

**Formulación de lineamientos para proyectos de energía eólica en la Costa Norte de
Colombia: enfoque basado en el método del marco lógico**

Jesús Ernesto Sánchez Navarro

Trabajo de grado para optar el título de Magister en Dirección y Gestión de Proyectos

Director

Alix Yusara Contreras Gómez

Magister en Ingeniería Ambiental

Universidad Santo Tomás, Bucaramanga

División de Ingenierías y Arquitectura

Facultad de Ingeniería Civil

2025

ELABORADO POR:	REVISADO POR:	Vº Bº POR:
Jesús Ernesto Sánchez N <i>Estudiante de Maestría</i>	Alix Yusara Contreras Gómez <i>Director del Trabajo de grado</i>	Comité de posgrado

Tabla de contenido

Introducción	16
1. Aspectos Contextuales	18
1.1 Planteamiento del Problema/Caso de Negocio	20
2. Objetivos	24
2.1 Objetivo general	24
2.2 Objetivos específicos	24
3. Marco referencial.....	25
3.1 Marco teórico	25
3.1.1 Energía eólica.....	25
3.1.2 Aerogenerador.....	26
3.1.3 Control y regulación.....	28
3.1.4 Relaciones de velocidad y potencia.	29
3.1.5 Distribución probabilística de Weibull.	30
3.1.6 Costo beneficio.....	30
3.1.7 Innovación tecnológica y patentes en energía eólica.	31
3.1.8 Impacto ambiental de la energia eolica en Colombia.	33
3.2 Marco conceptual	34
3.2.1 Método de marco lógico.....	35
3.3 Estado del arte	36
3.3.1 Antecedentes internacionales	37

3.3.2 Antecedentes nacionales	38
3.4 Marco legal.....	40
3.4.1 Marco regulatorio nacional	41
3.4.2 Licenciamiento ambiental y permisos.....	42
3.4.3 Mecanismos de financiación y contratación	43
3.4.4 Retos y oportunidades en la regulación	44
4. Análisis de Interesados -Involucrados	46
4.1 Identificación de los involucrados-interesados	46
4.1.1 Matriz de interesados-involucrados	48
4.1.2 Criterios utilizados para la calificación de la matriz de interesados-involucrados ..	50
5. Análisis del problema.....	54
5.1 Modelo árbol de problemas.....	54
6. Análisis de objetivos	56
6.1 Modelo árbol de objetivos.....	56
7. Análisis de Alternativas	58
7.1 Identificación de alternativas	58
7.1.1 Alternativa 1: estudio integral para el desarrollo de proyectos eólicos en la Costa Norte de Colombia.....	58
7.1.2 Alternativa 2: Creación de un Programa de Sostenibilidad Energética basado en Energía Eólica.....	59
7.2 Evaluación de alternativas.....	60

7.3 Selección de la alternativa de solución	62
8. Construcción del modelo analítico del proyecto	63
8.1 Estructura analítica.....	63
8.2 Matriz de marco lógico	65
8.3 Resumen narrativo	69
8.3.1 Fin.	69
8.3.2 Propósito.	69
8.3.3 Componentes o productos.	70
8.4 Indicadores	72
8.4.1 Indicadores de propósito.	72
8.4.2 Indicadores de componentes.	72
8.4.3 Indicadores de actividades.	72
8.5 Medios de verificación	73
8.6 Supuestos.....	73
9. Recursos humanos, materiales y económicos	75
10. Cronograma.....	76
10.1 Fases del desarrollo del proyecto	78
11. Difusión y comunicación	80
12. Resultados	82

12.1 Lineamientos técnicos para el desarrollo de proyectos de energía eólica en la Costa Norte de Colombia.....	82
12.1.1 Caracterización del potencial eólico en la Costa Norte de Colombia.	82
12.1.2 Lineamientos técnicos mínimos.	86
12.2 Lineamientos Financieros.	91
12.2.1 Evaluación costo-beneficio y viabilidad Económica.	93
12.2.2 Proyección de ingresos y generación.	95
12.2.3 Evaluación financiera.	95
12.2.4 Lineamientos financieros: criterios y filtros de viabilidad económica.	97
12.2.6 Requisitos legales y normativos para la empresa.	98
12.2.7 Consideraciones para la participación y formalización.	101
12.3 Normatividad y Lineamientos Socioambientales para los Proyectos de Energía Eólica en la Costa Norte de Colombia	102
12.3.1 Evaluación de impacto ambiental (EIA).	103
12.3.2 Principales Impactos Ambientales y Medidas de Mitigación.	104
12.3.3 Procedimiento para la obtención de la licencia ambiental.	107
12.3.4. Plan de manejo ambiental (PMA).	107
12.3.5 Monitoreo y cumplimiento ambiental.	108
12.3.6 Dinámicas sociales del territorio y consulta previa.	108
12.4 Lineamientos socioambientales	109
13. Discusión.....	112
14. Conclusiones	115

