hidroeléctricas y, en casos secundarios, a las térmicas. Al tiempo, se contribuye a disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero, y se espera contribuya al desarrollo socioeconómico local mediante la generación de empleos y la dinamización de la economía regional. Por último, este proyecto propone una solución innovadora y sustentable para los desafíos energéticos de Colombia. Al priorizar criterios técnicos, sociales y económicos, se busca garantizar un impacto positivo y promover la transición hacia un sistema energético más resiliente y sostenible.

ENTENDIMIENTO DE LAS ALTERNATIVAS DE ENERGÍA

Contexto y análisis del mercado energético y de demanda de energía en el país

La matriz energética del país es una de las matrices energéticas más limpias del mundo, entre el 70% y 80% de la generación proviene de fuentes renovables. En 2023, el 76,91% de la generación de energía fue de fuentes renovables y el 23,09% de fuentes no renovables. La energía hidráulica fue la que más aportó (74,15%); en segundo lugar, la energía térmica (23,09%); en tercer lugar, el gas (11,58%); en cuarto lugar, el carbón (9,39%); y, en quinto lugar, la energía solar (1,49%) (XM, 2023). La capacidad de generación dentro del Sistema Interconectado Nacional (SIN) ha venido en crecimiento, a excepción del 2020 donde hubo una reducción del 1,1% frente al 2019.

Figura 1. Crecimiento de la generación del Sistema Interconectado Nacional



Fuente: obtenido de "Reporte Integral de Sostenibilidad, Operación y Mercado" (XM, 2023)

Al igual que la generación, la demanda ha venido creciendo en los últimos años, sin contar el año de la pandemia (2020), y es casi seguro que continúe esa tendencia. Por lo que es necesario seguir pensando en nuevos proyectos de producción de energía renovable que garanticen la independencia energética del país.

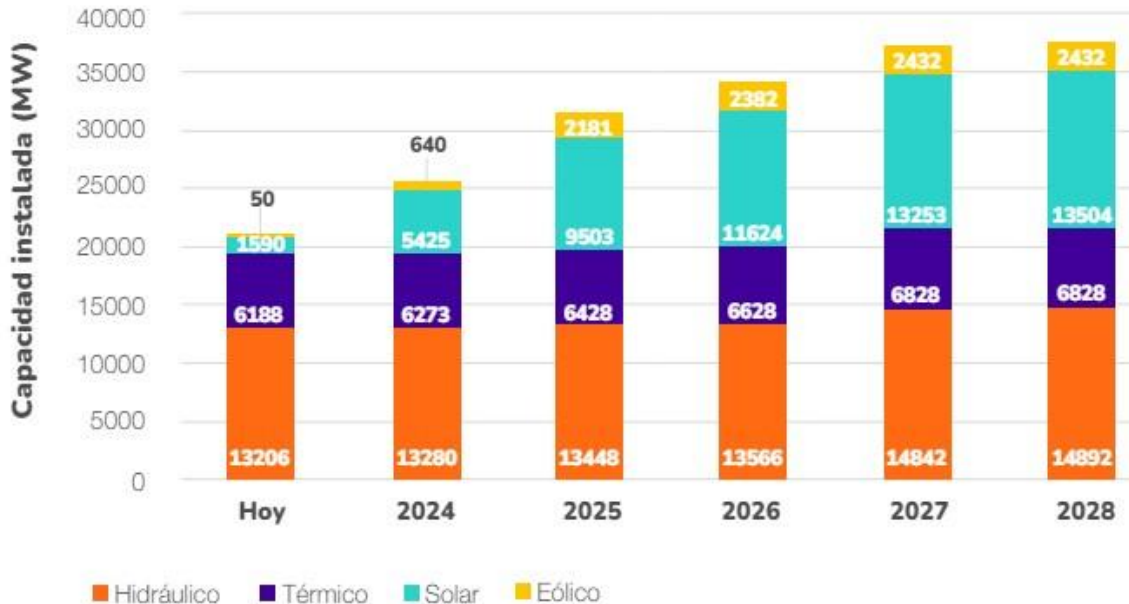
Figura 2. Comportamiento de la demanda de energía anual en Colombia (GW/h)



Fuente: obtenido de "Reporte Integral de Sostenibilidad, Operación y Mercado" (XM, 2023)

Como se mencionó antes, la generación hidroeléctrica es la principal fuente de energía del país y se espera que se mantenga en el 2024. Pero, se proyecta una reducción en la participación por parte de la energía térmica, pasando del 23,09% a solo el 10,70%, y aumentar la participación de las otras fuentes de energía no convencionales al 13,53%, según cálculos de XM. Esto indudablemente dependerá de la capacidad instalada que tenga cada tipo de fuente para la producción y distribución de energía.

Figura 3. Evolución esperada de la capacidad instalada



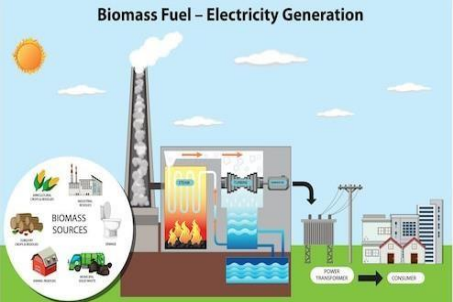
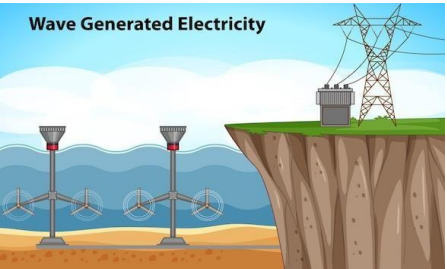
Fuente: obtenido de "Reporte Integral de Sostenibilidad, Operación y Mercado" (XM, 2023)

Un riesgo constante para el sector energético en Colombia es el fenómeno de El Niño. Esto genera sequías que reducen los niveles de los embalses. Para marzo de 2024, el nivel de los embalses estuvo 1,73 puntos por debajo del mínimo visto en los últimos 20

años, según datos de XM (Mora, 2024), por lo que se requiere una mayor demanda de oferta de energía térmica, lo que aumenta la probabilidad de que suban los precios de la energía. Ante este escenario, se evidencia la urgencia de seguir diversificando la matriz energética del país impulsando proyectos de energías renovables para garantizar la producción y el cubrimiento de la demanda de energía en el corto, mediano y largo plazo.

La Ley 1715 de 2014 regula la integración de las Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCER). La Ley define que las FNCER son “aquellos recursos de energía renovable disponibles a nivel mundial que son ambientalmente sostenibles, pero que en el país no son empleados o son utilizados de manera marginal y no se comercializan ampliamente” (Ley 1715 de 2014, 2014).

Tabla 1. Tipos de FNCER establecidos por la Ley 1515 de 2014

Energía	Definición
<p style="text-align: center;">Biomasa</p>  <p>The diagram illustrates the biomass energy cycle. It starts with 'BIOMASS SOURCES' including agricultural waste, forestry residues, and dedicated energy crops. These are processed into 'BIOMASS FUEL'. This fuel is then used in a power plant for 'ELECTRICITY GENERATION'. The generated electricity is then distributed to 'RESIDENTIAL' and 'COMMERCIAL' buildings.</p>	<p>Energía obtenida de la degradación espontánea o inducida de cualquier materia orgánica proveniente de un proceso biológico y toda materia vegetal proveniente del proceso de fotosíntesis, y de los procesos metabólicos de los organismos heterótrofos, y que no contiene o haya estado en contacto con elementos que confieran algún grado de peligrosidad.</p>
<p style="text-align: center;">Mares</p>  <p>The diagram shows 'Wave Generated Electricity' technology. It features wave energy converters (WECs) in the ocean, which capture the energy from waves. This energy is transmitted to a power plant on a cliffside, which is connected to a high-voltage power line tower.</p>	<p>Energía proveniente de fenómenos naturales marinos como las mareas, el oleaje, las corrientes marinas, los gradientes térmicos oceánicos y los gradientes de salinidad, entre otros.</p>

Pequeñas hidroeléctricas



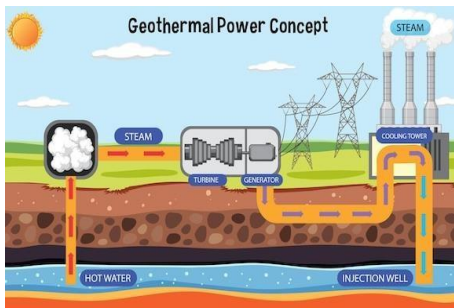
Energía obtenida a partir del aprovechamiento de los cuerpos de agua a pequeña escala.

Eólica



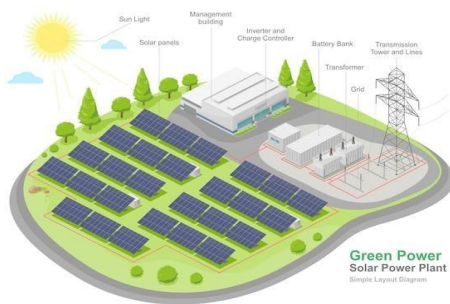
Energía proveniente del movimiento de las masas de aire.

Geotérmica



Energía obtenida del calor que se encuentra en el subsuelo terrestre.

Energía solar



Energía proveniente de la radiación electromagnética proveniente del sol.

<p style="text-align: center;">Hidrógeno verde</p> 	<p>Hidrógeno que se produce a partir de las seis fuentes mencionadas antes, entre otras fuentes no convencionales de energía renovable.</p>
<p style="text-align: center;">Hidrógeno blanco</p>	<p>Hidrógeno producido de manera natural y que se encuentra en forma natural de gas libre en diferentes ambientes geológicos, ya sea en las capas de la corteza continental, en la corteza oceánica, en gases volcánicos y en los sistemas hidrotermales.</p>

Fuente: elaboración propia con base en la Ley 1715 de 2014

La posición geográfica de Colombia brinda una serie de características únicas que le dan al país una ventaja comparativa y competitiva para el desarrollo de energías renovables, como la cantidad de horas de sol al día y la rapidez de los vientos. Teniendo en cuenta lo anterior, y que es necesario incorporar más FNCER, hemos optado por plantear un proyecto de generación de energía eólica que logre cubrir entre el 5% al 10% de la demanda de energía del país.

Árbol de problemas y Árbol de soluciones



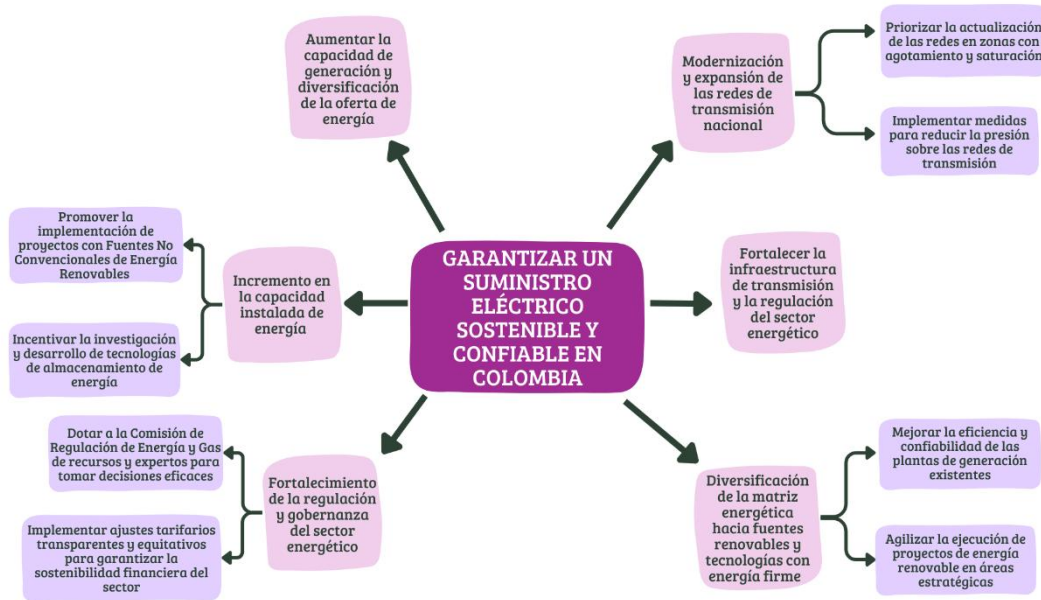
Fuente: elaboración propia

El fenómeno de El Niño duro más de lo pronosticado, lo que significó grandes periodos de sequías en medio de altas temperaturas, lo que derivó también en un aumento de la demanda de energía para el funcionamiento de ciertos aparatos, como aires acondicionados y refrigeradores. Lo anterior, derivó en una reducción en el nivel de los embalses (principal fuente para la generación hidroeléctrica) y prendió las alarmas sobre el riesgo de déficit de energía eléctrica que puede enfrentar el país ante la alta dependencia a una fuente de energía. Adicionalmente, la no entrada al tiempo que se había estimado de los proyectos de Fuentes No Convencionales de Energía Renovable pone sobre la mesa la posibilidad de escasez de energía eléctrica en el corto plazo en el país. Esto generaría una situación que no es nueva para Colombia. En 1992, el país enfrentó un racionamiento energético que llevó al Gobierno del entonces presidente César Gaviria a adelantar una hora los relojes. La medida duró nueve meses, y se conocería como la “hora Gaviria” (Jaimes, 1992).

De eso ya van tres décadas, donde el país ha crecido en número al igual que su economía. Plantear una medida como esa hoy, no sólo significaría una “muerte política” asegurada para el presidente Gustavo Petro, sino también un golpe casi mortal para el desarrollo industrial y del comercio en el país, que aún hoy sufre rezagos de la pandemia y de una economía creciendo por debajo de los niveles proyectados. Otro de los problemas que impacta el sector energético en el país, es las altas tarifas que deben asumir los consumidores, y que se agrava aún más en regiones como el Caribe colombiano. Esto ha derivado en bloqueos y manifestaciones por parte de la ciudadanía en contra de las empresas prestadoras del servicio (comercializadoras).

Esta problemática se puede explicar, entre otros, por cuatro causales. Primero, el robo de energía causa pérdidas a las comercializadoras, por lo que argumentan que el incremento en las facturas se debe, en parte, a este fenómeno. Segundo, de 2013 a 2023 la demanda de energía del país tuvo un crecimiento del 31,3% (en términos de GWh). Mientras que, tercero, la capacidad instalada, en especial en energía solar y eólica, no ha crecido al mismo ritmo. Esto dificulta la diversificación de la matriz energética y limita la capacidad de oferta inmediata en el país. Por último, la falta de mantenimiento de forma regular a la infraestructura energética es una problemática que no solo impacta en la calidad del servicio, sino que también eleva los riesgos de caducidad, lo que impactaría la capacidad de producción del país.

Figura 5. Árbol de soluciones



Fuente: elaboración propia

El panorama expuesto arriba evidencia la necesidad y urgencia de acelerar los proyectos de generación de energías renovables para lograr garantizar un suministro de energía sostenible y confiable en el país. De esta forma, un proyecto de energía eólica, como el planteado en el presente documento, permitiría aumentar la capacidad de generación y diversificar la matriz de energía. Al tiempo, no solo es importante aumentar la capacidad de producción, también es clave que se incentive la investigación y desarrollo de tecnologías de almacenamiento, lo que permitiría una mejor planificación sobre escenarios de contingencia.

Colombia tiene gran potencial para la producción de energía mediante FNCER, más allá de la hidro, solar y eólica, como la producción mediante biomasa, geotérmica e hidrógeno. Para prevenir la materialización de los efectos descritos arriba, se necesita agilizar la ejecución de los proyectos ya aprobados e impulsar la fases exploratorias de las otras fuentes en áreas estratégicas. Esto además permitiría expandir las redes de transmisión para ir ampliando la cobertura del Sistema Interconectado Nacional.

Respecto al panorama actual, es necesario priorizar la revisión y mantenimiento de la infraestructura energética actual para prevenir riesgos de cortes o apagones en el corto plazo. Asimismo, ante el aumento de los precios de la energía, es necesario que se debata la implementación de ajustes tarifarios transparentes y equitativos para garantizar precios justos para los consumidores, sin poner en riesgo la sostenibilidad financiera de la cadena de producción del sector de energía en Colombia.

Mapa de actores

El sector eléctrico en Colombia se rige principalmente por las leyes 142 y 143 de 1994, emitidas por el Congreso de la República de Colombia. Estas leyes establecen el marco normativo para la prestación de servicios públicos en las áreas de generación, interconexión, transmisión, distribución y comercialización de energía eléctrica en el país. Además, definen las responsabilidades de las principales entidades del sector, así como su estructura y gobernanza (Ministerio de Minas y Energía, s.f.).

Figura 6. Estructura institucional del sector eléctrico en Colombia



Fuente: obtenido de "Funcionamiento del Sector" (Ministerio de Minas y Energía, s.f.)

El Ministerio de Minas y Energía, la Unidad de Planeación Minero-Energética, la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) y la Superintendencia de Servicios Públicos son los responsables de la formulación de política, planeación de la expansión del sistema, regulación del sector eléctrico, planeación de soluciones energéticas para las zonas no interconectadas y la vigilancia y control respectivamente. Asimismo, existen otras empresas que participan en la generación, transmisión, distribución, comercialización y operación del servicio eléctrico en el país. Por último, la Compañía de Expertos en Mercados (XM) se encarga del Centro Nacional de Operación (CNO) y el Centro Nacional de Despacho (CND), que son los responsables de la operación del sistema eléctrico y la administración del mercado de energía del país (Consejo Nacional de Técnicos Electricistas, 2023).

Figura 7. Otros actores dentro del sector eléctrico en Colombia



Fuente: obtenido de “Funcionamiento del Sector de Energía Eléctrica en Colombia” (Consejo Nacional de Técnicos Electricistas, 2023)

Las empresas y entidades del sector eléctrico del país se encuentran agremiadas de la siguiente manera:

Tabla 2. Empresas y entidades agremiadas del sector eléctrico del país

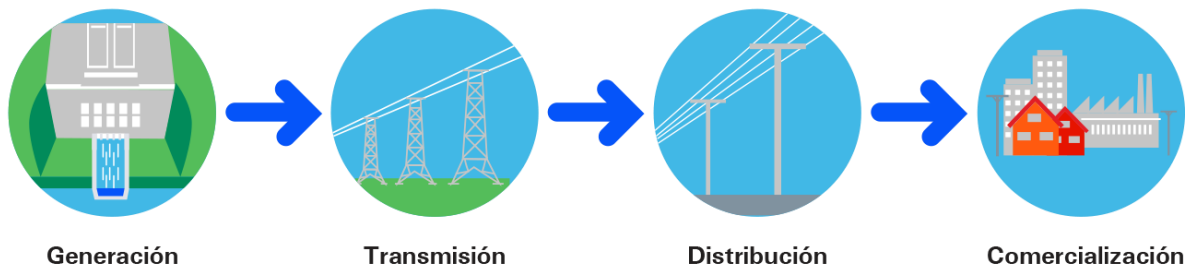
 Andesco	Asociación Nacional de Empresas de Servicios Públicos y Comunicaciones
 acolgen	Asociación Colombiana de Generadores de Energía Eléctrica
 ANDEG Asociación Nacional de Empresas Generadoras	Asociación Nacional de Empresas Generadoras

 <p>ASOCODIS</p>	<p>Asociación Colombiana de Distribuidores de Energía Eléctrica</p>
	<p>Asociación Energías Renovables</p>

Fuente: elaboración propia

Estas asociaciones tienen como objetivo principal la organización de las empresas encargadas de la generación, transmisión y distribución de energía del país y de la formalización de la respectiva actividad de acuerdo con la legislación vigente.

Figura 8. ¿Sabes cómo llega la energía a tu empresa o casa?



Fuente: obtenido de "Descripción del mercado" (Enel, s.f.)

Los agentes del mercado en Colombia son los encargados de producir, llevar y vender la energía al usuario final (Enel, s.f.).

- **Generadores:** producen la energía por medio de centrales hidráulicas, térmicas y eólicas.
- **Transmisores:** transportan largas distancias la energía desde las centrales eléctricas hasta las subestaciones de transformación a través de redes que operan a tensiones iguales o superiores a 220 kV.
- **Distribuidores:** llevan la energía hasta el consumidor final a través de redes que operan a tensiones inferiores a 220 kV.
- **Comercializadores:** compran energía eléctrica en el mercado mayorista y realizan su venta a usuarios finales.

De acuerdo con la información suministrada por XM, actualmente se encuentran activas y registradas 308 empresas ante el mercado de energía mayorista del país (XM, s.f.).

Tabla 3. Agentes activos

Actividad	Agentes activos
Comercializador	135
Generador	120
Operador De Red	29
Transmisor Nacional	15
Transmisor Regional	9
Total	308

Fuente: obtenido de "Estructura del mercado" (XM, s.f.)

Marco legal energías alternativas y renovables en Colombia

- **Constitución Política de Colombia:** establece principios de desarrollo sostenible, protección del medio ambiente y acceso a servicios públicos básicos, que respaldan indirectamente el fomento de las energías limpias.
- **Ley 1715 de 2014 - Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCER):** define las FNCER e incluye disposiciones sobre incentivos, obligaciones para los generadores de energía y regulación para la conexión a la red eléctrica.
- **Decreto 348 de 2018:** reglamenta parcialmente la Ley 1715 de 2014, estableciendo los procedimientos para la adquisición de energía por parte de los generadores y los mecanismos para garantizar el cumplimiento de las obligaciones relacionadas con las FNCER.
- **Resolución de la CREG 030 de 2018:** establece los criterios técnicos y económicos para la conexión de generadores de energía renovable a la red eléctrica nacional.
- **Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022:** incluye objetivos y metas relacionadas con el desarrollo sostenible y el uso de energías renovables en Colombia. Proporciona directrices para la implementación de políticas y programas en este ámbito.