Referencias	117
-------------------	-----

Lista de tablas

Tabla 1. Municipios de la Costa Norte de Colombia.....	19
Tabla 2. Patentes vigentes relacionadas con energía eólica en Colombia	33
Tabla 3. Normatividad	40
Tabla 4. Matriz de interesados-involucrados	49
Tabla 5. Árbol de problemas.....	55
Tabla 6. Árbol de objetivos.....	57
Tabla 7. Evaluación de alternativas	60
Tabla 8. Matriz de marco lógico	67
Tabla 9. Presupuesto	75
Tabla 10. Fases del desarrollo del proyecto.....	78
Tabla 11. Lineamientos Técnicos	89
Tabla 12. Lineamientos Financieros	97
Tabla 13. Resumen de Requisitos y Normativas	100
Tabla 14. Legislación y Regulaciones Ambientales Aplicables.....	102
Tabla 15. Áreas de Influencia	104
Tabla 16. Fases del Proyecto Evaluadas en la EIA.....	104
Tabla 17. Etapas del proceso de Licenciamiento Ambiental.....	107
Tabla 18. Contenido del PMA	108
Tabla 19. Indicadores de cumplimiento.....	108
Tabla 20. Identificación de las Comunidades Impactadas.....	109
Tabla 21. Lineamientos Socioambientales para Proyectos de Energía Eólica	110
Tabla 22. Terminos de referencia	110

Lista de figuras

Figura 1. Costa Norte de Colombia	18
Figura 2. Aerogenerador y sus diversos componentes,.....	27
Figura 3. Metodología marco lógico.....	36
Figura 4. Identificación de los involucrados-interesado.	48
Figura 5. Estructura analítica.	64
Figura 6. Cronograma.	77
Figura 7. Mapa del viento en la zona norte de Colombia.	83
Figura 8. Modelo general de un aerogenerador.	87

Resumen

El presente trabajo de grado se desarrolla en respuesta a la disminución de la capacidad hidroeléctrica y a la dependencia creciente de fuentes no renovables en Colombia, evidenciando el inexplorado potencial eólico en la Costa Norte. La investigación propone establecer directrices integrales que orienten la implementación de proyectos de energía eólica, integrando aspectos técnicos, financieros, jurídicos y socioambientales mediante el uso del método del marco lógico. A lo largo del estudio se analizan datos climatológicos para identificar zonas de alto potencial, se evalúan esquemas económicos a través de estudios costo-beneficio y se revisa la normatividad vigente, lo que permite generar una propuesta coherente de lineamientos que aseguren la sostenibilidad y eficiencia de estas iniciativas. La propuesta resulta en la identificación de estrategias que no solo optimizan la captación del recurso eólico, sino que también potencian el desarrollo regional y promueven la transición hacia un modelo energético más sustentable, beneficiando tanto al sector productivo como a las comunidades locales.

Palabras Clave: energía eólica, diversificación energética, marco lógico, viabilidad, sostenibilidad

Abstract

This thesis was developed in response to the decline in hydroelectric capacity and the growing dependence on non-renewable sources in Colombia, highlighting the untapped wind energy potential along the North Coast. The research aims to establish comprehensive guidelines that steer the implementation of wind energy projects by integrating technical, financial, legal, and socio-environmental aspects through the use of the logical framework methodology. Throughout the study, climatological data are analyzed to identify high-potential areas, economic schemes are evaluated via cost-benefit studies, and current regulations are reviewed, thereby enabling the formulation of a coherent set of guidelines that ensure the sustainability and efficiency of these initiatives. The proposal results in the identification of strategies that not only optimize the harnessing of wind resources but also promote regional development and facilitate the transition towards a more sustainable energy model, benefiting both the productive sector and local communities.

Keywords: wind energy, energy diversification, logical framework, viability, sustainability

Glosario

Aerogenerador: Dispositivo que transforma la energía cinética del viento en energía eléctrica mediante la conversión mecánica y eléctrica en sus componentes principales (rotor, torre y generador) (Asociación Española de Normalización, 2020).