- **Resolución de la CREG 162 de 2020:** establece los mecanismos y criterios para la determinación del precio de la energía generada por FNCER y su integración en el mercado mayorista de energía eléctrica.
- **Resolución 001389 de 2016:** establece criterios para la elaboración y presentación de los planes de expansión de la generación de energía eléctrica, incluyendo la incorporación de energías renovables.
- **Decreto 1073 de 2015 - Reglamentario del Sector Eléctrico:** define aspectos técnicos y operativos para la generación, transmisión, distribución y comercialización de energía eléctrica, incluyendo disposiciones para la promoción de las energías renovables.
- **Resolución de la CREG 097 de 2011:** establece criterios y condiciones para la promoción y desarrollo de proyectos de generación de energía a partir de FNCER en Colombia.
- **Ley 697 de 2001:** promueve el uso eficiente y racional de la energía en Colombia, estableciendo medidas para la conservación de energía y la promoción de tecnologías y prácticas energéticamente eficientes.
- **Resolución de la CREG 098 de 2012:** establece criterios y condiciones para la promoción y desarrollo de proyectos de cogeneración de energía en Colombia, incluyendo disposiciones específicas para la cogeneración a partir de FNCER.
- **Ley 1717 de 2014:** establece disposiciones para la promoción del uso de energías renovables no convencionales en Colombia, incluyendo incentivos fiscales y financieros para su desarrollo y utilización.

Además de las leyes específicas sobre energías renovables, es importante cumplir con la normativa relacionada con la generación y venta de energía eléctrica en Colombia, como:

- **Ley 142 de 1994:** esta ley regula todos los servicios públicos domiciliarios, incluyendo el servicio de energía eléctrica, junto con otros servicios como acueducto, alcantarillado, aseo y distribución de gas combustible. El Estado interviene para garantizar la calidad del servicio público y proteger los derechos de los usuarios.
- **Ley 143 de 1994:** establece el régimen para la generación, interconexión, transmisión, distribución y comercialización de electricidad en el territorio nacional. Promueve la libre competencia, evita prácticas desleales y regula el monopolio natural, asegurando la protección de los derechos de los usuarios.
- **Decreto 1505 de 2003:** abre el camino para el aprovechamiento en el marco de la Gestión Integral de Residuos Sólidos. Proporciona directrices para la reutilización,

reciclaje, incineración con fines de generación de energía, compostaje u otras modalidades que conlleven beneficios sanitarios, ambientales, sociales y económicos.

- **Decreto 1713 de 2002:** reglamenta la Ley 142 de 1994 con relación al servicio público de aseo, así como el manejo integral de residuos sólidos. Establece lineamientos para el almacenamiento y gestión integral de los residuos sólidos.
- **Decreto 838 de 2015:** modifica el Decreto 1713 sobre disposición final de residuos sólidos, orientándolo hacia un destino final que reduzca la contaminación ambiental. Se pueden expedir certificados a quienes provean residuos agrícolas o sólidos urbanos para reducir la contaminación.
- **Decreto 4741 de 2005:** tiene por objeto prevenir la generación de residuos o desechos peligrosos y regular su manejo para proteger la salud humana y el ambiente.

Además de estas leyes y decretos específicos, se deben cumplir las siguientes normativas relacionadas con la red de distribución de energía eléctrica en Colombia:

- **Resolución de la CREG 025 de 1995:** maneja el código de redes para la operación del sistema de transmisión y distribución de energía eléctrica.
- **Resolución de la CREG 070 de 1998:** regula el reglamento de distribución de energía eléctrica.
- **Decreto 850:** establece nuevas disposiciones para el programa de normalización de redes de distribución de energía eléctrica.
- **Resoluciones de la CREG 097 de 2008 y 110 de 2009:** proponen metodologías para la distribución y comercialización de energía eléctrica.

Cumplir con la normativa vigente es fundamental para el desarrollo y la operación de proyectos de energías alternativas y renovables en Colombia, garantizando su viabilidad técnica, ambiental y legal.

PROFUNDIZACIÓN DE LA ENERGÍA EÓLICA

En Colombia, la capacidad instalada (Corficolombiana, 2023) de generación eléctrica en 2023 se distribuye principalmente entre energía hidroeléctrica, termoeléctrica, solar y eólica, con los siguientes porcentajes:

- **Energía hidroeléctrica:** representa aproximadamente el 67% de la capacidad instalada. Es la principal fuente de generación eléctrica del país debido a la abundancia de recursos hídricos.
- **Termoeléctrica (carbón y gas natural):** aproximadamente el 31%. Una fuente clave, en especial durante el 2024 ante las consecuencias de las sequías para las reservas hídricas y, por ende, el funcionamiento de las hidroeléctricas. Sin embargo, el uso de combustibles fósiles para su funcionamiento genera emisiones de gases de efecto invernadero.
- **Energía solar:** aunque ha crecido en los últimos años, aún representa una pequeña proporción, cerca del 0,34%.
- **Energía eólica:** aún menos significativa, con aproximadamente el 0,1% de la capacidad instalada en 2022, aunque se esperan aumentos sustanciales.

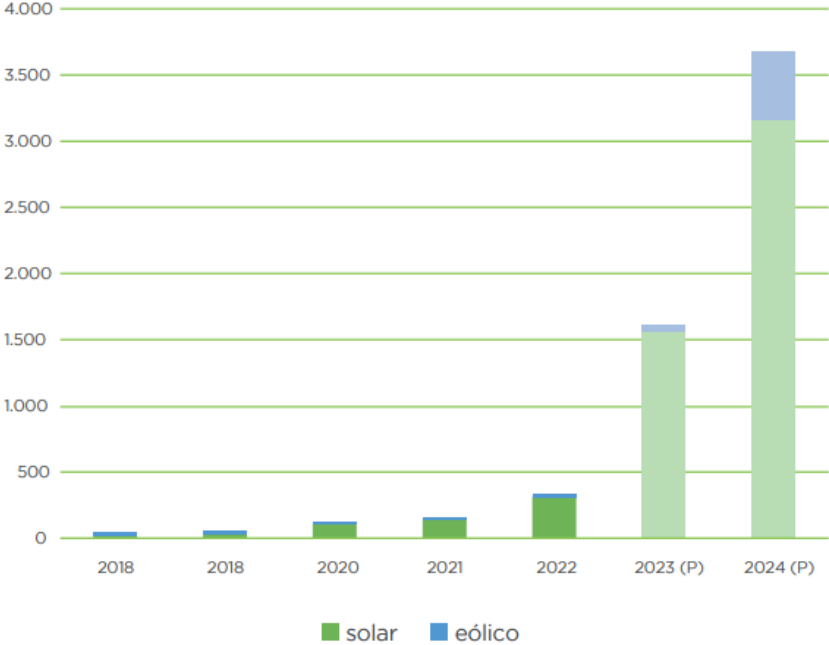
Estos datos, muestran que en Colombia predominan las hidroeléctricas. No obstante, los impactos de un fenómeno de El Niño con temperaturas más altas y sequías más prolongadas, que han afectado diferentes reservas hídricas en todo el país, han evidenciado la urgencia de que el país diversifique su matriz eléctrica hacia otro tipo de Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCER), como la energía eólica.

Actualmente, la capacidad instalada de proyectos solares y eólicos en Colombia está en constante crecimiento. A finales de 2023, el país tenía una capacidad de 504 MW en proyectos de energía renovable no convencional. Además, según SER Colombia¹ (2023), para 2024 el país cuenta con 66 proyectos de energías renovables (65 son de energía solar y uno corresponde a un sistema de almacenamiento de energía con baterías) que significan 3.040 MW de nueva capacidad, incluyendo proyectos en prueba, en construcción y en desarrollo contingentes a trámites. De estos, se espera que el año 2024 cierre con la entrada de 1.240 MW con la puesta en marcha de 22 de los 66 proyectos. Los restantes 44 proyectos están en frases tempranas de su desarrollo. En comparación con otros países, Colombia tiene un camino prometedor hacia la transición energética

¹ Asociación de Energías Renovables Colombia (SER Colombia): creada en 2016, es una entidad privada sin ánimo de lucro, que agrupa a más de 90 compañías a nivel local y global que apuestan por la implementación y desarrollo de las energías renovables no convencionales en Colombia.

transmisión y políticas más ágiles para facilitar el desarrollo de proyectos renovables en zonas remotas (International Energy Agency, 2023), pero requiere más inversión en infraestructura de transmisión y políticas más ágiles para facilitar el desarrollo de proyectos renovables en zonas remotas.

Figura 9. Crecimiento del parque solar y eólico en Colombia



Fuente: obtenido de “Proyectos de energías renovables 2023-2024” (Ser Colombia, 2023)

Teniendo en cuenta el panorama anterior, a continuación, se exponen las ventajas y desventajas de la energía eólica:

Tabla 4. Ventajas y desventaja de la energía eólica

Energía eólica	
Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Aunque la instalación inicial es costosa, el costo nivelado de energía, según el LCOE² (Lazard, 2024) de la eólica es muy competitivo. Según estudios recientes, puede generar electricidad por solo \$0.01-\$0.02 por KW/h, siendo una de las fuentes más baratas disponibles hoy en día. • Al ser una fuente renovable, la energía eólica no emite gases de efecto invernadero ni contamina el aire, lo que contribuye a la lucha contra el cambio climático. • En muchas áreas rurales, la instalación de turbinas eólicas genera empleo y proporciona ingresos constantes a los propietarios de tierras. • Aunque las turbinas son grandes, ocupan relativamente poco terreno, permitiendo usos duales de los terrenos, como con la agricultura. 	<ul style="list-style-type: none"> • La energía eólica depende del viento, lo que la hace intermitente y menos confiable sin un generador de reserva o almacenamiento adecuado. • Las turbinas pueden afectar negativamente a cierto tipo de fauna, como las aves, y pueden generar problemas de ruido y alteración del paisaje, lo que puede generar rechazo por algunas personas en las áreas de influencia del proyecto. • Aunque es económica a largo plazo, los costos (en dólares) de instalación han aumentado en un 38% entre 2021 y 2023 a nivel global, debido al encarecimiento de los metales críticos/estratégicos fundamentales para la producción de energías limpias (como acero, cobre, zinc, magnesio, cromo, níquel, molibdeno y tierras raras).

Fuente: construcción propia usando información de (Perch Energy, 2024), (Ilumunem, 2024) & (Ferris, 2023)

La producción de la energía eólica se puede dar costa afuera (*offshore*) o en tierra (*onshore*). A continuación, se explica las ventajas y desventajas de cada una:

² El LCOE es un informe anual de la consultora Lazard. Este informe compara el costo de generar electricidad a partir de tecnologías de energía renovable con el de las tecnologías convencionales, incluso en varios escenarios y sensibilidades. El LCOE permite una comparación equitativa de diferentes tecnologías al tener en cuenta factores como la generación/producción, los costos iniciales de capital, los costos de combustible, los gastos operativos y de mantenimiento, y la vida útil de los activos.

Tabla 5. Ventajas y desventajas de la producción costa afuera

Producción costa afuera	
Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none">• Los vientos marinos suelen ser más constantes y fuertes que los terrestres, lo que permite una producción energética más predecible y eficiente en proyectos offshore.• Al situarse en el mar, estos proyectos reducen las probabilidades de conflictos con las comunidades locales en tierra, al bajar los impactos sobre el sector agropecuario y el impacto visual y acústico.• Las áreas costeras colombianas, especialmente en el Caribe, presentan velocidades de viento ideales para la generación de energía eólica marina. Se estima que Colombia tiene un potencial estimado de 109 GW para energía eólica offshore.	<ul style="list-style-type: none">• La construcción de infraestructura eólica en alta mar es costosa, debido a la necesidad de tecnología especializada, plataformas marinas y cables submarinos para transportar la energía a la red en tierra. Los costos de estos proyectos pueden superar en más de un 30-50% a los de instalaciones eólicas terrestres.• Colombia actualmente carece de la infraestructura especializada para la instalación y mantenimiento de turbinas offshore, lo que implicaría una inversión adicional en puertos, barcos y equipos.• La construcción y operación de las turbinas en el mar puede afectar la fauna y flora de ecosistemas marinos.• Al ser un tema relativamente nuevo para el país, el desarrollo de proyectos offshore aun enfrenta obstáculos regulatorios y de permisos. Las comunidades se pueden oponer a estos desarrollos y las autoridades aún están en proceso de establecer regulaciones y normas claras para proyectos en alta mar.• En Estados Unidos y Europa, los costos de operación y mantenimiento (O&M) de energía eólica offshore oscilan entre USD \$100 - \$150 por MW/h. Las turbinas ubicadas costa afuera requieren un mantenimiento más robusto debido al ambiente salino, lo que aumenta el desgaste y la corrosión. Esto eleva los costos de mantenimiento preventivo y correctivo, pues involucra técnicos especializados y equipos de alta tecnología. Esta logística puede representar entre el 30% y 40% del costo total de O&M.

	<ul style="list-style-type: none"> • Los parques eólicos offshore presentan limitaciones de acceso, ya que las condiciones marítimas pueden dificultar o impedir el mantenimiento regular, lo cual eleva el tiempo de inactividad y afecta la producción energética.
--	---

Fuente: construcción propia usando información de (Renewables Consulting Group, 2023), (International Energy Agency, 2023), (Reuters, 2024), (Stehly, Duffy, & Mulas Hernando, 2023), (US Department of Energy, 2023) & (Wood Mackenzie, 2021)

Tabla 6. Ventajas y desventajas de la producción en tierra

Producción en tierra	
Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Los proyectos onshore requieren una inversión inicial menor que los offshore, debido a la facilidad de acceso, instalación y mantenimiento en tierra. Esto reduce significativamente los costos de construcción, operación y mantenimiento. • Las turbinas en tierra son más accesibles para el mantenimiento, lo que permite una rápida respuesta a problemas técnicos y reduce los costos y tiempo de parada de las turbinas. • El país ya cuenta con parte de la infraestructura necesaria para proyectos de energía eólica onshore. Además, la transmisión de energía es más fácil y menos costosa en tierra, pues la red de transmisión existente en varias regiones facilita la integración de la energía generada por las turbinas eólicas onshore. • En Estados Unidos y Europa, los costos de operación y mantenimiento de energía eólica onshore oscilan entre USD \$30 - \$50 por MW/h. • Los parques eólicos onshore son más accesibles, permitiendo un mantenimiento más frecuente y tiempos de respuesta más rápidos en caso de 	<ul style="list-style-type: none"> • Las turbinas eólicas requieren de grandes extensiones de terreno, por lo que pueden alterar el paisaje natural y causar ruidos que afectan a las comunidades y a la fauna y flora locales, especialmente en zonas rurales. Esto puede aumentar la oposición de comunidades en las zonas del conflicto, lo que puede llevar a las vías de hecho antes de las obras, durante la construcción y ya en la operación. • En ciertas áreas, el recurso eólico en tierra puede ser menos constante que en el mar, afectando la producción energética. Aunque Colombia tiene buenas áreas de viento, la variabilidad en algunas zonas puede limitar la eficiencia de estos proyectos. • La construcción y operación de las turbinas en el mar puede afectar la fauna que pase por la zona de operación del proyecto, generando impactos ambientales negativos.

fallas, lo que reduce los tiempos de inactividad. También reduce los costos de movilización de técnicos y equipos.	
--	--

Fuente: construcción propia usando información de (Perch Energy, 2024), (International Energy Agency, 2023), (Illuminem, 2024), (Stehly, Duffy, & Mulas Hernando, 2023), (US Department of Energy, 2023) & (Wood Mackenzie, 2021)

Si bien un proyecto offshore podría generar más energía debido a la consistencia y fuerza de los vientos en alta mar, es un proyecto que necesitaría mayor inversión inicial y tiene costos de O&M más elevados y más dificultades de acceso que un proyecto onshore. La elección entre realizar el proyecto offshore y onshore depende del balance entre el potencial de generación y la viabilidad económica, especialmente en países como Colombia, donde aún se está evaluando el desarrollo de políticas, regulaciones e infraestructura para proyectos offshore.

Así, **el presente proyecto de un parque de energía eólica para cubrir el 1%³ de la demanda nacional se desarrollará onshore**, ya que representa una opción más económica y accesible. Adicionalmente, aunque ambos tipos de proyectos tienen una vida útil similar de 20 a 25 años, los menores costos de O&M en onshore contribuyen a un retorno de inversión más rápido.

Cómo se produce la energía eólica

La energía eólica se basa en el aprovechamiento de la energía cinética del viento. Este tipo de energía renovable se obtiene mediante aerogeneradores, que convierten el movimiento del viento en electricidad (Enel, s.f.).

Proceso de producción de energía eólica:

- **Orientación automática:** el aerogenerador se ajusta automáticamente para captar al máximo la energía del viento, utilizando la información proporcionada por una veleta y un anemómetro instalados en su parte superior. La góndola se orienta girando sobre una corona ubicada al final de la torre (Acciona, s.f.).
- **Giro de las palas:** los aerogeneradores reciben el impulso del aire en sus aspas, estas pueden llegar a medir hasta 60 metros de longitud cada una y están fabricadas con materiales muy ligero y resistentes para facilitar su movimiento. El

³ En el capítulo sobre la Evaluación Financiera y Económica del proyecto se explica a profundidad por qué se tomó la decisión de cubrir solo el 1% de la demanda.

viento impulsa las palas, que empiezan a girar cuando la velocidad del viento alcanza aproximadamente 3.5 m/s y producen su potencia máxima a unos 11 m/s. Cuando el viento es demasiado fuerte (25 m/s), las palas se orientan en posición de seguridad y el aerogenerador se detiene para prevenir sobrecargas (Acciona, s.f.). Estas están conectadas a la góndola o cabeza del molino, que se encuentra sobre la torre y contiene la caja de cambios, los ejes de alta y baja velocidad, el generador y el freno, y contiene un rotor unido al aerogenerador a través de un buje que a su vez está acoplado a un eje lento que gira a la misma velocidad de las aspas que convierte la energía cinética del viento en energía mecánica. La cabeza del molino se encuentra encima de una torre que, por lo general, supera los 80 metros de altura y contiene la caja de cambios, los ejes de baja y alta velocidad, el generador y el freno. El potencial de generación de energía depende de varios factores, como el tamaño de las palas y la velocidad del viento. Cuanto más grandes sean las palas y más rápido el viento, mayor será la cantidad de energía generada (U.S. Department of Energy, s.f.).

- **Multiplicador:** el rotor (conjunto de tres palas engarzadas en el buje) hace girar un eje lento conectado a una multiplicadora que eleva la velocidad de giro desde unas 13 a unas 1.500 revoluciones por minuto (Acciona, s.f.).
- **Generador:** la multiplicadora, mediante el eje de alta velocidad, transmite su energía al generador conectado, el cual produce electricidad (Acciona, s.f.).
- **Evacuación:** la energía producida se conduce por dentro de la torre hasta su base y luego, a través de una línea subterránea, llega a la subestación, donde se aumenta su voltaje para integrarla a la red eléctrica y distribuirla a los puntos de consumo (Acciona, s.f.).
- **Monitorización:** todas las funciones críticas del aerogenerador son monitoreadas y controladas desde la subestación y el centro de operaciones, permitiendo detectar y resolver cualquier eventualidad (Acciona, s.f.).

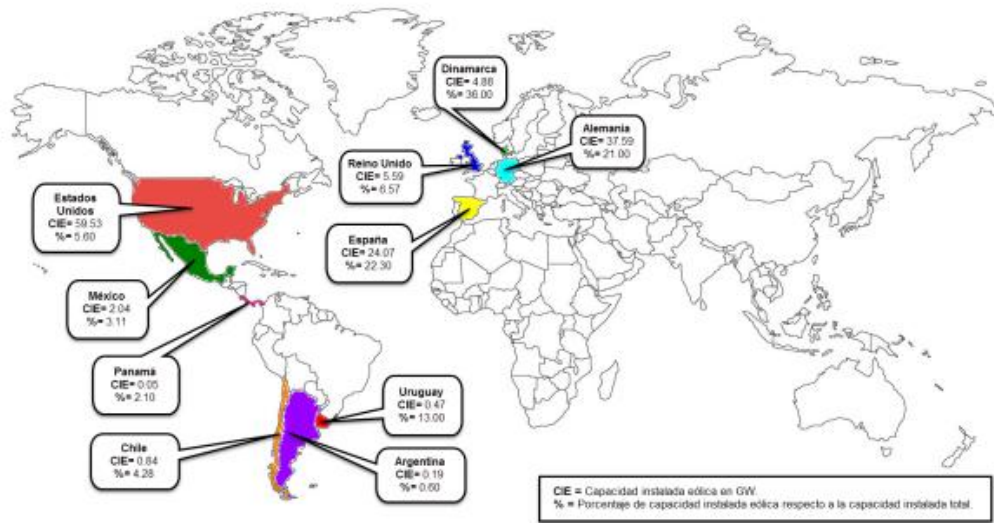
La electricidad producida en el generador es conducida a través de líneas de baja tensión por el interior de la torre hasta su base donde un transformador eleva la tensión para poder transportarla a la línea de transmisión

Los aerogeneradores suelen ser de dos tipos principales: de eje horizontal y de eje vertical. Los de eje horizontal son los más comunes, con tres palas y una configuración que les permite orientarse hacia el viento. Los de eje vertical son omnidireccionales y no requieren de un sistema de orientación. Estos dispositivos pueden instalarse tanto en tierra (onshore) como en el mar (offshore), donde se pueden aprovechar vientos más constantes y fuertes.