Análisis Costo-Beneficio: Método de evaluación que cuantifica y compara los costos y beneficios de un proyecto para determinar su rentabilidad y viabilidad económica (Lara & Franco, 2017).

Capacidad Instalada: Potencia máxima que puede generar un sistema o instalación energética, medida en megavatios (MW), y que refleja el potencial operativo del proyecto (UNE, 2020).

Consulta Previa: Procedimiento obligatorio que garantiza el diálogo y el consentimiento de comunidades indígenas o afrodescendientes antes de implementar proyectos que puedan afectar sus territorios y recursos culturales (Ortegón, et ál., 2013).

Consulta Social: Proceso de participación y diálogo con la comunidad local para integrar sus opiniones y necesidades en el diseño e implementación de proyectos, promoviendo la inclusión y la aceptación social (Ortegón, et ál., 2013).

Cronograma: Planificación temporal que detalla las fases, actividades y plazos específicos para la ejecución de un proyecto, permitiendo un seguimiento ordenado y eficiente de su desarrollo (Ortegón, et ál., 2013).

Energía Eólica: Energía renovable obtenida mediante la conversión de la energía cinética del viento en energía eléctrica, generalmente a través de aerogeneradores (UNE, 2020).

Energía Renovable: Energía derivada de fuentes naturales inagotables o que se regeneran, como el sol, el viento, el agua o la biomasa, que ofrecen alternativas sostenibles a los combustibles fósiles (Ortegón, et ál., 2013).

Embalse: Cuerpo de agua artificial creado para almacenar y regular recursos hídricos, cuya capacidad es fundamental para la generación de energía hidroeléctrica y la gestión de recursos en proyectos energéticos (Pradillo, 2018).

Financiación: Conjunto de mecanismos y procesos mediante los cuales se obtienen los recursos económicos necesarios para la ejecución, operación y sostenibilidad de un proyecto (Lara & Franco, 2017).

Hipótesis: Enunciado que plantea una suposición o proposición inicial sobre el objeto de estudio de la investigación, la cual debe ser comprobada y validada a lo largo del proceso investigativo (Ortegón, et ál., 2013).

Impacto Socioambiental: Conjunto de efectos, tanto positivos como negativos, que un proyecto genera en el entorno social y ambiental, evaluando su repercusión en comunidades y ecosistemas (Ruiz, 2021).

Incentivos Tributarios: Beneficios fiscales ofrecidos por el Estado, como exenciones o deducciones impositivas, para promover la inversión y el desarrollo de proyectos en sectores estratégicos, incluyendo las energías renovables (Lara & Franco, 2017).

Lineamientos: Directrices o criterios establecidos que orientan la planificación, ejecución y evaluación de un proyecto, garantizando la coherencia técnica, jurídica, financiera y socioambiental en su desarrollo (Ortegón, et ál., 2013).

Marco Lógico: Herramienta metodológica que estructura de forma jerárquica los objetivos, actividades, indicadores y supuestos de un proyecto, facilitando su planificación y evaluación (Ortegón, et ál., 2013).

Marco Teórico: Conjunto de conceptos, teorías y antecedentes que sustentan y contextualizan la investigación, proporcionando el fundamento conceptual necesario para el análisis del problema (Ortegón, et ál., 2013).

Matriz de Marco Lógico: Representación gráfica y estructurada de los niveles jerárquicos del proyecto (fin, propósito, componentes y actividades), que incluye indicadores, medios de verificación y supuestos para su seguimiento y evaluación (Ortegón, et ál., 2013).

Matriz Energética: Distribución y composición de las diversas fuentes de energía utilizadas en una región o país, reflejando la importancia relativa de cada fuente en la matriz de generación (Unidad de Planeación Minero Energética, 2024).

Normatividad: Conjunto de leyes, decretos, reglamentos y normas técnicas que regulan el desarrollo, implementación y operación de proyectos, asegurando el cumplimiento de estándares legales y ambientales (Ministerio de Minas y Energía , 2021).

Objeto de Estudio: Fenómeno, proceso o elemento específico sobre el cual se centra la investigación, delimitando el alcance y los límites del análisis (Asociación Empresarial Eólica, 2024).

Potencial Eólico: Capacidad de una región para generar energía a partir del viento, determinada mediante estudios de velocidad, consistencia y distribución del recurso eólico (UNE, 2020).

Propósito: Objetivo principal que se busca alcanzar con la investigación o proyecto, definiendo la meta central y la dirección estratégica del estudio (Prado, et ál., 2016).