Transporte de la energía eólica

La Unidad de Planeación Minero-Energética de Colombia (UPME), en su informe de “Elaboración de requisitos técnicos y recomendaciones regulatorias para la incorporación de la Generación Eólica al Sistema Interconectado Nacional en Colombia” (UPME, 2016), recopiló la información de las principales variables para tener en cuenta para conectar parques eólicos, los requisitos de calidad de potencia y datos específicos de despacho además de otras variables relevantes. Para este análisis se tuvieron en cuenta en cuenta varios países, como referenciación de características, señalados en la Figura 10.

Figura 10. Países del referenciamiento



Fuente: “Elaboración de requisitos técnicos y recomendaciones regulatorias para la incorporación de la Generación Eólica al Sistema Interconectado Nacional en Colombia” (UPME, 2016)

En el estudio realizado por la UPME, se analizaron diferentes metodologías de conexión en cada uno de los países referenciados en la Figura 10, y, posteriormente, se unificaron en aspectos comunes, como requisitos técnicos para la generación y transmisión de energía eólica. A continuación, se describen los principales para la estructuración de un proyecto de esta naturaleza:

- a) **Control Primario de Frecuencia (CPF):** las plantas eólicas deben ser capaces de participar en el control de frecuencia del sistema, con los siguientes requisitos:
 - Estatismos ajustables entre 0 y 10% para frecuencias entre 57.5 Hz y 61.5 Hz.

- Velocidad de respuesta ajustable entre 1% y 10% de la potencia nominal por segundo.
 - Mantener un margen de regulación del 3%.
- b) Rangos de Operación de Frecuencia:**
- Desconexión opcional cuando la frecuencia cae por debajo de 57.5 Hz.
 - Disparo obligatorio con una temporización mínima de 15 segundos para frecuencias entre 57.5 Hz y 58.5 Hz, y entre 62.0 Hz y 63.0 Hz.
 - Operación permanente sin ajustes de disparo permitidos en frecuencias de 58.5 Hz a 62.0 Hz.
 - Desconexión forzada cuando la frecuencia excede los 63.0 Hz.
- c) Control de Potencia Reactiva:**
- Para niveles de generación de potencia activa entre el 10% y el 20%, se requiere un factor de potencia entre 0.90 (atraso) y 0.95 (adelanto).
 - Para potencias activas entre el 20% y el 100%, la potencia reactiva puede llegar hasta el 30% en adelanto y 50% en atraso con relación a la potencia nominal.
- d) Control de Tensión:** los parques eólicos deben estar equipados para proveer potencia reactiva y, por tanto, participar en el control de tensión del sistema. Esta capacidad es esencial para mantener la estabilidad de tensión en la red bajo diferentes condiciones de operación.
- e) Tensión de Operación en Falla (Fault Ride-Through):**
- Durante fallas, las plantas eólicas deben ser capaces de operar con bajos niveles de tensión (LVRT) por al menos un segundo, permitiendo que permanezcan conectadas al sistema y contribuyan a la recuperación de la red.
 - El tiempo máximo de despeje de una falla será de 100 ms para generadores en sistemas con tensiones superiores a 200 kV y de 200 ms para tensiones inferiores.
- f) Estabilidad de Tensión y Frecuencia:** se deben realizar estudios de estabilidad de tensión en condiciones normales y contingentes para evaluar el impacto de la generación eólica sobre las redes de transmisión cercanas. Además, se debe garantizar que los parques eólicos participen en el control primario de frecuencia para contribuir a la estabilidad general del sistema eléctrico.
- g) Calidad de Onda (Flicker y Armónicos):**
- Las plantas eólicas deben cumplir con los estándares de calidad de onda de la norma IEC 61400-21, que regula los niveles de parpadeo (flicker) y armónicos.

- Es fundamental que los parques eólicos se sometan a evaluaciones de armónicos y flicker antes de su entrada en operación, con el fin de garantizar que no afecten la calidad de la energía.
- h) **Supervisión en Tiempo Real y Pronósticos:** las plantas eólicas deben proporcionar al operador del sistema (CND) información en tiempo real sobre variables críticas, como voltaje, corriente, potencia activa y reactiva, condiciones del viento, entre otras. También deben entregar pronósticos de producción de energía con diferentes horizontes de tiempo (24 horas, 48 horas, semanal).

Estudios de Conexión:

Antes de conectar un parque eólico al Sistema Interconectado Nacional (SIN), es necesario realizar estudios detallados sobre:

- Estado estacionario: evaluación de la operación del parque bajo diferentes niveles de demanda.
- Estabilidad dinámica y de tensión: análisis de la respuesta del sistema frente a contingencias y variaciones de carga.
- Análisis modal y de flicker: para asegurar que el parque no introduzca oscilaciones o fluctuaciones indeseadas en la red.

Estos requerimientos aseguran que la incorporación de la energía eólica se realice de manera segura y eficiente, garantizando la estabilidad y confiabilidad del sistema eléctrico colombiano.

Entrega de la energía eólica

La entrega de la energía eólica a las ciudades es un proceso que garantiza que la electricidad generada en parques eólicos llegue a los centros urbanos para ser utilizada en una amplia gama de aplicaciones. Este proceso es clave para que la energía limpia y renovable se integre a la vida cotidiana y a las actividades productivas de las ciudades, apoyando tanto el consumo residencial como industrial.

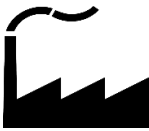
Como se explicó anteriormente, una vez que la electricidad generada por estos parques eólicos ha sido transformada y transportada a través de las líneas de transmisión de alto voltaje, llega a las subestaciones cercanas a las ciudades. Aquí, la energía se somete a una reducción de tensión mediante transformadores, haciéndola apta para su distribución en los sistemas eléctricos urbanos. A partir de este punto, la electricidad se distribuye a través de redes que cubren diferentes áreas metropolitanas, tanto para el uso residencial como para actividades comerciales e industriales.



Para el consumo residencial, la energía eólica llega a los hogares de manera similar a cualquier otra fuente de electricidad. A medida que la electricidad fluye hacia las áreas residenciales, se transforma en niveles de tensión adecuados para alimentar aparatos domésticos, iluminación, sistemas de calefacción y refrigeración, y otros electrodomésticos. De esta manera, los usuarios pueden beneficiarse del uso de una fuente de energía limpia sin notar ninguna diferencia en su experiencia de consumo eléctrico.



En el ámbito comercial, la energía eólica es fundamental para alimentar oficinas, comercios y servicios públicos esenciales como hospitales, escuelas y transporte público. Los sistemas de energía eólica pueden integrarse en la red de distribución general o, en algunos casos, ser utilizados directamente en instalaciones que tienen acceso directo a la electricidad generada por parques eólicos cercanos. Este tipo de uso ayuda a reducir la huella de carbono de las operaciones diarias en entornos urbanos.



En el sector industrial, la energía eólica también juega un papel crucial. Muchas ciudades albergan industrias que dependen de grandes cantidades de electricidad para operar maquinaria pesada, líneas de producción, y sistemas de automatización. La energía eólica puede ser integrada en los procesos industriales, proporcionando una fuente confiable y sostenible para las fábricas y plantas de producción.

Además de estos usos directos, en algunas ciudades la energía eólica también se integra a través de infraestructuras innovadoras, como sistemas de almacenamiento de energía en baterías o redes inteligentes, que permiten gestionar mejor el flujo de electricidad y asegurar un suministro constante, incluso cuando no hay viento.

En términos de movilidad eléctrica, muchas ciudades están adoptando la energía eólica para alimentar el transporte público y privado. Los vehículos eléctricos, desde autobuses hasta automóviles particulares, pueden cargarse con energía proveniente de fuentes eólicas, lo que contribuye a la reducción de emisiones en sectores de alto consumo energético. De hecho, en algunas ciudades con alta penetración de energía eólica en la red, la mayoría de la electricidad que alimenta las estaciones de carga de vehículos eléctricos proviene de esta fuente renovable.

La energía eólica juega un papel cada vez más relevante en la provisión de electricidad para las ciudades. No solo alimenta hogares, negocios e industrias, sino que también

promueve un cambio hacia una infraestructura urbana más sostenible, reduciendo las emisiones de carbono y contribuyendo al desarrollo de ciudades que gestionan de manera eficiente sus recursos energéticos.

NUESTRO PROYECTO

Ubicación del proyecto

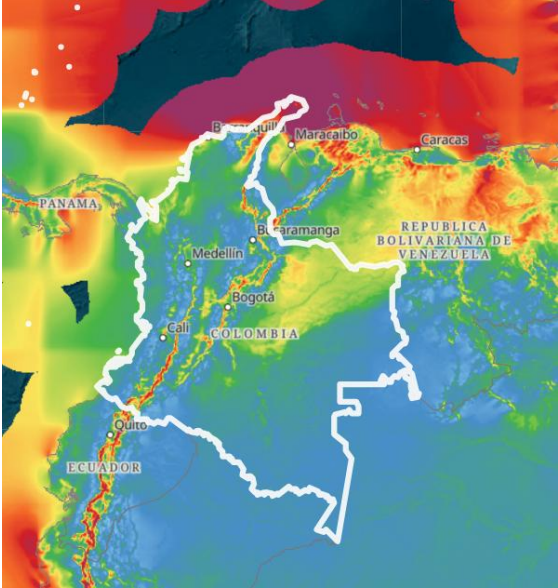
La localización tiene una importancia crucial para el proyecto, al producir un profundo impacto en su cadena de valor. La localización del proyecto afecta el relacionamiento con los proveedores, influye en los costos de transporte y logística, afecta la relación con el cliente (en este caso con los transmisores o transportadores de la energía), afecta la disponibilidad e idoneidad de la mano de obra, influye en los costos de construcción y operación, y puede ser un limitante o facilitador para el acceso a la tecnología. También es importante considerar los riesgos políticos, legales, económicos, sociales y de seguridad potenciales y existentes sobre el territorio al momento del proceso de toma de decisión. Así, el objetivo es seleccionar un sitio con el costo total más bajo. Teniendo en cuenta que, la ubicación del proyecto puede darle una ventaja competitiva al proyecto.

Cuando se habla de energía eólica onshore en Colombia, uno de los primeros lugares que se viene a la mente para el desarrollo de estos proyectos es La Guajira. Sin embargo, para nuestro proyecto desarrollamos un ejercicio de evaluación multicriterio en diferentes departamentos del país, sin tener en cuenta a La Guajira. Lo anterior, dado que, si bien este departamento presenta vientos superiores a muchos lugares en el país (Guerrero Hoyos, Vélez Macías, & Morales Quintero, 2019), La Guajira también se caracteriza por una alta desestabilidad política y social. Este ha ocasionado no solo altos porcentajes de retraso en los proyectos de energías renovables (Arenales, 2023), también ha generado la suspensión de los proyectos, como el parque eólico Windspeshi (Almarino, 2023). Lo anterior, evidencia que, si bien es un destino con condiciones técnicas deseables, su contexto político y social acarrearán obstáculos significativos para el desarrollo del proyecto.

Para la elección del lugar, primero realizamos un filtrado utilizando el “Global Wind Atlas” (2024) marcando los lugares en el territorio continental que tuvieran vientos promedios superiores al 10 metros por segundo (m/s) a una altura de 100 metros. Como resultado de ese primer ejercicio, tuvimos puntos en ocho departamentos: Nariño, Quindío, Risaralda, Huila, Cundinamarca, Boyacá, Santander y Cesar. Aquí, también es

importante mencionar que, si bien había puntos con estas características en Cauca y Norte de Santander, ambos departamentos fueron descartados ante la situación precaria de seguridad presente en dichos territorios.

Figura 11. Mapa de vientos de Colombia



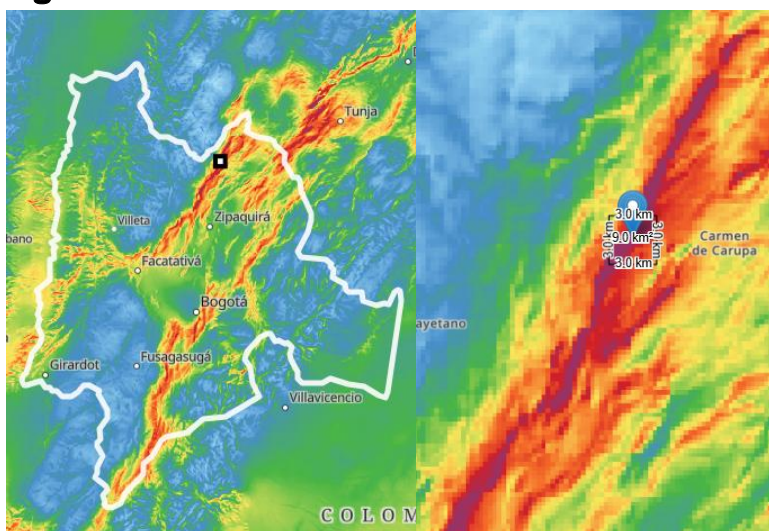
Fuente: (Global Wind Atlas, 2024)

Figura 12. Mapa de vientos de Cundinamarca



Fuente: (Global Wind Atlas, 2024)


Figura 13. Coordenadas exactas



Datos del área:

Centro (Lat, Long): 5.350103°, -73.952065°

Altura: 100 m

 12,61 m/s

Carmen de Carupa, Cundinamarca

Fuente: (Global Wind Atlas, 2024)

En segundo lugar, establecimos las variables a evaluar:

Tabla 7. Descripción de las variables

Ventajas	Desventajas
Panorama de seguridad	Presencia de grupos armados, crímenes violentos, homicidios, hurtos y extorsiones. La información fue sacada de la Fundación Pares y Reconciliación (2024) y de la Policía Nacional (2024).
Conectividad vial	Estado de las vías primarias, secundarias y terciarias. La fuente fueron el Plan Departamental de Desarrollo ⁴ de cada uno de los departamentos elegidos y el reporte del Instituto Nacional de Vías (2024) sobre el estado de las vías a su cargo.
Conectividad aérea	Estado y capacidad de la infraestructura aeroportuaria. Esta información se consultó del panorama aeroportuario en cada departamento, con base en la información recolectada en los perfiles de Colombia Risk Analysis (2024).
Talento humano	Presencia de mano de obra local especializada con posgrado. Este dato se sacó con base en el resultado de los departamentos en el Índice Departamental de Competitividad (2024).

⁴ En la bibliografía se puede encontrar el link de cada uno de estos documentos.

Estabilidad social	Presencia de manifestaciones y/o bloqueos por parte de las comunidades. Este dato se sacó de la Defensoría del Pueblo (2023) .
Promedio de vientos	Promedio de vientos en diferentes puntos del departamento. Información consultada en el Global Wind Atlas.
Comunidades de reconocimiento especial	Presencia de comunidades étnicas que requieren de consulta previa. Esta información es sacada del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) (2018).
Factores medioambientales	Posibles afectaciones a la fauna y flora del territorio, en especial aves migrantes, y presencia de áreas con categoría de reserva natural. La fuente de información de esta variable es Esri Colombia ⁵ (2024)y Parques Nacionales Naturales de Colombia (2024).
Fenómenos naturales	Desarrollo de fenómenos naturales de alto impacto (como al explosión de un volcán o derrumbes de vías). Para esto desarrollamos una revisión de prensa.
Servicios públicos	Cobertura de los servicios de acueducto, alcantarillado, gas y energía eléctrica. Para esto se consideró el puntaje de los departamentos en el Índice Departamental de Competitividad.

Fuente: elaboración propia, con base en la información disponible en las diferentes fuentes de información

Una vez establecidas las variables, se les dio un peso de 1 a 10, siendo 1 el peor escenario y 10 el escenario ideal. Cada uno votaba y sacábamos un puntaje promedio de no haber consenso entre los cuatro. El total departamental, se obtuvo de multiplicar el valor de cada variable por el puntaje que se le dio. Así, tuvimos como resultado a Cundinamarca como el departamento con mejor resultado y respecto a las áreas elegidas, la localización precisa es: Centro (Lat, Long): 5.350103°, -73.952065°. Si bien el punto está dentro del Páramo de Guargua y Laguna Verde, como se explicará más adelante, si es posible realizar el proyecto en esta zona, teniendo en cuenta que en el pasado ya se realizó un proyecto de energía.

⁵ Empresa dedicada al mapeo y análisis computacional para contribuir a la planeación geográfica y a las ciencias ambientales.

De igual forma, en el ejercicio de geolocalización en segundo lugar quedó el departamento de Quindío y, en tercer lugar, Santander. De forma que, se puedan considerar otros lugares también.

Tabla 8. Peso de las variables

Peso de las variables	
Panorama de seguridad	1
Conectividad vial	0,8
Conectividad aérea	0,5
Talento humano	0,4
Estabilidad social	0,7
Promedio de vientos	0,9
Comunidades de reconocimiento especial	0,9
Factores medioambientales	0,6
Fenómenos naturales	0,3
Servicios públicos	0,8

Fuente: elaboración propia

Tabla 9. Matriz de evaluación

Variables/Lugares	Nariño	Quindío	Risaralda	Huila	Cundinamarca	Boyacá	Santander	Cesar
Panorama de seguridad	1	9,5	5	2	8	6	7	4
Conectividad vial	3	7	5	4	7,5	5	6	4
Conectividad aérea	1	8	7,5	4	10	2,5	7	5
Talento humano	4	7	7,5	7	8	10	9	2
Estabilidad social	7,5	8,7	8,7	7,5	7,5	7,5	3,75	7,5
Promedio de vientos	10	8	7	8,5	9	8	7,5	9,5
Comunidades de reconocimiento especial	1	7	7	4	8	8	6	4
Factores medioambientales	6	3	2	5	6	7	8,5	7
Fenómenos naturales	8	3	2	8	8	8	6	9
Servicios públicos	4	9	8	7	7	6	7	6
TOTAL	29,85	51,39	42,64	37,50	54,35	46,30	46,18	39,60
		Segunda opción			Primera opción	Tercera opción		

Fuente: elaboración propia

Tamaño del proyecto

Para definir el tamaño apropiado del proyecto del parque eólico, es importante conocer los principales parques eólicos del mundo, Latinoamérica y Colombia. Este análisis permitirá comprender las capacidades de energía eléctrica instaladas de cada uno de ellos y el número de aerogeneradores que tienen. Además, esta información será de mucha utilidad para proponer la capacidad apropiada de generación de energía eléctrica que podría tener proyecto.

Tabla 10. Principales parques eólicos del mundo

Nombre del parque eólico	País	Capacidad de generación	Unidades	Total aerogeneradores
Gansu Wind Farm	China	7.965	MW	2.700
Jaisalmer	India	1.600	MW	1.600
Alta Wind Energy Centre	Estados Unidos	1.548	MW	586
Muppandal	India	1,500	MW	3.000
Shepherds Flat Winds	Estados Unidos	845	MW	338
Roscoe Wind Farm	Estados Unidos	781	MW	627
Horse Hollow	Estados Unidos	735	MW	421
Capricorn Ridge	Estados Unidos	662	MW	407
Walney Extension	Reino Unido	659	MW	87
London Array	Reino Unido	630	MW	175
Fântânele-Cogealac	Rumanía	600	MW	240
Fowler Ridge	Estados Unidos	599	MW	355
Sweetwater	Estados Unidos	585	MW	392
Buffalo Gap	Estados Unidos	523	MW	296

Fuentes: elaboración propia a partir de datos de (Roca, 2015) (ALTITION Ronergy Wind Services, 2021) (Bigordà, 2024)

Tabla 11. Principales parques eólicos de Latinoamérica

Nombre del parque eólico	País	Capacidad de generación	Unidades	Total aerogeneradores
Vila Pará	Brasil	1.200	MW	230
Pampa	Brasil	800	MW	200
Oaxaca	México	500	MW	170
Peralta y Caracoles	Uruguay	300	MW	100
Cabo Leones	Chile	300	MW	140

Fuentes: (Sostenibilidad Ambiental, 2024) (Energía Estratégica, 2018) (Bnamericas, 2022)

Tabla 12. Principales parques eólicos de Colombia

Nombre del parque eólico	País	Capacidad de generación	Unidades	Total aerogeneradores
Guajira 1	Colombia	20	MW	10
Jepírachi	Colombia	19,5	MW	15

Fuentes: (Ministerios de Minas y Energía, 2024) (Urrego, 2022) (Zapata Quinchía, 2022)

Teniendo en cuenta lo anterior, se realiza un análisis de la capacidad de generación eléctrica por aerogenerador, dando como resultado que en promedio los parques eólicos del mundo utilizan aerogeneradores de 2,35 MW, Latinoamérica 3,46 MW y Colombia 1,65 MW.

Por lo anterior, se puede concluir que el proyecto de Parque Eólico podría construirse con aerogeneradores que tengan una capacidad de generación de energía eléctrica de 2,5 MW (promedio entre 2,53 MW, 3,46 MW y 1,65 MW), los cuales son usados en grandes parques eólicos como Shepherds Flat Winds, Fântânele-Cogealac y Fowler Ridge que utilizan aerogeneradores tipo GE y CLipper C-96 respectivamente. Inclusive el proyecto también podría optar por generadores de 2,3 MW de tipo Siemens que también son utilizados por otros grandes parques eólicos en el mundo, de acuerdo con la siguiente tabla.

Tabla 13. Detalle aerogeneradores parques eólicos del mundo

Nombre del parque eólico	Aerogeneradores	Tipo de aerogenerador	Generación (MW)
Alta Wind Energy Centre	100	GE	1,50
Alta Wind Energy Centre	162	Vestas	3,00
Alta Wind Energy Centre	162	GE	1,70
Alta Wind Energy Centre	162	GE	2,85
Shepherds Flat Winds	338	GE	2,50
Roscoe Wind Farm	209	Mitsubishi	1,00
Roscoe Wind Farm	55	Siemens	2,30
Roscoe Wind Farm	166	GE	1,50
Roscoe Wind Farm	197	Mitsubishi	1,00
Horse Hollow	142	GE	1,50
Horse Hollow	130	Siemens	2,30

Nombre del parque eólico	Aerogeneradores	Tipo de aerogenerador	Generación (MW)
Horse Hollow	149	GE	1,50
Capricorn Ridge	342	GE	1,50
Capricorn Ridge	65	Siemens	2,30
London Array	175	Siemens	3,60
Fântânele-Cogealac	240	GE	2,50
Fowler Ridge	182	Vestas	1,65
Fowler Ridge	40	Clipper C-96	2,50
Fowler Ridge	133	GE	1,50
Sweetwater	25	GE	1,50
Sweetwater	151	GE SLE	1,50
Sweetwater	135	Mitsubishi	1,00
Sweetwater	81	Siemens	2,30
Buffalo Gap	67	Vestas V-80	1,80
Buffalo Gap	155	GE	1,50
Buffalo Gap	74	Siemens	2,30

Fuente: elaboración propia a partir de datos de “Los 10 Parques Eólicos más importantes del mundo” (MiningPress, 2015)

Ahora, como el proyecto considera cubrir el 10% de la demanda de energía eléctrica de Colombia en los próximos años, es importante también analizar esa información. A continuación, se presenta la proyección de la demanda PMÁX energía eléctrica para Colombia en los próximos años.

Tabla 14. Proyección demanda PMÁX total nacional (MW)

Escenario	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Alto	13.409	13.680	13.969	14.268	14.583	14.917
Medio	12.926	13.186	13.463	13.750	14.052	14.372
Bajo	12.462	12.711	12.977	13.251	13.541	13.849

Fuente: elaboración propia a partir de datos de “Pronóstico de demanda” (XM, 2024)

Es decir, que, si el proyecto plantea cubrir el 10% de esa energía, deberá generar lo siguiente:

Tabla 15. Proyección del 10% de la demanda PMÁX total nacional (MW)

Escenario	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Alto	1.341	1.368	1.397	1.427	1.458	1.492
Medio	1.293	1.319	1.346	1.375	1.405	1.437
Bajo	1.246	1.271	1.298	1.325	1.354	1.385

Fuente: elaboración propia a partir de la Tabla 14

En la siguiente sección se analizará la cantidad de aerogeneradores que deberá tener nuestro proyecto de un parque eólico para poder cubrir esa demanda de energía eléctrica del 10% para los próximos años en Colombia.

Cantidad de aerogeneradores del proyecto

Los parques eólicos más avanzados emplean, predominantemente, turbinas de tres aspas, ya que representa un equilibrio óptimo entre potencia, eficiencia y viabilidad económica. Aunque una turbina con más aspas podría generar más energía, su eficiencia disminuye debido al aumento de peso, lo que incrementa los costos de fabricación, instalación y mantenimiento. De igual forma, una turbina de dos aspas, aunque podría lograr un rendimiento energético comparable al de las de tres aspas, requeriría un incremento en las dimensiones estructurales para compensar la reducción de estabilidad y eficiencia aerodinámica, lo que seguramente también llevaría a mayores costos.

El diseño de una turbina eólica no se basa únicamente en maximizar la potencia. Existen múltiples factores que influyen en la selección del diseño más adecuado, entre los cuales están: los costos de fabricación y operación, la facilidad de mantenimiento, la reducción del ruido producido por el giro de las aspas y el impacto visual o paisajístico. En entornos urbanos o áreas protegidas, estos factores adquieren mayor relevancia, ya que es fundamental minimizar la contaminación acústica y mantener una integración visual armoniosa con el entorno. Además, la durabilidad y el rendimiento a lo largo del ciclo de vida de la turbina son clave para garantizar que el proyecto sea económicamente viable y ambientalmente sostenible.

Teniendo en cuenta lo anterior, la Tabla 16 y considerando que la capacidad de los aerogeneradores que tendrá nuestro proyecto es 2,5 MW, se proyecta que el parque eólico deberá tener el siguiente número de aerogeneradores:

Tabla 16. Proyección del número de aerogeneradores para suplir la demanda del 10%

Escenario	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Alto	540	550	562	574	587	600
Medio	520	531	542	553	565	578
Bajo	501	511	522	533	545	557

Fuente: elaboración propia a partir de la Tabla 15

Si el parque eólico se construyera con la proyección de cubrir el 10% de la demanda de energía eléctrica del país, el proyecto debería tener en promedio 548 aerogeneradores que generaran en promedio 2,5 MW cada uno, es decir estar al mismo nivel de los parques eólicos más grandes del mundo. Lo anterior, hace poco viable el proyecto teniendo en cuenta las dimensiones en términos de espacio, inversiones, operación, mantenimiento y demás variables a considerar de un proyecto de estas características.

Por lo anterior, se plantea reformular el proyecto para que no supla el 10%, sino el 1% de la energía eléctrica de Colombia para los próximos años, dando como resultado lo siguiente:

Tabla 17. Proyección del 1% de la demanda PMÁX total nacional (MW)

Escenario	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Alto	134	137	140	143	146	149
Medio	129	132	135	138	141	144
Bajo	125	127	130	133	135	138

Fuente: elaboración propia a partir de la Tabla 16

Ahora, con esta demanda de energía del 1%, se proyecta nuevamente el número de aerogeneradores del proyecto:

Tabla 18. Proyección del número de aerogeneradores para suplir la demanda del 1%

Escenario	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Alto	54	55	56	57	59	60
Medio	52	53	54	55	57	58
Bajo	50	51	52	53	54	56

Fuente: elaboración propia a partir de la Tabla 17

Con el ajuste del porcentaje de la demanda a cubrir del 1%, el proyecto deberá tener en promedio 55 aerogeneradores con una capacidad de generación de 2,5 MW, de esta manera ya se podría considerar como un proyecto viable para ejecutar en el país.

Inclusive en Colombia ya se han planteado proyectos similares, como el que se estaba desarrollando en La Guajira en el municipio de Uribia. El proyecto, antes de que Enel desistiera de la construcción en mayo de 2023 (El Pilón, 2025), planteaba la construcción de un parque eólico que generaría 205 MW de energía eléctrica a través de 41 aerogeneradores (Enel, 2024).

Selección del tipo de aerogenerador

En las secciones anteriores se definió la cantidad de aerogeneradores que tendrá el parque eólico (55) y su respectiva capacidad de generación de energía eléctrica (2,5 MW). Ahora, se seleccionará el tipo de aerogeneradores que tendrá el proyecto, para ello se realiza un análisis del tipo de aerogeneradores que tienen los principales parques eólicos en el mundo (Tabla 13 del presente documento).

Tabla 19. Cantidad de aerogeneradores por referencia

Tipo aerogenerador	N° aerogeneradores	%
GE	2.114	55%
Siemens	580	15%
Mitsubishi	541	14%
Vestas	344	9%
GE SLE	151	4%
Vestas V-80	67	2%
Clipper C-96	40	1%
Total	3.837	100%

Fuente: elaboración propia a partir de la Tabla 13

Se puede apreciar que el 55% pertenecen GE Vernova, la cual es una empresa especializada en energías renovables, lo que es una prenda de garantía para los parques eólicos más grandes del mundo. Por tal motivo para **nuestro proyecto también se considera la instalación de aerogeneradores tipo GE de 2,5 MW GE Vernova**, de capacidad de generación eléctrica que cuenta con las siguientes características:

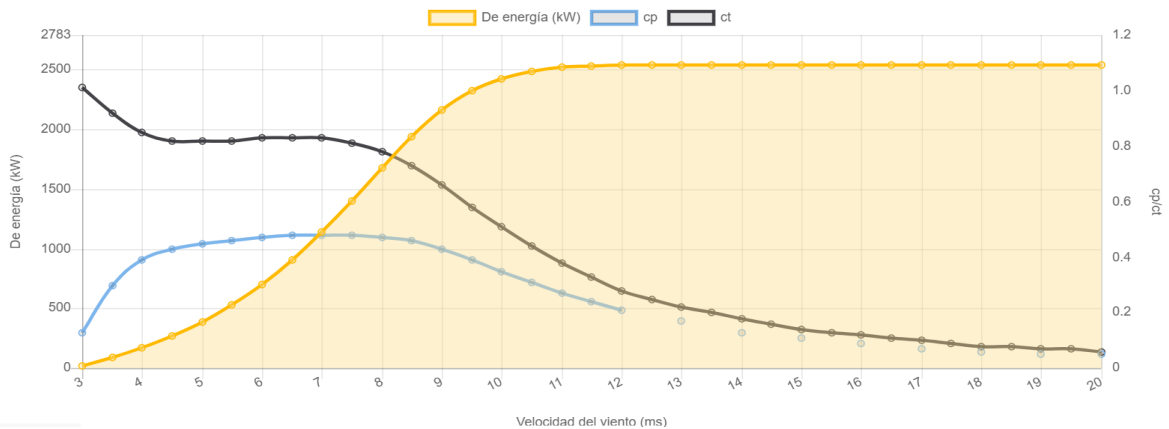
Tabla 20. Cantidad de aerogeneradores por referencia

Hoja de datos		
Energía		
Potencial nominal	2.500	KW
Velocidad del viento	3	m/s
Velocidad del viento de corte	25	m/s

Hélice		
Diámetro	120	m
Superficie del rotor	11.309	m ²
Número de hojas	3	
Designación del tipo	58	
Densidad de potencia 1	221	W/m ²
Densidad de potencia 2	4,5	m ² /kW
Torre		
Altura del buje	110/139	m
Otros		
Onshore	Sí	

Fuente: elaboración propia a partir de datos de "GE Vernova GE 2.5 - 120" (Wind Turbine Models, 2024)

Figura 14. Curva de potencia



Fuente: elaboración propia a partir de datos de "GE Vernova GE 2.5 - 120" (Wind Turbine Models, 2024)

Figura 15. Fotos aerogenerador GE Vernova de 2,5 MW



Fuente: elaboración propia a partir de datos de "GE Vernova GE 2.5 - 120" (Wind Turbine Models, 2024)

Marco legal del proyecto

Es importante adoptar la política energética en Colombia, definida por el Plan Estratégico Nacional (PEN) 2020-2050, para nuestro proyecto de parque eólico. En este documento se incluye la normatividad de la energía solar y la energía eólica para zonas que estén conectadas a la red como para aquellas que no lo están.

Asimismo, se deben tener en cuenta las regulaciones de por lo menos 12 entidades públicas, dada su competencia en el sector de la energía renovable en el país. En este sentido,

“los actores clave son el Ministerio de Minas y Energía (MME), la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME), la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) y el operador del sistema de transmisión (XM). También son clave las correspondientes autoridades de licenciamiento ambiental: la Autoridad Nacional (ANLA) para proyectos mayores a 100 MW y las Corporaciones Autónomas Regionales (CARs) para proyectos menores a 100 MW. La entidad técnica encargada de apoyar la formulación y aplicación de políticas en los sectores minero-energético es la UPME, tal y como se indica en varios documentos de planificación, como el Plan Energético Nacional, el Plan de Expansión de Generación y Transmisión y el Plan Indicativo de Expansión de Cobertura de Energía Eléctrica” (Vega Araújo & Muñoz Cabré, 2023).

Al analizar el Plan de Expansión y Generación y Transmisión 2020-2034 se evidencia la estimación de escenarios para 2034 de entre 3.700 a 4.578 MW de energía eólica y entre 1.963 a 4.662 MW de energía solar.

Tabla 21. Leyes que impactan los proyectos de energía eólica

Ley	Objetivo e impacto legal en nuestro proyecto
Ley de Electricidad de 1994 (Ley 143)	Regulación e incentivos específicos para las energías renovables.
Ley 2099 de 2021	Los incentivos más recientes incluyen (1) deducción fiscal del impuesto sobre la renta por 50% del valor total de la inversión, aplicable a un máximo del 50% de la renta gravable en un periodo de hasta 5 años (ampliado a 15 años por la Ley 1955 de 2019 y ratificado por la Ley 2099 de 2021).
Resolución 203 de 2020 de la UPME ⁶	Exención de derechos de importación para equipos de energía renovable no producidos localmente.

⁶ Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME).

Resolución 075 de 2021 de la CREG ⁷	Regula el acceso a la transmisión para proyectos de energía renovable estableciendo un enfoque de "ventanilla única" y una garantía de reserva de capacidad de USD 10 por kW. Los auto generadores de pequeña escala (capacidad instalada ≤ 1 MW) y los generadores distribuidos (capacidad instalada ≤ 100 kW) tienen procedimientos simplificados y acceso a la medición neta, según lo regulado por la Resolución 030 de 2018 de la CREG.
Ley 1955 de 2019	Ordena un 10% de suministro de electricidad renovable (excluidas las grandes centrales hidroeléctricas) a partir de 2023.
Resolución 40590 de 2019	MME ⁸ permite la aplicación de acuerdos de compra de energía a largo plazo y la introducción de subastas de energía renovable. La compañía nacional de petróleo y gas (Ecopetrol), ha incluido en su estrategia a largo plazo el objetivo de 400-450 MW de autogeneración para 2040 a partir de fuentes de energía renovables, incluidas la solar, la eólica y la geotérmica.
Resolución 40590 de 2019 del MME	Regula las subastas para contratos a largo plazo de generación de energía renovable.
Ley 1715 de 2014 (actualizada por la Ley de Transición Energética- Ley 2099 de 2021)	La financiación pública a nivel nacional para las energías renovables proviene de diversas fuentes. El Fondo de Energías No Convencionales y Gestión Eficiente de la Energía (FENOGE) fue creado por esta Ley, reglamentado por el Decreto 1543 de 2017 y la Resolución 40104 de 2021 del MME y está en operación desde 2018. Una tarifa de COP 0,4 por kWh financia FENOGE, recaudada en el mercado mayorista de electricidad por FONENERGÍA ⁹ , un fondo de soluciones energéticas (anteriormente FAZNI), creado por la Ley 2099 de 2021 y regulado adicionalmente por el Decreto 1580 de 2022. FENOGE también se financia a través de inversiones de bancos nacionales y multilaterales, donaciones y fondos públicos o privados. FONENERGÍA reemplaza a varios fondos anteriores activos en energías renovables, como FAZNI ¹⁰ y FAER ¹¹ , y sus objetivos incluyen la expansión de la cobertura energética y la calidad del servicio.
Ley 2056 de 2020	Los incentivos más recientes incluyen (1) deducción fiscal del impuesto sobre la renta por 50% del valor total de la inversión, aplicable a un máximo del 50% de la renta gravable en un periodo de hasta 5 años (ampliado a 15 años por la Ley 1955 de 2019 y ratificado por la Ley 2099 de 2021); (2) exención del IVA para equipos y servicios de energía renovable (regulado por la Resolución 203 de 2020 de la

⁷ Comisión de Regulación de Energías y Gas (CREG).

⁸ Ministerio de Minas y Energías (MME).

⁹ Fondo Único de Soluciones Energética (FONENERGÍA).

¹⁰ Fondo de Apoyo Financiero para la Energización de las Zonas no Interconectadas (FAZNI).

¹¹ Fondo de Apoyo Financiero para la Energización de las Zonas Rurales Interconectadas (FAER).

	UPME); (3) exención de derechos de importación para equipos de energía renovable no producidos localmente.
Ley 2099 de 2021	Depreciación acelerada de hasta el 20% anual para inversiones en energía renovable (aumentada al 33,33%).
Resolución 40284 de 2022	Establece las normas de competencia para el desarrollo de la energía eólica marina.
Resolución 40060 de 2021 del MME	Ordena un 10% de suministro de electricidad renovable (excluidas las grandes centrales hidroeléctricas) a partir de 2023. La Resolución 40590 de 2019 del MME permite la aplicación de acuerdos de compra de energía a largo plazo y la introducción de subastas de energía renovable. La compañía nacional de petróleo y gas, Ecopetrol, ha incluido en su estrategia a largo plazo el objetivo de 400-450 MW de autogeneración para 2040 a partir de fuentes de energía renovables, incluidas la solar, la eólica y la geotérmica.

Fuente: elaboración propia a partir de Secretaría del Senado de la República

Respecto a la normatividad de financiación de proyectos de energía eólica en Colombia,

“El Sistema General de Regalías (SGR), establecido por el Acto Legislativo 05 de 2011 y regulado por la Ley 2056 de 2020, financia proyectos de energías renovables. Según la Ley 2036 de 2020, el SGR también puede financiar la participación accionaria de entidades subnacionales y territorios indígenas en proyectos de energías renovables. El fondo de acceso a la energía del IPSE ejecuta proyectos de electrificación rural, incluidas las energías renovables. La Banca de Desarrollo Territorial (FINDETER) financia infraestructura para el desarrollo sostenible, incluidas las energías renovables, a través del programa Reactiva Colombia. Las instituciones internacionales de financiación del desarrollo también se han comprometido con las energías renovables en Colombia. Por ejemplo, en 2017, el Banco Interamericano de Desarrollo proporcionó 91 millones de USD para el acceso a la energía y desarrollar proyectos de energías renovables al Fondo Todos Somos PAZcífico (FTSP) y una línea de crédito de 45 millones de USD para proyectos de energía limpia al Banco de Desarrollo Comercial de Colombia (Bancoldex) en 2021. En 2022, el banco de inversión alemán KfW firmó un acuerdo de préstamo de 200 millones de EUR para apoyar y acelerar la transición de Colombia hacia fuentes de energía renovables” (Sosapanta, 2020).

Al analizar el marco normativo que regula la energía eólica en Colombia, es evidente que existe la necesidad de incentivar, desde políticas tributarias, fiscales y monetarias, a los proyectos que le apuesten a la energía eólica en el país. Una estrategia que funcionaría sería reglamentar, a través de leyes y resoluciones, las entidades estatales que fungen actualmente como intermediarias en el desarrollo de las subastas. Esto permitiría la comunicación directa entre las empresas generadoras y las empresas comercializadoras. Esta idea se soporta en el artículo 42 de la Ley 143 de 1994, en la que, según el Congreso de la República, se conciben los procesos de generación y

comercialización como mercado liberalizado, donde los agentes pueden realizar transacciones de energía sin la sujeción a un ente regulador (Sosapanta, 2020).

Por otra parte, se encuentra el artículo 221 de la Ley 1819 de 2016, mediante el cual se creó el impuesto nacional al carbono. Este impuesto se estima en el cobro de COP 15.000 por cada tonelada de CO² generada por el uso de combustibles fósiles. Si bien este tipo de estrategias regulatorias desincentivan el uso de fuentes de energía no renovables, como complemento a esta norma se podría emitir una resolución donde se proponga un valor dinámico del impuesto que crezca año tras año (Sosapanta, 2020).

Adicionalmente, dentro del marco regulatorio se debe tener en cuenta la contribución Determina a Nivel Nacional (NDC) 2020-2030, dado que precisa, además de otros aspectos, la meta del país de disminuir emisiones de dióxido de carbono. Esta reducción se estima que alcance el 51% en el año 2030.

Por otro lado, después de realizar el estudio de geolocalización, se identificó el departamento de Cundinamarca como el lugar con condiciones óptimas para la ubicación del parque eólico, específicamente en el municipio de Carmen de Carupa. En este municipio existen grupos étnicos, lo cual sugiere que deben realizarse consultas previas. Sin embargo, quien define si se debe realizar o no es el Ministerio del Interior. Para tal efecto, se debe solicitar ante esta entidad una certificación de presencia de grupos étnicos en la zona del proyecto (Cundinamarca, Carmen de Carupa), que puedan ser afectados por la ejecución de este. En este sentido, el protocolo de solicitud es el siguiente (ANM, 2021):

- Ser Persona Natural o Jurídica que desee ejecutar Proyectos, Obras o Actividades en el Territorio Terrestres y/o Marítimo de la Nación.
- Radicar el “FORMATO DE SOLICITUD DE CERTIFICACIÓN DE PRESENCIA O NO DE GRUPOS ÉTNICOS EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DE UN PROYECTO, OBRA O ACTIVIDAD” diligenciado en su totalidad.
- La solicitud radicada mediante el “FORMATO DE SOLICITUD DE CERTIFICACIÓN DE PRESENCIA O NO DE GRUPOS ÉTNICOS EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DE UN PROYECTO, OBRA O ACTIVIDAD” debe contener como mínimo:
 - ✓ Una descripción del Proyecto, Obra o Actividad.
 - ✓ La identificación del Área de Interés, especificando claramente el Departamento (s) y municipio (s); acompañada de un mapa que precise su localización y cuadro de coordenadas geográficas o planas que coincidan con la ubicación descrita en la solicitud, (X=ESTE y Y=NORTE) en el

sistema Magnas – Sirga (Definir Origen). (Anexar archivo digital dwg o shape del área del proyecto).