Proyecto Eólico: Iniciativa destinada a la generación de energía eléctrica mediante el aprovechamiento del viento, que integra aspectos técnicos, económicos, jurídicos y socioambientales en su diseño e implementación (UNE, 2020).

Sostenibilidad: Capacidad de un proyecto para mantenerse en el tiempo, generando beneficios económicos, sociales y ambientales sin comprometer los recursos naturales ni la integridad del entorno (Lara & Franco, 2017).

Transición Energética: Proceso de cambio en el que se sustituye una matriz energética basada en combustibles fósiles por otra fundamentada en energías renovables y limpias, buscando mejorar la eficiencia y reducir impactos ambientales (UPME, 2024).

Viabilidad: Grado de factibilidad técnica, económica, jurídica y social que determina si un proyecto puede desarrollarse con éxito, considerando recursos, normativas y aceptación de los actores involucrados (Lara & Franco, 2017).

Introducción

El presente trabajo de grado surge en un contexto marcado por la disminución de la capacidad hidroeléctrica y la creciente dependencia de fuentes no renovables, situación que ha generado inquietudes tanto ambientales como de seguridad energética (XM, 2024). En este escenario, la Costa Norte de Colombia se destaca por sus condiciones climáticas favorables, evidenciando un potencial inexplorado para el desarrollo de proyectos de energía eólica que contribuyan a la diversificación de la matriz energética (Ministerio de Minas y Energía, 2021).

La investigación se orienta hacia la formulación de lineamientos técnicos, jurídicos, financieros y socioambientales para la gestión integral de proyectos eólicos en la región, utilizando el método del marco lógico como herramienta estructural (Ortegón, et ál., 2013). La pregunta de investigación que guía este estudio es: ¿Cómo pueden gestionarse los proyectos de energía eólica en la Costa Norte de Colombia? Al abordar esta cuestión, se pretende establecer directrices claras que faciliten la implementación y sostenibilidad de estas iniciativas, integrando aspectos técnicos y económicos con la normativa vigente y las implicaciones socioambientales.

Diversos estudios internacionales y nacionales han evidenciado el impacto positivo de la energía eólica en la transición hacia sistemas energéticos más sostenibles (Quintana & Sarmiento, 2023). Sin embargo, se identifica una brecha en el análisis integral que contemple de manera simultánea los ejes técnico, económico, jurídico y social. En este sentido, la relevancia del proyecto radica en su capacidad para aportar soluciones a la crisis energética y promover el desarrollo sostenible, beneficiando tanto al sector productivo como a las comunidades locales (Lara & Franco, 2017).

El propósito fundamental de esta investigación es formular un conjunto de directrices que oriente la ejecución de proyectos de energía eólica en la Costa Norte de Colombia, garantizando

su viabilidad técnica y financiera, el cumplimiento de la normativa y la integración de los impactos socioambientales. Para ello, se adoptará un enfoque metodológico basado en el marco lógico, que permitirá estructurar de forma coherente los objetivos, actividades y estrategias de intervención.

La organización del documento se estructura en capítulos que abordan, de manera integral, el planteamiento del problema, el desarrollo de antecedentes, el marco teórico y conceptual, el análisis normativo, la metodología aplicada y, por último, la discusión de resultados y conclusiones. Cada sección contribuye a una visión holística del fenómeno, facilitando la comprensión de los desafíos y la propuesta de soluciones orientadas a la gestión exitosa de proyectos de energía eólica en la región.

1. Aspectos Contextuales

Esta sección aborda los fundamentos generales del proyecto, estableciendo el desarrollo de lineamientos técnicos, financieros y socioambientales para proyectos de energía eólica en la Costa Norte de Colombia. En este contexto, cabe destacar que la Costa Norte está conformada por los departamentos de Atlántico (23 municipios), Bolívar (46 municipios), Cesar (25 municipios), Córdoba (28 municipios), La Guajira (15 municipios), Magdalena (30 municipios) y Sucre (26 municipios) (ver Figura 1 y Tabla 1).