- ✓ CD con el Cuadro de Coordenadas en MS EXCEL.

En caso de requerirse una consulta previa, la responsabilidad de llevarla a cabo es compartida entre los representantes del proyecto y el Ministerio del Interior. “El Ministerio es responsable de la forma en que se desarrolla el proceso en cada caso particular y los representantes de cada uno de los proyectos son responsables de participar activamente durante el proceso de consulta previa y de proporcionar los recursos necesarios para cada proceso en particular” (ANM, 2021). Las etapas del proceso de consulta previa es el siguiente:

- 1) Pre-consulta
- 2) Reunión de pre-acuerdos
- 3) Reunión de protocolización
- 4) Seguimiento y acompañamiento
- 5) Cierre del proceso
- 6) Apertura del proceso de Consulta Previa
- 7) Talleres de Identificación de impactos y definición de medidas de prevención y mitigación

Uso de suelo y permisos legales en ubicación del parque eólico, de acuerdo con el estudio de Geolocalización:

De acuerdo con el análisis de geolocalización, se definió que el parque eólico estará ubicado en las coordenadas Centro (Lat, Long): 5.350103°, -73.952065°, específicamente en Carmen de Carupa (Cundinamarca). En este sector se encuentra el Páramo de Guargua y Laguna Verde y, dada su naturaleza, al ser una reserva natural, en principio tiene limitantes en el uso de sus suelos y lugares aledaños. Sin embargo, en el Acuerdo 45 del 18 de diciembre de 2018, emitido por la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), se definió la sustracción de una extensión de 132,52 hectáreas del Distrito de Manejo Integrado Páramo de Guargua y Laguna Verde destinadas al desarrollo del proyecto de transmisión de energía: “Subestación Norte 500kV y Líneas de Transmisión Norte – Tequendama 500 kV y Norte – Sogamoso 500 kV, Primer refuerzo de red del área oriental” (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, 2018). En este sentido, la construcción del parque eólico en las coordenadas seleccionadas sí es viable.

Para que el parque eólico pueda construirse y operar en Carmen de Carupa, se deberá cumplir con las medidas de compensación descritas en el Acuerdo 45 del 18 de diciembre de 2018, emitido por la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), el cual define que se debe realizar un plan de compensación que garantice:

- Cercado del área construida con barrera de árboles nativos
- Compra de predios en áreas priorizadas por la CAR
- Plan de reforestación (pasados tres años de mantenimiento)

De esta manera, se mitigan los riesgos de impacto ambiental negativo que pueda tener el proyecto en la zona afectada.

Impacto ambiental del proyecto

Para estructurar un proyecto de energía eólica en Colombia, se debe tener en cuenta la Ley 1715 de 2014, mediante la cual se conocerán todos los requisitos ambientales bajo la regulación del Decreto 2041 de 2014 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Bajo esta normativa se podrán analizar todos los impactos ambientales del proyecto a estructurar para, posteriormente, obtener la evaluación general de los mismos. Así mismo, es importante que el proyecto implemente las regulaciones contempladas en las Resoluciones 1670 de 2017 y 1312 de 2016 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Otra de las generalidades para tener en cuenta para implementar un proyecto de energía eólica en Colombia es:

“la "transferencia eléctrica", establecida por la Ley 1955 de 2019 y regulada por el Decreto 1302 de 2022 [de la Presidencia de la República], obliga a los proyectos solares y eólicos de más de 10 MW a transferir el 1% de las ventas brutas de energía al "área de influencia del proyecto", tal y como se define en el EIA, con un 60% destinado a las comunidades indígenas o afrocolombianas, si están presentes, y el resto a las entidades municipales. Esta tasa aumentará al 2% cuando la capacidad instalada de renovables (distintas de las grandes hidroeléctricas) supere el 20% del total, lo que según las proyecciones de la UPME citadas anteriormente puede ocurrir en esta década” (Vega Araújo & Muñoz Cabré, 2023).

La energía eólica, trae con su implementación ventajas significativas, tales como: la no generación de residuos radioactivos ni requiere exceso de agua para su funcionamiento y transportación. Sin embargo, es necesario tener en cuenta algunos protocolos e impactos ambientales que permiten la implementación del proyecto minimizando daños ambientales y a los ecosistemas. En este sentido, se deben tener como pilares, los

Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) que fueron aprobados en el año 2015 por 193 Estados participantes de la Organización de las Naciones Unidas (ONU). En la Figura 16, se representan estos objetivos, que enmarcarán el estudio ambiental de este proyecto:

Figura 16. Objetivos de Desarrollo Sostenible



Fuente: (Sosapanta, 2020), adaptación de ONU (2020)

Los ODS son pilares para la aprobación y otorgamiento de licencias por parte de la autoridad ambiental competente, que en el caso de Colombia es la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA). Esta entidad debe velar por el cumplimiento de lo contemplado en el Decreto 1076 de 2015, artículo 2.2.2.3.1.3, que dice:

“La licencia ambiental, es la autorización que otorga la autoridad ambiental competente para la ejecución de un proyecto, obra o actividad, que de acuerdo con la ley y los reglamentos, pueda producir deterioro grave a los recursos naturales renovables o al medio ambiente o introducir modificaciones considerables o notorias al paisaje; la cual sujeta al beneficiario de esta, al cumplimiento de los requisitos, términos, condiciones y obligaciones que la misma establezca en relación con la prevención, mitigación, corrección, compensación y manejo de los efectos ambientales del proyecto, obra o actividad autorizada” (Función Pública, 2015).

Para garantizar el cumplimiento de los requerimientos ambientales en proyectos de energía eólica, la parte interesada en implementar el proyecto debe presentar el plan de obras y actividades a desarrollar, adjuntando la descripción, el objetivo y el alcance correspondiente, además de especificar la geolocalización mediante coordenadas específicas y planos. Esto ante la ANLA.

Al recibir la documentación y requerimientos para la aprobación del proyecto, la ANLA realizará el estudio de los impactos correspondientes y, de ser necesario, podrá solicitar un “Diagnóstico Ambiental de Alternativas” (DAA). En este documento el proponente

deberá describir alternativas para el desarrollo de su proyecto con el diagnóstico del impacto ambiental. Para esta actividad, se debe tener en cuenta lo contemplado en el Decreto 1076 de 2015 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, desde el artículo 2.2.2.3.4.3 al 2.2.2.3.6.6, ya que son indispensables para la estructuración correcta del documento que deberá incluir, además las acciones de mitigación o manejo ambiental de las posibles afectaciones en las que pueda incurrir el proyecto.

Evaluación del impacto ambiental - Método Conesa Simplificado:

Dentro del proceso de aprobación del proyecto ante la ANLA se requiere presentar un análisis de impacto ambiental. Razón por la cual, en la presente investigación se empleará la identificación del listado de Actividades Susceptibles de Producir Impacto Ambiental (ASPI). Esta caracterización se desarrolla en cinco fases principales (Pasqualino, Cabrera, & Vanegas Chamorro, 2015):

1. Revisión bibliográfica: se analizan estudios previos para identificar los impactos ambientales reportados (sobre factores bióticos, abióticos y socioeconómicos) y las medidas de manejo asociadas en proyectos similares.
2. Línea base: se elabora un diagnóstico de la región (en nuestro caso Cundinamarca), identificando factores ambientales y culturales clave que podrían ser afectados por el proyecto.
3. Listado de actividades susceptibles de producir impacto (ASPI): se clasifican las actividades por etapa del proyecto (construcción, operación y desmantelamiento) según su potencial impacto ambiental.
4. Identificación de impactos: se utiliza una matriz causa-efecto para relacionar las actividades del proyecto con los factores ambientales relevantes.
5. Evaluación de impactos: aplicando el método de Conesa Simplificado, se evalúan los impactos según criterios específicos, clasificándolos por su importancia como irrelevantes, moderados, severos o críticos.

Criterios de evaluación – Método Conesa Simplificado:

Se consideran 10 criterios específicos descritos en la siguiente tabla, para evaluar cada impacto ambiental identificado:

Tabla 22. Criterios de evaluación - Método Conesa Simplificado

Criterio	Valor inferior	Valor superior	Descripción
Intensidad (IN)	1: afectación mínima	12: destrucción total	Grado de destrucción del área afectada.
Extensión (EX)	1: puntual	8: generalizada o total (+4 si el área es crítica)	Área de influencia del impacto con respecto al entorno.
Momento (MO)	1: largo plazo (>5 años)	4: inmediato o corto plazo	Relaciona el tiempo entre la actividad que produce el impacto y el efecto sobre el factor.
Persistencia (PE)	1: fugaz	4: permanente	Tiempo que permanecerá el efecto desde su aparición.
Reversibilidad (RV)	1: corto plazo	4: irreversible	Posibilidad de recuperación natural del factor afectado.
Recuperabilidad (MC)	1: inmediato	8: irrecuperable	Posibilidad de recuperación del factor afectado por medio de la intervención humana.
Sinergia (SI)	1: simple	4: muy sinérgico	Refleja el reforzamiento de dos o más efectos simples.
Acumulación (AC)	1: simple	4: acumulativo	Incremento progresivo de la manifestación del efecto.
Efecto (EF)	1: indirecto	4: directo	Relación causa-efecto.
Periodicidad (PR)	1: irregular o discontinuo	4: constante o continuo	Regularidad de la manifestación del efecto.

Fuente: obtenido de "Los impactos ambientales de la implementación de las energías eólica y solar en el Caribe Colombiano" (Pasqualino, Cabrera, & Vanegas Chamorro, 2015)

- Signo del impacto:
 - a. Se asigna un signo (+) si el impacto genera un beneficio.
 - b. Se asigna un signo (-) si el impacto produce un perjuicio.
- Importancia del impacto:
 - a. El impacto se valora en una escala del 13 al 100, calculada mediante una fórmula especificada (Ecuación 1).
 - b. Según su valor, los impactos se clasifican en:
 - i. Irrelevantes o compatibles: importancia < 25.
 - ii. Moderados: importancia entre 25 y 50.

- iii. Severos: importancia entre 50 y 75.
- iv. Críticos: importancia > 75.

Este método permite cuantificar y priorizar los impactos ambientales, facilitando una toma de decisiones fundamentada y orientada a la mitigación o aprovechamiento de dichos impactos a través de la aplicación de la Ecuación 1:

$$\text{Ecuación 1: } I = (3 \times IN + 2 \times EX + MO + PE + RV + MC + SI + AC + EF + PR)$$

Desarrollo y resultados del Método Conesa Simplificado:

a. Factores abióticos: en el análisis de los factores abióticos del sector de Cundinamarca, se investigaron las características de textura y pH de los suelos en diferentes puntos de muestreo, destacando las siguientes observaciones clave (2021):

- i. Factores abióticos: en el análisis de los factores abióticos del sector de Cundinamarca, se investigaron las características de textura y pH de los suelos en diferentes puntos de muestreo, destacando las siguientes observaciones clave (Lizarazo Hernandez, Álvarez Mahecha, & Pachón Suárez, 2021): Textura del suelo: francoarenoso con un mayor porcentaje de arenas y limos en comparación con las arcillas. Esto indica una textura más ligera y suelos con mejor drenaje.
 - ✓ QN01: se caracteriza por un suelo de tipo más arcilloso, que generalmente tiene una textura más pesada y retiene mejor el agua.
 - ✓ pH del suelo-GSP01 y CPN01: presentan una tendencia ácida, con valores de pH de 5,1 (fuertemente ácido) y 5,9 (medianamente ácido), lo que puede influir en la disponibilidad de nutrientes para las plantas.
 - ✓ QN01 y CDINDAL01: poseen un pH más neutro (7,2 y 7,5, respectivamente), siendo CDINDAL01 ligeramente alcalino. Estos valores suelen ser más favorables para un mayor rango de cultivos, debido a la disponibilidad óptima de nutrientes en suelos neutros.

Teniendo en cuenta los resultados del estudio tomado de “Factores bióticos y abióticos que inciden en la calidad de suelo para el desarrollo de *Guadua angustifolia* Kunth en cuatro zonas de las provincias de Gualivá y Bajo Magdalena del departamento de Cundinamarca (Colombia)” (2021), se evidencia que Cundinamarca cuenta con condiciones óptimas en sus terrenos para cultivar, lo que genera un costo de oportunidad al usar los suelos para la instalación de un parque eólico.

b. Factores bióticos: para analizar los factores bióticos que pueden afectarse en el departamento de Cundinamarca, se tuvo en cuenta lo siguiente (2021):

- i. Situación en Cundinamarca, Colombia:
 - ✓ Factores como la agricultura, la ganadería, la minería y la urbanización han transformado ecosistemas de páramo, bosque altoandino y bosque seco.
 - ✓ Especies emblemáticas como el oso andino, el jaguar y el tapir de montaña están severamente afectadas debido a la reducción de sus hábitats.
- ii. Especies generalistas vs. especialistas:

- ✓ Generalistas: adaptables a ambientes antrópicos, como la zarigüeya, el zorro y la ardilla. Aunque sobreviven en hábitats degradados, pueden causar conflictos y desequilibrios ecológicos.
 - ✓ Especialistas: más vulnerables a la transformación de sus hábitats debido a sus requerimientos específicos.
- iii. Factores agravantes:
- ✓ Contaminación, construcción de infraestructura, potrerización y tala selectiva contribuyen a la degradación del hábitat.
 - ✓ La ausencia de depredadores naturales afecta la regulación de especies generalistas, aumentando conflictos ecológicos y económicos.
- iv. Umbral de extinción:
- Existe un límite crítico de hábitat remanente necesario para la supervivencia de las especies. Superar este límite incrementa drásticamente el riesgo de extinción.
- c. Factores socioeconómicos: de acuerdo con el informe de la gobernación de Cundinamarca (2023), el desarrollo económico de la región está focalizado en proyectos priorizados, contemplados por la Agencia Nacional de Competitividad como fuente de integración económica.

Con el contexto de cada uno de los factores que afectan el impacto ambiental del proyecto propuesto y después de la aceptación del proyecto en su evaluación de prefactibilidad, se realiza la construcción del plan de manejo ambiental que garantice la operación sostenible del proyecto, bajo la siguiente matriz, y que será alimentada con datos recolectados en el terreno con técnicas de muestreo cuantitativo y cualitativo:

Figura 17. Matriz de evaluación de afectación método Conesa

		CONSTRUCCIÓN										OPERACIÓN			DESMANTELAMIENTO								
		Transporte de maquinaria, equipos y materiales	Construcción vía de acceso e interna: (montaje e instalación de infraestructura eléctrica de contingencia)	Cercado del terreno	Limpieza y adecuación del terreno	Almacenamiento de materiales	Construcción de instalaciones provisionales, edificio de control, oficinas, central de transformación	Fabricación del módulo	Fabricación de parque	Montaje de cimientos y turbina.	Pruebas y puesta en marcha	Entrenamiento del personal operativo	Manejo y Disposición de residuos	Generación de energía	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento correctivo	Manejo y disposición de residuos	Desmontaje de turbinas	Desmontaje de cimientos y bases	Desmontaje de edificaciones de control	Gestión de residuos sólidos	Recuperación de suelos	
ABIÓTICOS	Agua																						
	Aire																						
	Presión sonora																						
	Suelo																						
BIÓTICOS	Residuos Sólidos																						
	Ecosistemas																						
	Vegetación																						
SOCIO ECONÓMICOS	Fauna																						
	Situación económica local																						
	Educación, ciencia y tecnología																						
	Aspectos sociales																						
	Aspectos culturales																						

Fuente: obtenido de "Los impactos ambientales de la implementación de las energías eólica y solar en el Caribe Colombiano" (Pasqualino, Cabrera, & Vanegas Chamorro, 2015)

El impacto ambiental definido con esta matriz deberá servir de insumo para crear el plan de mitigación de impactos, lo cual permitirá el cumplimiento de la normatividad ambiental y garantizar que el proyecto sea sostenible ambientalmente.

Financiación del proyecto

Incentivos para el proyecto:

En términos de economía sostenible y respetuosa con el medio ambiente, Colombia tiene en efecto la Ley 1715 de 2014 y modificada por la Ley 2099 de 2021 que busca mantener el compromiso de la generación de energías limpias, pero, sobre todo, promoverla. Esta ley promueve la incorporación de energías renovables en el país, brindando beneficios y regulaciones específicas para aquellos que deseen desarrollar proyectos de energía sostenible.

Esta Ley define el marco normativo para incentivar el uso de energías renovables en Colombia. Su objetivo principal es promover la eficiencia energética y disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero, ofreciendo incentivos fiscales y financieros para los proyectos que incorporen tecnologías limpias y sostenibles. Los principales incentivos fiscales y financieros que ofrece esta ley son los siguientes (Función Pública, 2014):

- **Deducción en el impuesto de renta:** permite deducir el 50% de la inversión realizada en proyectos de FNCE y gestión eficiente de la energía durante un periodo de hasta 15 años, sin que la deducción supere el 50% de la renta líquida. Es necesario que la inversión esté certificada por la UPME.
- **Exención del IVA:** aplica a la importación y adquisición de equipos, maquinaria y servicios destinados a la producción de energía renovable y la medición inteligente. Estos deben estar incluidos en el Programa de Uso Racional y Eficiente de Energía (PROURE) y contar con la certificación de la UPME.
- **Exención de gravamen arancelario:** las importaciones de equipos, materiales e insumos destinados a proyectos de FNCE y eficiencia energética están exentas de aranceles, siempre que no sean fabricados localmente y estén certificados por la UPME. La solicitud debe presentarse a la DIAN, al menos 15 días antes de la importación.
- **Depreciación acelerada de activos:** permite depreciar rápidamente los activos utilizados en proyectos de FNCE y gestión eficiente de energía, con una tasa

máxima anual del 33,33%. La tasa puede ajustarse anualmente, siempre con aprobación previa de la DIAN.

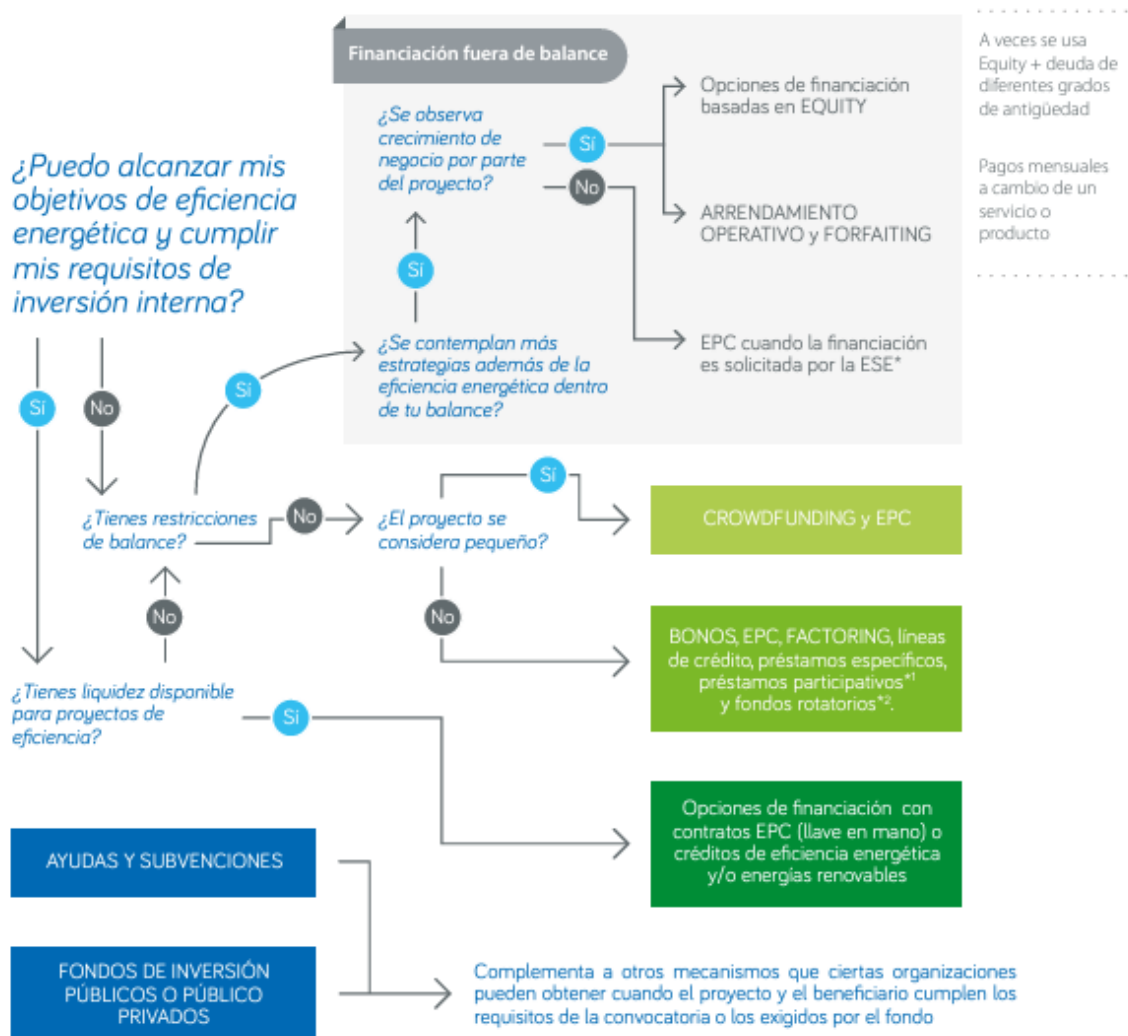
Métodos de financiación:

Existen muchos métodos para la financiación de proyectos de energías renovables como la energía eólica. La alta inversión que se necesita para materializar un proyecto complejo como este, puede significar un reto a nivel de inversión inicial, a pesar de que este traiga muchos beneficios, sin hablar del impacto positivo a nivel ambiental. Existe información sobre las formas de financiación para proyectos de este tipo que permiten valorar cuál es la forma más conveniente para financiar nuestro proyecto.

La “Guía para la financiación de proyectos de energía sostenible” (Contreras, y otros, 2018), presenta un mapa conceptual que sirve de guía en la toma de decisiones sobre las posibilidades de financiamiento de un proyecto. La guía tiene en cuenta cinco parámetros principales:

- La liquidez disponible del promotor o beneficiario final.
- Tamaño (en términos económicos y de balance) del promotor o cliente final.
- Capacidad de apalancamiento del beneficiario.
- Tamaño del proyecto.
- Crecimiento de negocio por parte del proyecto.

Figura 18. Proceso de selección de opciones financieras



(*) "EPC" se menciona en general.

*EPC cuando la financiación es solicitada por el cliente final y el riesgo financiero recae sobre el beneficiario – Modelo de ahorros compartidos.

EPC cuando la financiación es solicitada por la ESE y el riesgo financiero recae sobre la ESE – Modelo de ahorros garantizados.

(*) Fondos que ofrecen préstamos a proyectos de energía, y se reponen continuamente cuando los beneficiarios de los préstamos devuelven la cuantía. Normalmente se impulsan desde las administraciones públicas.

(**) Los beneficiarios de estos fondos son gobiernos locales, entidades públicas o privadas que actúan como proveedores de servicios públicos, asociaciones de viviendas sociales, empresas de servicios energéticos, etc.

Fuente: obtenido de "Guía para la financiación de proyectos de energía sostenible" (Contreras, y otros, 2018)

A continuación, se presentan las diferentes alternativas financieras e instrumentos financieros disponibles, según la "Guía para la financiación de proyectos de energía sostenible" (Contreras, y otros, 2018).

1. *Alternativas financieras disponibles:*

1.1. Financiación bancaria o a través de intermediarios financieros:

- a. Línea de crédito: permite a una empresa acceder a fondos hasta un límite establecido pagando intereses solo por el monto utilizado. Es ideal para cubrir desfases temporales de liquidez o financiar proyectos específicos, como renovaciones en eficiencia energética.
- b. Préstamos específicos: se enfocan en proyectos sostenibles, como viviendas eficientes o energías renovables. Ofrecen intereses bajos y plazos de pago alineados con los ahorros energéticos previstos que deben verificarse durante el contrato. También pueden financiar bienes concretos, como paneles solares o calderas de biomasa, incluso, mediante préstamos adicionales.
- c. Renting y leasing: son formas de alquiler a largo plazo con diferencias específicas según el contrato. En el ámbito energético, se utilizan para financiar instalaciones de generación o mejoras con la iluminación LED.
- d. Forfaiting y factoring: consiste en vender pagarés u obligaciones de pago a una institución financiera transfiriendo el riesgo de impacto y obteniendo liquidez. En el factoring, el riesgo sigue siendo del promotor y se basa en facturas emitidas, ambas opciones pueden impulsar el mercado de servicios energéticos al liberar a los promotores de deudas previas.

1.2. Participación en el capital: si el promotor es una empresa, es posible obtener financiación a largo plazo de un inversor mediante una ampliación de capital, es decir, la emisión de nuevas acciones o aumentando el valor nominal de las existentes. Los tipos de inversores pueden ser:

- a. Business Angels: son inversores privados que, además de capital, aportan experiencia, conocimientos técnicos y redes de contactos. Suelen apoyar proyectos innovadores en etapas iniciales.
- b. Fondos de capital de riesgo especializados: en energía, son empresas que financian en negocios con aportes mayores que el de los Business Angels. Invierten en fases más avanzadas, confiando en el plan de negocio, el equipo y una estrategia clara de salida para obtener ganancias.
- c. Fondos de inversión especializados: en eficiencia energética y renovables, tanto privados como públicos o mixtos, ofrecen soluciones adaptadas para financiar estos proyectos, facilitando vehículos de inversión a los promotores.

- 1.3. Préstamos participativos: combinan características de capital y préstamos a largo plazo. Incluyen intereses fijos y variables según el desempeño de la empresa con plazos de devolución más flexibles. Se consideran fondos propios mejorando la capacidad de endeudamiento y son deuda subordinada, priorizada sobre los accionistas, pero después de los acreedores comunes en caso de liquidación.
- 1.4. Bonos verdes garantizados: son instrumentos de deuda respaldados por activos o garantías que otorgan prioridad a los inversores en caso de reclamación. Permiten a las instituciones financiarse a menor costo.
- 1.5. Crowdfunding: es una forma de financiación en la que se recaudan fondos de numerosos inversores particulares sin intermediarios financieros como bancos. Generalmente, se lleva a cabo a través de plataformas en línea (Fintech), aunque también puede realizarse mediante la compra de participaciones o cooperativas. Hay varias alternativas de financiación a través de crowdfunding, siendo los más comunes:
 - a. Donación y recompensa: el promotor no devuelve el dinero ni ofrece participación en el capital social. El objetivo es social o medioambiental y el apoyo se realiza “para una causa”. A cambio, el promotor puede ofrecer una recompensa no monetaria, como un premio o regalos, especialmente en proyectos comunitarios con impacto directo en la comunidad.
 - b. Crowdequity: permite a una empresa en fase inicial financiarse mediante la entrada de varios pequeños inversores, quienes aportan cantidades pequeñas y, dependiendo de su inversión, se convierten en accionistas o participan en la sociedad.
 - c. Crowdlending: es una forma de financiación en empresas con capacidad de generar caja, donde muchos inversores prestan cantidades pequeñas. Estas plataformas gestionan el análisis, formalización y cobro de cuotas. Los inversores reciben un interés superior al de los depósitos bancarios, aunque con un riesgo mayor.
 - d. Invoice trading: es un tipo de factoring realizado a través de plataformas en línea, donde las empresas ceden los derechos de cobro de sus facturas a inversores después de un análisis de la veracidad de la factura y la capacidad de pago del cliente. Se utiliza para obtener liquidez a corto plazo.
 - e. Generación: es una forma de recompensa en la que se ofrece energía gratuita o tarifas con descuento a los donantes cuando el proyecto financiado es de

generación de energía renovable y el inversor es cliente de la comercializadora que vende la energía producida.

- 1.6. Inversión por medio de cooperativas energéticas: comercializan energía limpia e invierten en proyectos de energías renovables mediante un fondo financiado por los ahorros de los socios.
- 1.7. Project Finance: se refiere a la financiación de grandes proyectos de infraestructuras o energía cuya inversión inicial es especialmente costosa y su periodo de rentabilización muy largo (Furió, 2023).
- 1.8. Otras estrategias para la financiación: agrupación de inversiones; integración de conocimientos, procedimientos y áreas de actuación; instrumentos para crear confianza en el inversor; servicios de apoyo técnico y/o financiero; tax-exempt financing; On-Bill Financing; acuerdos de compraventa de energía.

2. Instrumentos financieros:

- 2.1. Special Purpose Vehicle (SPV): es un vehículo financiero creado para financiar proyectos sin comprometer la solvencia del promotor. Un fondo de inversión financia el SPV que se dedica exclusivamente al proyecto, evitando que el promotor o cliente utilicen fondos propios y la solvencia se comparten entre el promotor y el fondo.
- 2.2. Fondos rotatorios especializados: son fondos de eficiencia energética y energías renovables que otorgan préstamos para proyectos. Se reabastecen continuamente con los pagos de los beneficiarios y son generalmente impulsados por administraciones públicas para fomentar proyectos energéticos en un territorio.
- 2.3. Subvenciones para proyectos de energía sostenible: son ayudas económicas otorgadas por administraciones públicas para impulsar tecnologías emergentes o medidas alineadas con estrategias y planes de desarrollo.

Método escogido para financiar nuestro proyecto:

El proyecto se financiará mediante la herramienta de **Project Finance**. Esto ya que:

- Brinda adaptabilidad al proyecto, dado que se requiere de una inversión inicial elevada para la adquisición de maquinarias y equipos, construcción de infraestructura y conexión de red.
- Permite una separación de los riesgos financieros. La financiación a través de Project Finance utiliza un SPV que asume la deuda y administra los ingresos del proyecto. Esto protege los balances financieros y reduce los riesgos asociados a posibles inconvenientes operativos o de mercado.
- Financiación estructurada a largo plazo. Dado que los ingresos del parque eólico provendrán de la venta de electricidad que genera flujos de caja estables a lo largo de su operación, esto facilita la sostenibilidad financiera del proyecto.
- Atracción de inversores especializados, debido al carácter innovador de esta herramienta y contribución al cumplimiento de objetivos climáticos.
- Dado que el parque eólico contribuye al suministro de energía limpia y a la reducción de contaminantes en Colombia, el proyecto puede acceder a incentivos fiscales y financieros asociados a la sostenibilidad. Estas condiciones fortalecen aún más la viabilidad del Project Finance.

Otros proyectos en Colombia han sido financiados mediante créditos estructurados de Project Finance, respaldados por fondos de capital privado de impacto energético, como el parque solar Yumbo en el Valle del Cauca, el parque eólico Jepírachi en La Guajira y la planta de biomasa El Cóndor en Antioquia (Cámara de Comercio Comlombo Americana, 2023).

Participación deuda/equity (D/E):

Para analizar la participación más conveniente, se consultaron algunas fuentes y literaturas especializadas para analizar la manera en que otros proyectos se han financiado. En Colombia se ha utilizado la estructura de financiamiento estimada por Damodarán para el sector Green & Renewable Energy, dando como resultado una relación de D/E de 46% / 54% (Villegas & Espinal, 2020). Así, tomando el ejemplo anterior como referencia, para nuestro proyecto utilizaremos esa misma relación D/E.

Posibles entidades financiadoras:

Para la financiación de este proyecto, se podría recurrir a dos de los principales financiadores de proyectos de transición energética en América Latina, el Banco de Desarrollo de América Latina y el Banco Interamericano de Desarrollo (De León, 2021).

Banco de Desarrollo de América Latina y el Caribe (CAF):

El CAF proporciona financiamiento a proyectos de infraestructura y energía mediante su método de Project Finance, especialmente en sectores productivos y de energías renovables (Energía y Ambiente Andina, 2016). Específicamente, el CAF plantea en su Estrategia País CAF Colombia 2023-2026 diferentes iniciativas de financiamiento de proyectos, dentro de los que se encuentra la generación de energía eólica (SCIOTECA, 2023). Adicionalmente, en mayo de (2024), el CAF junto con la Casa Depositi e Prestiti (institución financiera italiana de cooperación al desarrollo) fortalecieron su cooperación financiera a través de una nueva línea de crédito por EUR 100 millones, el cual incrementa a EUR 300 millones el monto total para el financiamiento provisto por ambas instituciones dirigido a proyectos en sectores como energías renovables, eficiencia energética, transporte sostenible, y agua y saneamiento.



Banco Interamericano de Desarrollo (BID):

El BID tiene una cartera de fondos en América Latina destinados a financiar proyectos de energías renovables para contribuir a la descarbonización y disminuir el uso de energías a base de combustibles fósiles (BID, 2024). Por lo general, los requisitos pueden variar según la naturaleza del proyecto y el país de implementación. Sin embargo, se identifican algunos requisitos y condiciones, tanto para el sector público como para el privado: deben ser proyectos que busquen la eficiencia energética, la generación de energías renovables (como solar y eólica) y de tecnologías emergentes (como el hidrógeno verde y la movilidad eléctrica) (Arias, 2023); en cuanto a requisitos financieros, los proyectos deben demostrar viabilidad técnica y financiera; y se priorizan proyectos que contribuyan a las metas de reducción de emisiones de carbono y que promuevan la resiliencia climática de los países de la región (Gubinelli, 2022).



Evaluación financiera y económica del proyecto

Evaluación financiera:

A partir de toda la información mencionada anteriormente, se realiza la evaluación financiera del proyecto, la cual se encuentra de manera detallada en el **anexo separado en Excel: Evaluación Financiera, Económica y Social del Proyecto Parque Eólico**.

En primer lugar, se realizó la identificación de los costos tanto de inversión como de operación del proyecto, para lo cual se tuvo como guía el estudio realizado en el “Anteproyecto de un Parque Eólico en la isla de San Andrés, Colombia financiado parcialmente por la comunidad local” (Gruoso López, 2022). En este estudio se menciona que el costo de inversión promedio para el proyecto eólico en la Isla de San Andrés para el 2022 fue de 1.248 USD/KW. Para nuestro proyecto se toma como referencia ese valor, pero se le incrementó la inflación promedio del 2022 al 2024 que es del 10%, según el informe de Bancolombia (2024). Esto dio un costo final de 1.368 USD/KW valor que en pesos colombianos sería 6.093.147 COP/KW¹². Este último valor se multiplicó por la potencia nominal del aerogenerador (2.500 KW) y el número de aerogeneradores del proyecto (55), dando como resultado un costo total de inversión de más de COP 837 mil millones.

Tabla 23. Costos de inversión del proyecto

Costos de inversión del proyecto	
Costo (USD/KW)	\$ 1.248
Inflación promedio 2022 a 2024	10%
Costo final (USD/KW)	\$ 1.368
Costo final (COP/KW)	\$ 6.093.147
Potencia nominal del aerogenerador (KW)	2.500
Número de aerogeneradores	55
Costo total de inversión del proyecto (cifra en millones de pesos)	\$ 837.808

Fuente: elaboración propia

Este costo de inversión total del proyecto, según el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía de España (IDEA) en su documento “Evolución tecnológica y prospectiva de costes de las energías renovables” (IDAE, 2011), se puede desglosar bajo

¹² Todas las conversiones de dólares a pesos se hicieron usando la TRM del Banco de la República (2024).

cinco componentes, cada uno de ellos con unos pesos porcentuales definidos de la siguiente manera:

Tabla 24. Desglose de los costos de inversión

Detalle de los costos de inversión		
Concepto	Peso porcentual	Millones (COP)
Aerogenerador	67%	\$ 561.331
Equipos eléctricos	5%	\$ 41.890
Obra Civil	8%	\$ 67.025
Línea eléctrica y subestación	18%	\$ 150.805
Promoción y otros	2%	\$ 16.756
Total costo de inversión del proyecto	100%	\$ 837.808

Fuente: (Grueso López, 2022)

Ahora, para los costos de operación se toma como base el análisis realizado en el documento del “Anteproyecto de un Parque Eólico en la isla de San Andrés, Colombia financiado parcialmente por la comunidad local” (Grueso López, 2022). El documento menciona que el costo promedio unitario de operación del proyecto eólico en la isla de San Andrés para el 2022 fue de 0,0026 USD/KWh. Para nuestro proyecto nuevamente tomamos como referencia este valor, pero se le incrementa la inflación promedio del 2022 al 2024 del 10%. Como resultado, tenemos un costo final unitario de operación de 0,0028 USD/KWh, que al pasarlo a pesos colombianos da 127 COP/KWh. Esta cifra se multiplicó por la generación total del año del parque eólico (356 GW), dando como resultado un costo anual de operación para el año 1 de más de COP 45 mil millones:

Tabla 25. Costos de operación año 1

Identificación Costos de operación año 1	
Costo unitario de operación (USD/KWh)	\$ 0,026
Inflación promedio 2022 a 2024	10%
Costo final unitario de operación (USD/KWh)	\$ 0,028
Costo final unitario de operación (COP/KWh)	\$127
Generación total del parque eólico al año (kW)	356.400.000
Costo total de operación del proyecto año 1 (cifra en millones de pesos)	\$ 45.242

Fuente: elaboración propia

A continuación se desagregan los costos de operación de acuerdo con documento del “Anteproyecto de un Parque Eólico en la isla de San Andrés, Colombia financiado parcialmente por la comunidad local” (Grueso López, 2022) de la siguiente manera:

Tabla 26. Detalle de los costos de operación año 1

Detalle de los costos de operación		
Concepto	Peso porcentual	Millones (COP)
O&M Aerogeneradores	57%	\$ 25.788
O&M Instalación y mantenimiento	2%	\$ 905
Alquiler de tierras	19%	\$ 8.596
Seguros	2%	\$ 905
Tasas y otros	2%	\$ 905
Gastos administrativos	18%	\$ 8.143
Total costos de operación del proyecto año 1	100%	\$ 45.242

Fuente: (Grueso López, 2022)

Estos costos de operación se proyectan durante la vida útil del proyecto, la cual corresponde a 25 años teniendo en cuenta que es el promedio de vida útil de un aerogenerador (Sostenibilidad Ambiental, 2024), por supuesto cada año los costos van aumentando teniendo en cuenta las proyecciones de inflación (Grupo Bancolombia, 2024).

Ahora, para identificar los ingresos del proyecto, que se estiman sean a partir del 2027, ya que la proyección de la construcción del parque eólico será de dos años (2025 y 2026), se realiza un análisis del histórico del precio de escasez suministrado por la empresa XM (2024), el cual arroja lo siguiente:

Tabla 27. Análisis histórico precios de escasez

Año/mes	Promedio de Precio de escasez (COP/KWh)
2023	\$ 815
Enero	\$ 855
Febrero	\$ 822
Marzo	\$ 900
Abril	\$ 810
Mayo	\$ 832
Junio	\$ 782
Julio	\$ 728
Agosto	\$ 725
Septiembre	\$ 835
Octubre	\$ 864
Noviembre	\$ 847
Diciembre	\$ 779
2024	\$ 769
Enero	\$ 740

Año/mes	Promedio de Precio de escasez (COP/KWh)
Febrero	\$ 746
Marzo	\$ 728
Abril	\$ 743
Mayo	\$ 793
Junio	\$ 767
Julio	\$ 811
Agosto	\$ 818
Septiembre	\$ 785
Octubre	\$ 751
Noviembre	\$ 812
Promedio total	\$ 794

Fuente: elaboración propia

A partir de la información extraída de la empresa XM, se realiza un análisis mensual de los precios promedio de escasez con el objetivo de establecer un precio de venta para el año en el que entre en operación nuestro parque eólico. Del análisis anterior, **se decide seleccionar el precio mínimo** que se ha registrado en los últimos años, con el propósito de **tener un escenario conservador frente al precio inicial de venta de la energía eléctrica que generará el proyecto**, que en este caso sería de 725 COP/KWh para el año 2025.

Con lo anterior, ya se realiza la proyección de ingresos, dando como resultado más de COP 250 mil millones en el año 2027 (primer año de operación del parque eólico).

Tabla 28. Análisis ingresos operacionales año 1

Proyección de Inflación	4,8%	3,9%	3,8%
Cálculo del Ingreso Inicial del proyecto	2025	2026	2027
Precio de escasez promedio (COP/KWh)	\$ 725	\$ 753	\$ 782
Generación de energía (MW)			2,5
Generación de energía real al día (MW/h)			18,0
Número de aerogeneradores del proyecto			55
Generación total del parque eólico al día (MW/h)			990
Generación total del parque eólico al día (kWh)			990.000
Ingresos día (COP)			\$ 696.864.595
Ingresos mes (COP)			\$ 20.905.937.863
Ingresos año (COP)			\$ 250.871.254.359
Ingresos año (cifra en millones de pesos)			\$ 250.871

Fuente: elaboración propia

La proyección de ingresos para los años siguientes de operación de nuestro parque eólico se pueden ver en detalle en el **anexo separado en Excel: Evaluación Financiera, Económica y Social del Proyecto Parque Eólico**.

Ahora, por el monto de la inversión para la construcción del proyecto parque eólico (COP 837 mil millones), se consideró un apalancamiento de la siguiente manera teniendo en cuenta lo definido como relación deuda/equity en el documento “Factibilidad financiera de un proyecto de energía solar fotovoltaica financiado mediante un acuerdo de compra PPA” (Villegas & Espinal, 2020).

Tabla 29. Relación deuda/equity del proyecto

Inversión total (cifras en millones de pesos)	\$ 837.808	
Financiación	\$ 385.392	46%
Aporte de los socios	\$ 452.416	54%

Fuente: elaboración propia

Adicionalmente, a partir de la metodología del WACC, se estima la tasa del proyecto en 9,34% y la tasa del inversionista (Ke) en 12,15%.

Tabla 30. Impuesto a la renta del proyecto

Impuesto de renta	35%
--------------------------	-----

Fuente: (Gerencie, 2024)

Tabla 31. Financiamiento para proyecto

Tasa del crédito (DTF)	9,28%
Años del préstamo	23

Fuente: (Banco de la República, 2024)

Tabla 32. Análisis para identificación del Ke y WACC del proyecto

	Sector	Proyecto
Beta apalancado	1,11	0,73
Relación D/E	141,41%	85,19%
Tasa de impuesto	4,39%	35%
Beta desapalancado	0,47	

Fuente: elaborado a partir de datos de (Damodaran, 2024) & (Gerencie, 2024)

Rf (tasa libre de riesgo)	6,19%
Rm (rendimiento del portafolio)	10%
Rp (riesgo país)	3,17%

Fuente: elaborado a partir de datos de (Damodaran), (Expansión Datos Macro, 2024) & (Statista, 2024)

Ke	12,15%
-----------	--------

Fuente	Participación (cifras en millones de pesos)	Participación (%)	Costo Fuente	Factor Ponderación	WACC
Deuda L.P	\$385.392	46%	6%	2,8%	
Capital Inversionistas	\$452.416	54%	12,15%	6,6%	
Total	\$837.808	100%			9,34%

Fuente: elaboración propia

Con la información ya estructurada de los costos de inversión, costos de operación, ingresos, crédito, aporte de capital, Ke y WACC se procede con la evaluación financiera para identificar la viabilidad del proyecto a nivel financiero, dando como resultado lo siguiente:

Tabla 33. Flujo evaluación financiera del proyecto

Cifras en millones de pesos	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
(+) Ingresos			250.871	259.903	269.259	278.952	288.995	299.399
(-) Costos			45.242	46.870	48.558	50.306	52.117	53.993
(-) Depreciación			251.342	251.342	251.342			
EBIT	0	0	-45.713	-38.310	-30.641	228.647	236.878	245.406
Margen EBIT	0%	0%	-18%	-15%	-11%	82%	82%	82%
(+) Depreciación			251.342	251.342	251.342			
(-) Inversiones de capital	418.904	418.904						
Flujo de caja operativo	-418.904	-418.904	205.630	213.032	220.701	228.647	236.878	245.406
(-) Impuestos	0	0	0	0	0	80.026	82.907	85.892
Flujo de caja libre	-418.904	-418.904	205.630	213.032	220.701	148.620	153.971	159.514
(-) Impuestos	0	0	0	0	0	68.079	71.186	74.418
(-) Intereses	0	0	35.764	35.269	34.727	34.136	33.489	32.783
(-) Amortización capital crédito	0	0	5.339	5.834	6.376	6.967	7.614	8.320
(+) Nuevos créditos	192.696	192.696						
(+) Aportes a capital	226.208	226.208						
Equity cash flow	0	0	164.527	171.929	179.598	39.438	41.682	43.993
Equity cash ajustado	-226.208	-226.208	164.527	171.929	179.598	39.438	41.682	43.993

PRÉSTAMO (cifras en millones de pesos)	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Saldo			385.392	380.053	374.219	367.843	360.876	353.262
Capital			5.339	5.834	6.376	6.967	7.614	8.320
Interés			35.764	35.269	34.727	34.136	33.489	32.783
Cuota fija			41.103	41.103	41.103	41.103	41.103	41.103

VPN del proyecto	\$ 1.040.098
VPN de los inversionistas	\$ 252.200

cifras en millones de pesos

Fuente: elaboración propia

Teniendo en cuenta los anteriores resultados, bajo un escenario del proyecto de 25 años, se puede apreciar que la rentabilidad es positiva tanto para el proyecto como para el o los inversionistas que decidan hacer parte del proyecto.

Todo el detalle de la evaluación financiera del proyecto se puede ver en el **anexo separado en Excel: Evaluación Financiera, Económica y Social del Proyecto Parque Eólico.**

Evaluación económica y social del proyecto:

Para realizar la evaluación económica del proyecto, es importante aplicar los indicadores “Razón Precio-Cuenta” (RPC) (Hernández Díaz, Matamoros Cárdenas, & Sánchez Segura, 2019) tanto a los ingresos como a los costos de inversiones y de operación, dando como resultado lo siguiente:

Tabla 34. RPC aplicado a los ingresos

DESCRIPCIÓN	CUENTAS NACIONALES	DESCRIPCIÓN CUENTA	RPC
Ingresos por venta de Servicios (P*Q)	380001	Energía eléctrica generada	1,000

Fuente: elaboración propia

Tabla 35. RPC aplicado a los costos de inversión

Concepto	Peso porcentual	Millones (COP)	RPC	Millones (COP) con RPC
Aerogenerador	67%	561.331	0,988	\$ 554.595
Equipos eléctricos	5%	\$ 41.890	0,983	\$ 41.178
Obra Civil	8%	\$ 67.025	0,905	\$ 60.657
Línea eléctrica y subestación	18%	\$ 150.805	0,988	\$ 148.996
Promoción y otros	2%	\$ 16.756	0,991	\$ 16.605
Total costos de inversión	100%	\$ 837.808		\$ 822.032

Fuente: elaboración propia

Tabla 36. RPC aplicado a los costos de operación

Concepto	Peso porcentual	Millones (COP)	RPC	Millones (COP) con RPC
O&M Aerogeneradores	57%	\$ 25.788	0,905	\$ 23.338
O&M Instalación y mantenimiento	2%	\$ 905	0,905	\$ 819
Alquiler de tierras	19%	\$ 8.596	0,892	\$ 7.668
Seguros	2%	\$ 905	1,022	\$ 925
Tasas y otros	2%	\$ 905	0,867	\$ 784
Gastos administrativos	18%	\$ 8.143	0,894	\$ 7.280
Total costos de operación	100%	\$ 45.242		\$ 40.814

Fuente: elaboración propia

Teniendo en cuenta lo anterior y utilizando una tasa social de descuento del 9% (Departamento Nacional de Planeación, 2022), que es la utilizada para la evaluación de proyectos de inversión, el resultado de nuestro proyecto parque eólico es el siguiente:

Tabla 37. Flujo económico del proyecto con los RPC incluidos en los ingresos y costos del proyecto

Cifras en millones de pesos	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
(+) Ingresos			250.871	259.903	269.259	278.952	288.995	299.399
(-) Costos			40.814	42.283	43.805	45.382	47.016	48.709
(-) Depreciación			248.256	248.256	248.256			
EBIT	0	0	-38.199	-30.637	-22.803	233.570	241.979	250.690
Margen EBIT	0%	0%	-15%	-12%	-8%	84%	84%	84%
(+) Depreciación			248.256	248.256	248.256			
(-) Inversiones de capital	411.016	411.016						
Flujo de caja operativo	-411.016	-411.016	210.057	217.620	225.454	233.570	241.979	250.690
(-) Impuestos	0	0	0	0	0	81.750	84.693	87.741
Flujo de caja libre	-411.016	-411.016	210.057	217.620	225.454	151.821	157.286	162.948

VPN Social del proyecto

\$ 1.152.039

cifra en millones de pesos

Fuente: elaboración propia

Por último, para finalizar la evaluación económica, se cuantifican y se incluyen algunas externalidades que pueden llegar a impactar el proyecto.

Externalidad positiva: reducción de enfermedades respiratorias en las zonas aledañas al proyecto:

El proyecto estará ubicado en Carmen de Carupa y, dada la naturaleza del lugar donde se instalará el parque eólico, se requiere cumplir con un plan de compensación dentro del cual se requiere crear un cercado de árboles nativos al rededor del parque construido. Esto genera un efecto positivo para los habitantes del sector y municipios aledaños, dado que los árboles y plan de manejo ambiental garantizarán un aire más limpio y sin contaminación a causa del funcionamiento del proyecto. Así, se aporta significativamente a la reducción de enfermedades respiratorias.

Externalidad negativa: costo de compensación ambiental por uso de suelo:

Como se mencionó anteriormente, el punto exacto del parque eólico da dentro de una reserva, que además tiene restricción legal y técnica para usarse para actividades agropecuarias y de minería, según el Sistema de Información para la Planificación Rural Agropecuaria. Dado que para la construcción del parque eólico en esta zona se genera un impacto ambiental, según el Decreto 1076 de 2015 se debe crear un plan de compensación ambiental, como mínimo, por otra área igual de cobertura y extensión (Función Pública, 2024). Así, el proyecto debe incorporar un programa de reforestación durante 10 años dentro de su evaluación económica, lo que fue ingresado como costos a nuestro flujo.

El detalle del análisis y cuantificación de las dos externalidades se puede ver en el **anexo separado en Excel: Evaluación Financiera, Económica y Social del Proyecto Parque Eólico**.

Al incluir las dos externalidades en el flujo económico, da como resultado final del proyecto:

Tabla 38. Flujo económico del proyecto con la inclusión de la externalidad positiva y negativa

Cifras en millones de pesos	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
(+) Ingresos			250.871	259.903	269.259	278.952	288.995	299.399
(+) Reducción de enfermedades respiratorias			306	360	394	429	365	613
(-) Costos			40.814	42.283	43.805	45.382	47.016	48.709
(-) Compensación ambiental por el uso del suelo						6.938	7.188	7.447
(-) Depreciación			248.256	248.256	248.256			
EBIT	0	0	-37.893	-30.277	-22.409	227.061	235.155	243.856
Margen EBIT	0%	0%	-15%	-12%	-8%	81%	81%	81%
(+) Depreciación			248.256	248.256	248.256			
(-) Inversiones de capital	411.016	411.016						
Flujo de caja operativo	-411.016	-411.016	210.363	217.979	225.848	227.061	235.155	243.856
(-) Impuestos	0	0	0	0	0	79.471	82.304	85.350
Flujo de caja libre	-411.016	-411.016	210.363	217.979	225.848	147.589	152.851	158.506

VPN Social del proyecto

\$ 1.130.254

cifra en millones de pesos

Fuente: elaboración propia

Lo anterior da cuenta que el proyecto Parque Eólico genera un margen positivo tanto a nivel privado como a nivel económico, lo que confirma que es un proyecto que puede traer grandes beneficios para el país al momento de ejecutarlo y operarlo, y que como objetivo principal de suministrar el 1% de la energía eléctrica del país en los próximos años, lo puede lograr sin problema.

CONCLUSIONES

Lo primero que hay que resaltar, es que lograr un proyecto que produjera el 10% de la energía del país era inviable ante la magnitud que significa dicho proyecto. Por lo que tuvimos que reformular el proyecto y bajar de 10% a 1% la producción. Con ese objetivo el proyecto se tornó viable y rentable.

Este proyecto, por su naturaleza, genera grandes beneficios no solo para la matriz energética del país, sino que también tiene un impacto positivo para la salud y el medio ambiente al contribuir a la reducción de enfermedades respiratorias (en las zonas aledañas al proyecto) y de emisiones de CO². Además, en términos financieros, si bien se necesita de una gran inversión al principio, el proyecto es rentable al generar ingresos por la venta de energía, lo que permite su operación y mantenimiento. Teniendo todo esto en cuenta, se puede decir que este proyecto de parque eólico es viable económica y financieramente.

Una de las banderas del actual Gobierno Nacional de Colombia es impulsar la transición energética hacia energías limpias en el país, lo que incrementa su aceptación política y apoyo por parte del Ejecutivo para su realización. Adicionalmente, al examinar el flujo de caja del proyecto podemos ver que este es rentable antes y después de que se le agregue la compensación por el programa de reforestación; incluso, pese a que el VPN social bajo un poco, dado que la externalidad negativa genera un mayor impacto en el proyecto que la externalidad positiva.

Aunque la externalidad negativa genera un costo en la operación del proyecto desde el año 3, y por 10 años, esta compensación tiene grandes efectos positivos. Esto dado que el programa de reforestación contribuye al cuidado del medio ambiente y lucha contra el cambio climático, lo que termina generando un beneficio social en las áreas donde se realice el programa y contribuye a los objetivos ambientales de Colombia.

Por otro lado, como conscientes que la ubicación geográfica puede ser un punto de debate, dentro de la metodología de geolocalización seleccionamos una segunda y tercera opción, a nivel departamental, para poder realizar el proyecto y que pueda seguir cumpliendo con la meta del 1%. Es importante destacar que cambiar la ubicación no constituye el fin, sino más bien el comienzo de una evaluación continua que puede contribuir a mitigar los impactos negativos y potenciar los positivos, mediante la reestructuración adecuada desde factores incluidos en el diseño hasta las externalidades. Esto implica incluir compensaciones sociales necesarias derivadas de las actividades principales relacionadas con el proyecto y analizar las externalidades

positivas y negativas que puedan afectar a la sociedad. Este enfoque integral garantizará un análisis holístico, considerando todos los aspectos relevantes para llegar a conclusiones significativas.

El objetivo último es proporcionar el máximo beneficio posible a la sociedad, lo que a su vez puede facilitar la obtención de inversión a nivel nacional e internacional. Al respaldar un proyecto que se haya planteado con conciencia y rigurosidad, se asegura una implementación que busca ofrecer lo mejor en términos de beneficios sociales y económicos tanto al privado como a la sociedad.

BIBLIOGRAFÍA

- Acciona. (s.f.). *Aerogeneradores*. Obtenido de <https://www.acciona.com/es/energias-renovables/energia-eolica/aerogeneradores/>
- Almario, M. A. (24 de Mayo de 2023). *Enel anunció que suspenderá en La Guajira construcción del proyecto eólico Windpeshi*. Obtenido de La República: <https://www.larepublica.co/empresas/enel-anuncio-que-suspendera-en-la-guajira-construccion-del-proyecto-eolico-windpeshi-3621986>
- ALTITION Ronergy Wind Services. (23 de Junio de 2021). *Los 10 parques eólicos más grandes del mundo*. Obtenido de ALTITION Ronergy Wind Services: <https://ronergy.com/los-10-parques-eolicos-mas-grandes-del-mundo/>
- Arenales, J. V. (8 de Julio de 2023). *Hay retrasos en 82% de los proyectos de energías renovables ubicados en La Guajira*. Obtenido de La República: <https://www.larepublica.co/economia/hay-retrasos-en-82-de-proyectos-de-renovables-ubicados-en-la-guajira-3653755>
- Arias, A. (28 de Marzo de 2023). *Alista BID financiamiento a proyectos sustentables en América Latina*. Obtenido de Energy 21: <https://energy21.com.mx/politica-y-normatividad-2023-03-28-alista-bid-financiamiento-proyectos-sustentables-en-america/>
- Azada Verde. (2024). *¿Cuánto tiempo se necesita para que un bosque reforestado sea plenamente funcional?* Obtenido de Azada Verde: <https://azadaverde.org/tiempo-bosque-reforestado-funcional>
- Banco de la República. (2024). *Tasa de Depósitos a Término Fijo (DTF)*. Obtenido de Banco de la República: <https://suameca.banrep.gov.co/estadisticas-economicas/#/informacionSerie/220003/Tasas%20de%20inter%C3%A9s/DTF>
- Banco de la República. (2024). *Tasa Representativa del Mercado (TRM)*. Obtenido de Banco de la República: <https://suameca.banrep.gov.co/estadisticas-economicas/#/informacionSerie/1/Tasa%20de%20cambio%20del%20peso%20colombiano/Tasa%20de%20cambio%20Representativa%20del%20Mercado%20%28TCRM%29>
- BID. (10 de Junio de 2015). *El BID Expande su Facilidad de Clima y Energía Limpia para Financiar Eficiencia Energética, Autoabastecimiento de Energía Renovable y Adaptación*. Obtenido de BID: <https://www.iadb.org/es/noticias/el-bid-expande-su-facilidad-de-clima-y-energia-limpia-para-financiar-eficiencia-energetica>
- BID. (2024). *Proyectos*. Obtenido de BID: https://www.iadb.org/es/project-search?query=&f_project_number=&f_operation_number=&f_sector=ENERGIA&f_country_name=&f_project_status=&f_from=&f_to=&f_approval_date=
- Bigordà, T. (12 de Octubre de 2024). *Los 10 parques eólicos más grandes del mundo: una guía completa*. Obtenido de Renovables Verdes: <https://www.renovablesverdes.com/los-mayores-parques-eolicos-del-mundo/>
- Bnamericas. (15 de Julio de 2022). *Los 10 principales proyectos eólicos de Latinoamérica*. Obtenido de Bnamericas: <https://www.bnamericas.com/es/noticias/los-10-principales-proyectos-eolicos-de-latinoamerica>
- CAF Banco de Desarrollo de América Latina y el Caribe. (7 de Mayo de 2024). *CAF y CDP anuncian más recursos para financiar iniciativas sostenibles en energía, transporte y agua y saneamiento*. Obtenido de CAF Banco de Desarrollo de América Latina y el Caribe:

<https://www.caf.com/es/actualidad/noticias/2024/05/caf-y-cdp-anuncian-mas-recursos-para-financiar-iniciativas-sostenibles-en-energia-transporte-y-agua-y-saneamiento/>

Cámara de Comercio Comlombo Americana. (2023). *Transición energética y créditos estructurados de project finance: impulsando proyectos sostenibles*. Obtenido de AMCHAM Colombia: <https://amchamcolombia.co/business-mail/edicion-187-sostenibilidad-transicion-energetica-2023/transicion-energetica-y-creditos-estructurados-de-project-finance-impulsando-proyectos-sostenibles/>

Cámara de Comercio de Bogotá. (2024). *Uso del suelo*. Obtenido de Cámara de Comercio de Bogotá: <https://www.ccb.org.co/servicios/crea-tu-empresa/constituye-tu-empresa/uso-del-suelo>

Colombia Risk Analysis. (2024). *Índice de riesgo regional*. Obtenido de Colombia Risk Analysis: <https://www.colombiariskanalysis.com/indices-riesgo-regional>

Consejo Nacional de Técnicos Electricistas. (31 de Julio de 2023). *Funcionamiento del Sector de Energía Eléctrica en Colombia*. Obtenido de CONTE: <https://www.conte.org.co/funcionamiento-del-sector-de-energia-electrica-en-colombia/>

Consejo Privado de Competitividad. (2024). *Índice Departamental de Competitividad*. Obtenido de Consejo Privado de Competitividad: https://compite.com.co/wp-content/uploads/2024/06/INFORME_IDC-2024_CAMBIOS_compressed-1.pdf

Contreras, I., Cerveró Marina, D., Barrasa, E., Sáes Pérez, A., Arola, X., & Pascual, J. (2018). *GUÍA PARA LA FINANCIACIÓN DE PROYECTOS DE ENERGÍA SOSTENIBLE*. Obtenido de Enerinvest: <https://www.ecoserveis.net/wp-content/uploads/2019/04/guia-para-la-financiacion-de-proyectos-de-energia-sostenible-2a-edicion.pdf>

Corficolombiana. (28 de Febrero de 2023). *Actualidad del sector energético colombiano*. Obtenido de Corficolombiana: <https://investigaciones.corficolombiana.com/documents/38211/0/Informe%20Sectorial%20Sector%20Elctrico%2024012023%20VF.pdf/6f0862d8-aacb-40fd-cc3e-0c95916bceba>

Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca. (18 de Diciembre de 2018). *Acuerdo no. 45 de 18 DIC 2018*. Obtenido de CAR: <https://www.car.gov.co/uploads/files/5c76ab7c6783d.pdf>

Damodaran, A. (Enero de 2024). *Betas by Sector (US)*. Obtenido de Stern NYU: <https://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/>

DANE. (2018). *Geovior de Autorreconocimiento Étnico*. Obtenido de DANE: <https://geoportal.dane.gov.co/geovisores/sociedad/autorreconocimiento-etnico/>

De León, C. (12 de Octubre de 2021). *Financiamiento para la transición energética Latinoamericana*. Obtenido de Observatorio Económico Latinoamericano: <https://www.obela.org/analisis/financiamiento-para-la-transicion-energetica-latinoamericana>

Defensoría del Pueblo. (2023). *INFORME ANUAL DE CONFLICTOS SOCIALES MANIFIESTOS Enero–diciembre 2023*. Obtenido de https://www.upra.gov.co/es-co/Documents/Mercado_Tierras/mapa.pdf

Departamento de Risaralda. (14 de Junio de 2024). *Documento Plan de Desarrollo*. Obtenido de Documento Plan de Desarrollo: <https://www.risaralda.gov.co/documentos/150824/documento-plan-de-desarrollo/>

Departamento de Risaralda. (14 de Junio de 2024). <https://www.risaralda.gov.co/documentos/150824/documento-plan-de-desarrollo/>. Obtenido de

Departamento de Risaralda: <https://www.risaralda.gov.co/documentos/150824/documento-plan-de-desarrollo/>

Departamento Nacional de Planeación. (5 de Mayo de 2022). *Adopción de la Tasa Social de Descuento para la evaluación de proyectos de inversión*. Obtenido de Revista Jurídica: <https://www.dnp.gov.co/publicaciones/Revista-Juridica/Paginas/Adopci%C3%B3n-de-la-Tasa-Social-de-Descuento-para-la-evaluaci%C3%B3n-de-proyectos-de-inversi%C3%B3n.aspx>

El Pilón. (31 de Agosto de 2025). *Malas noticias: Enel Colombia ya no construirá parques eólicos en La Guajira*. Obtenido de El Pilón: <https://elpilon.com.co/malas-noticias-enel-colombia-ya-no-construira-parques-eolicos-en-la-guajira/>

Enel. (2024). *Proyecto eólico Windpeshi*. Obtenido de Enel: <https://www.enel.com.co/es/gestion-ambiental-generacion/proyecto-eolico-windpeshi-enel.html>

Enel. (s.f.). *Aerogenerador*. Obtenido de Enel: <https://www.enelgreenpower.com/es/learning-hub/energias-renovables/energia-eolica/aerogenerador>

Enel. (s.f.). *Descripción del mercado*. Obtenido de Enel: <https://www.enel.com.co/es/empresas/enel-generacion/como-se-genera-la-electricidad.html>

Energía Estratégica. (23 de Abril de 2018). *Los mapas eólicos y solares en Latinoamérica: los países con más perspectivas de inversiones*. Obtenido de Energía Estratégica: <https://www.energiaestrategica.com/los-mapas-eolicos-y-solares-en-latinoamerica-los-paises-con-mas-perspectivas-de-inversiones/>

Energía y Ambiente Andina. (Noviembre de 2016). *Fuentes de Financiamiento con Instrumentos Dedicados a Energía Sostenible en Zonas Rurales de Colombia*. Obtenido de Energía y Ambiente Andina: https://energiayambienteandina.net/pdf/Programa_AEA/4.%20Directorio%20Fuentes%20de%20Financiamiento%20Colombia.pdf

Esri Colombia. (2024 de 2024). *Migración de Aves*. Obtenido de Esri Colombia: <https://storymaps.arcgis.com/stories/842b52c39e6140b5998f3541079afeb9>

Expansión Datos Macro. (2024). *Bono de Estados Unidos a 10 años*. Obtenido de Expansión Datos Macro: <https://datosmacro.expansion.com/bono/usa>

Ferris, N. (25 de Abril de 2023). *Data insight: the cost of a wind turbine has increased by 38% in two years*. Obtenido de Energy Monitor: <https://www.energymonitor.ai/renewables/data-insight-the-cost-of-a-wind-turbine-has-increased-by-38-in-two-years/>

Función Pública. (13 de Mayo de 2014). *Ley 1715 de 2014*. Obtenido de Función Pública: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=57353>

Función Pública. (24 de Abril de 2024). *Decreto 1076 de 2015 Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible*. Obtenido de Función Pública: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=78153>

Fundación Paz y Reconciliación. (13 de Jun de 2024). *Presencia EAI en Colombia 2024*. Obtenido de Fundación Paz y Reconciliación: <https://public.tableau.com/app/profile/fundaci.n.paz.y.reconciliaci.n/Viz/PresenciaEAIenColombia2024/AnalisisGeneralInteractivo>

Furió, E. (1 de Marzo de 2023). *'Project finance', la alternativa de financiación para grandes proyectos*. Obtenido de BBVA: <https://www.bbva.com/es/project-finance-la-alternativa-financiacion-grandes-proyectos/>

Gerencie. (15 de Marzo de 2024). *Tarifas del impuesto de renta*. Obtenido de Gerencie: https://www.gerencie.com/tarifas-del-impuesto-de-renta.html#Impuesto_de_renta

- Global Wind Atlas. (2024). *Global Wind Atlas*. Obtenido de Global Wind Atlas: <https://globalwindatlas.info/es/>
- Gobernación de Boyacá. (2024). *Plan Departamental de Desarrollo*. Obtenido de Gobernación de Boyacá: <https://www.boyaca.gov.co/wp-content/uploads/2024/07/PDD-NUESTRO-GRAN-PLAN-ES-BOYACA-2024-2027-FINAL.pdf>
- Gobernación de Cundinamarca. (31 de Diciembre de 2023). *INFORME DE GESTIÓN 2023*. Obtenido de Gobernación de Cundinamarca: https://www.cundinamarca.gov.co/wcm/connect/0b35ad26-48d1-4fa8-ae85-3a8f7dfbd996/INFORME+DE+GESTION+SCDE+2023.pdf?MOD=AJPERES&CONVERT_TO=url&CACHEID=ROOTWORKSPACE-0b35ad26-48d1-4fa8-ae85-3a8f7dfbd996-oVob2jf
- Gobernación de Cundinamarca. (2024). *Gobernando: más que un plan 2024-2028 Plan Departamental de Desarrollo*. Obtenido de Gobernación de Cundinamarca: <https://archivodigital.cundinamarca.gov.co/app/flipbook/?url=https://archivodigital.cundinamarca.gov.co/gobcun/planeacion/docs/pdd/plan-de-desarrollo-cundinamarca-2024-2028.pdf>
- Gobernación de Nariño. (s.f.). *Nariño, región país para el mundo*. Obtenido de Gobernación de Nariño: <https://www.cutregionalnarino.com/mayo2024/plandesarrollo.pdf>
- Gobernación de Santander. (2024). *ES TIEMPO DE SANTANDER Plan de Desarrollo 2024-2027*. Obtenido de Gobernación de Santander: <https://santander.gov.co/loader.php?lServicio=Tools2&lTipo=descargas&lFuncion=visorpdf&file=https%3A%2F%2Fsantander.gov.co%2Floader.php%3FlServicio%3DTools2%26lTipo%3Ddescargas%26lFuncion%3DexposeDocument%26idFile%3D63903%26tmp%3Dcb886d6b2671c241161b63fa>
- Gobernación del César. (2024). *Plan de Desarrollo Departamental*. Obtenido de Gobernación del César: <https://cesar.gov.co/d/es/documentos/politicas-plan/plan-desarrollo>
- Gobernación del Huila. (2024). *Gobernación del Huila*. Obtenido de Plan de Desarrollo Departamental: <https://www.huila.gov.co/loader.php?lServicio=Tools2&lTipo=descargas&lFuncion=visorpdf&file=https%3A%2F%2Fwww.huila.gov.co%2Floader.php%3FlServicio%3DTools2%26lTipo%3Ddescargas%26lFuncion%3DexposeDocument%26idFile%3D41273%26tmp%3D3cde5fb884a7cdaaa2391a26>
- Gobierno del Quindío. (s.f.). *PLANEACIÓN ESTRATÉGICA PLAN DE DESARROLLO DEPARTAMENTAL 2024-2027*. Obtenido de Gobierno del Quindío: https://quindio.gov.co/home/docs/items/item_100/Plan_de_Desarrollo_2024-2027/Presentaciones_PDD_2024-2027/Planeacion_Estrat%C3%A9gica/CAP_PLANEACION ESTRATEGICA_PDD_2024-2027.pdf
- Gómez Munuera, J. (2019). *Nota técnica: Project Finance, financiación estructurada para grandes proyectos de inversión*. Obtenido de Universidad Oberta de Catalunya: <https://openaccess.uoc.edu/bitstream/10609/149018/7/NotaTecnicaProjectFinanceFinanciacionEstructuradaParaGrandesProyectosDeInversion.pdf>
- Grueso López, N. (Julio de 2022). *Anteproyecto de un Parque Eólico en la isla de San Andrés, Colombia financiado parcialmente por la comunidad local*. Obtenido de Universitat de Barcelona: <https://diposit.ub.edu/dspace/handle/2445/189271>
- Grupo Bancolombia. (Marzo de 2024). *Actualizaciones de proyecciones económicas Colombia*. Obtenido de Grupo Bancolombia: <https://www.bancolombia.com/wcm/connect/www.bancolombia.com-26918/c97ede53-14c4-4b5e-a8ef-16e18c393df2/actualizaci%C3%B3n-de-proyecciones-economicas-para-colombia-marzo-2024.pdf?MOD=AJPERES&CVID=p6GppGv>

- Gubinelli, G. (3 de Octubre de 2022). *El BID anuncia créditos para renovables e incluye al hidrógeno verde, eólica marina y electromovilidad*. Obtenido de Energía Estratégica: <https://www.energiaestrategica.com/el-bid-anuncia-creditos-para-renovables-e-incluye-al-hidrogeno-verde-eolica-marina-y-electromovilidad/>
- Guerrero Hoyos, B. G., Vélez Macías, F. d., & Morales Quintero, D. E. (2019). *Energía eólica y territorio: sistemas de información geográfica y métodos de decisión multicriterio en La Guajira (Colombia)*. Obtenido de [https://revistas.javeriana.edu.co/files-articulos/AyD/23-44%20\(2019-I\)/151561629005/](https://revistas.javeriana.edu.co/files-articulos/AyD/23-44%20(2019-I)/151561629005/)
- Guerrero Rivera, M. A. (Noviembre de 2020). *CONFLICTO DEL USO DEL SUELO EN COLOMBIA COMO PRECURSOR DEL AUMENTO DE SU DEGRADACIÓN*. Obtenido de Repositorio Institucional UMNG: <https://repository.unimilitar.edu.co/server/api/core/bitstreams/aeb95a91-b042-4191-be17-9354baecb5f8/content>
- Hernández Díaz, G. A., Matamoros Cárdenas, M., & Sánchez Segura, A. F. (1 de Agosto de 2019). *Actualización de la estimación de los indicadores “Razón Precio–Cuenta”*. Obtenido de Departamento Nacional de Planeación: <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Estudios%20Economicos/497.pdf>
- IDAE. (2011). *Evolución tecnológica y prospectiva de costes de las energías renovables*. Obtenido de IDAE: <https://www.idae.es/publicaciones/evolucion-tecnologica-y-prospectiva-de-costes-de-las-energias-renovables>
- IDAE. (2011). *Evolución tecnológica y prospectiva de costes de las Energías renovables*. Obtenido de IDAE: https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_11227_e2_tecnologia_y_costes_7d24f737.pdf
- Ilumunem. (18 de Marzo de 2024). *Examining the pros and cons of wind energy*. Obtenido de Ilumunem: <https://illuminem.com/illuminemvoices/examining-the-pros-and-cons-of-wind-energy>
- Infraestructura de Datos Espaciales Regional. (25 de Abril de 2022). *Capacidad de uso de tierras. Departamento de Cundinamarca. Escala 1:100.000. 2001. (Capa)*. Obtenido de IDER: <https://ider.cundinamarca.gov.co/datasets/cundinamarca-map::capacidad-de-uso-de-tierras-departamento-de-cundinamarca-escala-1100-000-2001-capa/explore?location=5.269930%2C-73.933546%2C12.27>
- Infraestructura de Datos Espaciales Regional. (25 de Abril de 2022). *Vocación de uso - clasificación de tierras. Departamento de Cundinamarca. Escala 1:100000. 2016. (Capa)*. Obtenido de IDER: <https://ider.cundinamarca.gov.co/datasets/cundinamarca-map::vocaci%C3%B3n-de-uso-clasificaci%C3%B3n-de-tierras-departamento-de-cundinamarca-escala-1100000-2016-capa/explore?location=5.289183%2C-73.930494%2C12.27>
- Instituto Nacional de Vías. (17 de Julio de 2024). *Estado de la Red Vial*. Obtenido de Instituto Nacional de Vías: <https://www.invias.gov.co/index.php/component/content/article/2-uncategorised/57-estado-de-la-red-vial>
- International Energy Agency. (Septiembre de 2023). *Colombia 2023 Energy Policy Review*. Obtenido de International Energy Agency: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/2fa812fe-e660-42f3-99bc-bd75be3ca0b5/Colombia2023-EnergyPolicyReview.pdf>
- Jaimes, A. (01 de mayo de 1992). *A ADELANTAR LOS RELOJES!* Obtenido de El Tiempo: <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-104700>
- Jiménez Rabinal, G., & Carbó Valverde, S. (Abril de 2020). *PROJECT FINANCE: Sector de las Energías Renovables*. Obtenido de Biblioteca CUNEF: https://biblioteca.cunef.edu/files/documentos/TFG_Guillermo_Jimenez_Rabinal.pdf

- Lazard. (2024). *Leveled Cost of Energy*. Obtenido de *Leveled Cost of Energy*: <https://www.lazard.com/research-insights/levelized-cost-of-energyplus/>
- Ley 1715 de 2014. (13 de Mayo de 2014). Obtenido de *Función Pública*: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=57353>
- Lizarazo Hernandez, K. d., Álvarez Mahecha, J. C., & Pachón Suárez, M. E. (17 de Marzo de 2021). *Factores bióticos y abióticos que inciden en la calidad de suelo para el desarrollo de Guadua angustifolia Kunth en cuatro zonas de las provincias de Gualivá y Bajo Magdalena del departamento de Cundinamarca (Colombia)*. Obtenido de *Revista Ciencias Agropecuarias*: https://revistas.ucundinamarca.edu.co/index.php/Ciencias_agropecuarias/article/view/265
- MiningPress. (29 de Mayo de 2015). *Los 10 Parques Eólicos más importantes del mundo*. Obtenido de *MiningPress*: <https://miningpress.com/top-10-mineria-energia-mundial/284102/los-10-parques-eolicos-mas-importantes-del-mundo>
- Ministerio de Minas y Energía. (s.f.). *Funcionamiento del Sector*. Obtenido de <https://www.minenergia.gov.co/es/misional/energiaelectrica-2/funcionamiento-del-sector/>
- Ministerios de Minas y Energía. (2024). *Parque eólico de la Guajira*. Obtenido de *Ministerios de Minas y Energía*: <https://www.minenergia.gov.co/es/micrositios/parque-eolico-guajira/>
- Mora, K. (26 de Marzo de 2024). *Nivel de los embalses está 1,73 puntos abajo del mínimo visto en los últimos 20 años*. Obtenido de <https://www.larepublica.co/economia/nivel-de-los-embalses-esta-1-73puntos-abajo-del-minimo-visto-en-los-ultimos-20-anos-3828736>
- Parque Nacionales. (2024). *Parques Nacionales Naturales de Colombia*. Obtenido de *Parque Nacionales*: <https://mapas.parquesnacionales.gov.co/>
- Pasqualino, J., Cabrera, C., & Vanegas Chamorro, M. (2015). *Los impactos ambientales de la implementación de las energías eólica y solar en el Caribe Colombiano*. Obtenido de *Universidad Autónoma del Caribe*: <http://ojs.uac.edu.co/index.php/prospectiva/article/view/361>
- Perch Energy. (30 de Septiembre de 2024). *Wind Power Pros & Cons: Advantages, Disadvantages of Wind Energy*. Obtenido de *Perch Energy*: <https://www.perchenenergy.com/blog/energy/advantages-disadvantages-wind-energy>
- Policía Nacional de Colombia. (2024). *Estadística delictiva*. Obtenido de *Policía Nacional de Colombia*: <https://www.policia.gov.co/estadistica-delictiva>
- Renewables Consulting Group. (2023). *Hoja de ruta para el despliegue de la energía eólica costa afuera en Colombia Reporte final*. Obtenido de *Ministerio de Minas y Energía*: https://www.minenergia.gov.co/documents/6114/Español_Hoja_de_ruta_energía_eólica_costa_afuera_en_Colombia_Final.pdf
- Reuters. (26 de Enero de 2024). *Colombia renewable energy could see \$2.2 billion in investment this year*. Obtenido de *World Energy*: <https://www.world-energy.org/article/39990.html>
- Roca, J. A. (10 de Octubre de 2015). *Los 10 mayores parques eólicos terrestres del mundo*. Obtenido de *El Periódico de la energía*: <https://elperiodicodelaenergia.com/los-10-mayores-parques-eolicos-terrestres-del-mundo/>
- Rozo, J. A. (5 de Octubre de 2022). *¿Cuánto dinero cuesta restaurar los ecosistemas de Colombia?* Obtenido de *Forbes Colombia*: <https://forbes.co/2022/10/05/red-forbes/cuanto-dinero-cuesta-restaurar-los-ecosistemas-de-colombia>

- SCIOTECA. (Julio de 2023). *Estrategia País CAF Colombia 2023-2026*. Obtenido de SCIOTECA: <https://scioteca.caf.com/handle/123456789/2069>
- Ser Colombia. (Marzo de 2023). *Proyectos de energías renovables 2023-2024*. Obtenido de Ser Colombia: <https://ser-colombia.org/wp-content/uploads/2023/05/REVISTA-2.pdf>
- Ser Colombia. (2024). *RENOVABLES 2024: 1.240 MW cerca de iniciar operación y 1.800 MW más en el horizonte, Colombia avanza hacia un futuro más verde*. Obtenido de Ser Colombia: https://ser-colombia.org/wp-content/uploads/2024/01/PORTAFOLIO_2024.pdf
- Sostenibilidad Ambiental. (15 de Noviembre de 2024). *Ciclo de Vida de un Aerogenerador: Desde la Fabricación hasta el Reciclaje, Todo lo que Necesitas Saber*. Obtenido de Sostenibilidad Ambiental: <https://www.sostenibilidadambiental.com/ciclo-de-vida-de-un-aerogenerador-desde-la-fabricacion-hasta-el-reciclaje-todo-lo-que-necesitas-saber/>
- Sostenibilidad Ambiental. (16 de Noviembre de 2024). *Descubre Dónde se Encuentran los Parques Eólicos en América Latina: Mapa Esencial de Oportunidades Sostenibles*. Obtenido de Sostenibilidad Ambiental: <https://www.sostenibilidadambiental.com/descubre-donde-se-encuentran-los-parques-eolicos-en-america-latina-mapa-esencial-de-oportunidades-sostenibles/>
- Statista. (23 de Septiembre de 2024). *Emerging Markets Bond Index (EMBI) spread in selected Latin American countries in 2024*. Obtenido de Statista: <https://www.statista.com/statistics/1086634/emerging-markets-bond-index-spread-latin-america-country/>
- Stehly, T., Duffy, P., & Mulas Hernando, D. (Diciembre de 2023). *2022 Cost of Wind Energy Review*. Obtenido de NREL: <https://www.nrel.gov/docs/fy24osti/88335.pdf>
- Todo Ingenierías. (2024). *Espacio necesario para una turbina eólica: ¿Cuánto se requiere?* Obtenido de Todo Ingenierías: https://todoingenierias.com/espacio-necesario-para-una-turbina-eolica-cuanto-se-requiere/#las_turbinas_eolicas_de_mayor_tama_o_requieren_mas_espacio_que_las_mas_peque_as
- U.S. Department of Energy. (s.f.). *How a Wind Turbine Works - Text Version*. Obtenido de <https://www.energy.gov/eere/wind/how-wind-turbine-works-text-version#:~:text=Nacelle,weigh%20more%20than%204.5%20tons>
- UPME. (Enero de 2016). *Elaboración de requisitos técnicos y recomendaciones regulatorias para la incorporación de la Generación Eólica al Sistema Interconectado Nacional en Colombia*. Obtenido de UPME: https://www1.upme.gov.co/Documents/Informe_Final_Generacion_Eolica.pdf
- Urrego, A. (21 de Enero de 2022). *Gobierno inauguró Guajira 1, el primer parque eólico que aportará 20 MW de energía*. Obtenido de La República: <https://www.larepublica.co/economia/gobierno-inaugurara-hoy-el-parque-eolico-guajira-1-el-mas-grande-de-colombia-3289884>
- US Department of Energy. (Agosto de 2023). *Land-Based Wind Market Report: 2023 Edition*. Obtenido de US Department of Energy: <https://www.energy.gov/sites/default/files/2023-08/land-based-wind-market-report-2023-edition.pdf>
- Vega Araújo, J., & Muñoz Cabré, M. (9 de Marzo de 2023). *Energía solar y eólica en Colombia: panorama y resumen de políticas 2022*. Obtenido de SEI brief. Stockholm Environment Institute: https://www.sei.org/publications/energia-solar-eolica_colombia-2022/
- Villegas, M., & Espinal, L. (2020). *Factibilidad financiera de un proyecto de energía solar fotovoltaica financiado mediante un acuerdo de compra PPA*. Obtenido de Universidad EAFIT: <https://repository.eafit.edu.co/server/api/core/bitstreams/4d98719d-cd9b-442b-9ea2-388424b8fe6c/content>

- Wind Turbine Models. (2024). *GE Vernova GE 2.5 - 120*. Obtenido de Wind Turbine Models: <https://es.wind-turbine-models.com/turbines/310-ge-vernova-ge-2.5-120>
- Wood Mackenzie. (16 de Junio de 2021). *Onshore wind: tackling cost escalation in operations and maintenance*. Obtenido de Wood Mackenzie: <https://www.woodmac.com/news/opinion/onshore-wind-tackling-cost-escalation-in-operations-and-maintenance/>
- Wood Mackenzie. (16 de MARzo de 2021). *Six ways the onshore wind O&M market will transform this decade*. Obtenido de Wood Mackenzie: <https://www.woodmac.com/news/opinion/six-ways-the-onshore-wind-om-market-will-transform-this-decade/>
- XM. (2023). *Reporte Integral de Sostenibilidad, Operación y Mercado*. Obtenido de https://www.xm.com.co/sites/default/files/documents/Reporte%20Integral%20de%20Sostenibilidad%2C%20Operaci%C3%B3n%20y%20Mercado%202023_X
- XM. (2024). *Precio de bolsa y escasez*. Obtenido de XM: <https://www.xm.com.co/transacciones/cargo-por-confiabilidad/precio-de-bolsa-y-escasez>
- XM. (2024). *Pronóstico de demanda*. Obtenido de XM: <https://www.xm.com.co/consumo/pronostico-de-demanda>
- XM. (s.f.). *Estructura del mercado*. Obtenido de XM: <https://www.xm.com.co/transacciones/registros/registro-agentes-ycontactos/estructura-del-mercado>
- Zapata Quinchía, A. (22 de Enero de 2022). *Entró en operación Guajira 1, el parque eólico más grande de Colombia*. Obtenido de El Colombiano: <https://www.elcolombiano.com/inicio/ya-funciona-guajira-1-el-parque-eolico-mas-grande-de-colombia-OD16407382>