Figura 1. *Costa Norte de Colombia*



Nota. El mapa fue obtenido de (Wikiwand, 2025)

Tabla 1. *Municipios de la Costa Norte de Colombia*

Departamento	Municipio
Atlántico	Barranquilla, Galapa, Malambo, Puerto Colombia, Soledad, Campo de la Cruz, Candelaria, Luruaco, Manatí, Repelón, Santa Lucía, Suán Baranoa, Palmar de Varela, Polonuevo, Ponedera, Sabanagrande, Sabanalarga, Santo Tomás, Juan de Acosta, Piojó, Tubará, Usiacurí.
Bolívar	Cicuco, Hatillo de Loba, Margarita, Mompóx, San Fernando, Talaigua Nuevo, Arjona, Arroyohondo, Calamar, Cartagena, Clemencia, Mahates, San Cristóbal, San Estanislao, Santa Catalina, Santa Rosa de Lima, Soplaviento, Turbaco, Turbana, Villanueva, Altos del Rosario, Barranco de Loba, El Peñón, Regidor, Río Viejo, San Martín de Loba, Arenal, Cantagallo, Morales, San Pablo, Santa Rosa Del Sur, Simití, Achí, Magangué, Montecristo, Pinillos, San Jacinto del Cauca, Tiquisio, Carmen de Bolívar, Córdoba, El Guamo, María la Baja, San Jacinto, San Juan Nepomuceno, Zambrano.
Cesar	Becerril, Chimichagua, Curumaní, La Jagua de Ibirico, Pailitas, Tamalameque, Astrea, Bosconia, El Copey, El Paso, Agustín Codazzi, La Paz, Manaure, Pueblo Bello, San Diego, Valledupar, Aguachica, Gamarra, González, La Gloria, Pelaya, Río de Oro, San Alberto, San Martín.
Córdoba	Tierralta, Valencia, Chimá, Cotorra, Lorica, Momil, Purísima, Montería, los córdobas, Monitos, Puerto Escondido, San Antero, San Bernardo del Viento, Chinú, Sahagún, San Andrés Sotavento, Ayapel, Buenavista, La Apartada, Montelibano, Planeta Rica, Pueblo Nuevo, Puerto Libertador, Cereté, Ciénaga de Oro, San Carlos, San Pelayo.
La Guajira	Albania, Dibulla, Maicao, Manaure, Riohacha, Uribe, Barrancas, Distracción, El Molino, Fonseca, Hatonuevo, La Jagua del Pilar, San Juan del Cesar, Urumita, Villanueva,
Magdalena	Ariguaní, Chibolo, Nueva Granada, Plato, Sabanas de San Ángel, Tenerife, Algarrobo, Aracataca, Ciénaga, El Retén, Fundación, Pueblo Viejo, Zona Bananera, Cerro San Antonio, Concordia, El Piñón, Pedraza, Pivijay,

Departamento	Municipio
	Remolino, Salamina, Sitio nuevo, Zapayan, Santa Marta, El Banco, Guamal, Pijiño del Carmen, San Sebastián de Buenavista, San Zenón, Santa Ana, Santa Barbara de Pinto.
Sucre	Guaranda, Majagual, Sucre, Chalán, Coloso, Morroa, Ovejas, Sincelejo, Coveñas, Palmito, San Onofre, Santiago De Tolú, Tolú Viejo, Buenavista, Corozal, El Roble, Galeras, Los palmitos, Sampués, San Juan Betulia, San Pedro, Sincé, Caimito, La Unión, San Benito Abad, San Marcos.

Nota. La información de la tabla se obtuvo de (DANE, 2025).

Teniendo en cuenta la distribución territorial y administrativa de estos departamentos y municipios, es pertinente analizar cómo su ubicación y características impactan el desarrollo de proyectos eólicos en la región. Ante los retos que enfrente el país en la diversificación de su matriz energética y el aprovechamiento insuficiente del potencial eólico de esta región, se busca proponer directrices que promuevan la sostenibilidad, viabilidad y cumplimiento normativo de estas iniciativas (Gutiérrez & Olarte, 2020).

El análisis contempla tres ejes principales la caracterización técnica basada en el análisis climatológico de la región, la evaluación económica mediante un análisis costo-beneficio y la creación de lineamientos socioambientales conforme a la normatividad ambiental vigente (Comisión Europea, 2001). Estos elementos, estructurados bajo el método de marco lógico, permitirán una gestión más eficiente de los proyectos, fomentando la transición hacia energías renovables y el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales en Colombia (UPME, 2024).

1.1 Planteamiento del Problema/Caso de Negocio

En los últimos tiempos, Colombia ha confrontado retos significativos en su área energética, específicamente en la diversificación de su matriz energética y la disminución de su dependencia

de fuentes no renovables (UPME, 2024). Aunque los avances en energía hidroeléctrica, en el país dependen en gran disposición de los combustibles fósiles, esto plantea inquietudes ambientales y seguridad energética a largo plazo.

De acuerdo con XM (2024), para el mes de marzo la capacidad útil del embalse en Colombia cerro en 45,43% de la media histórica, reducción constante dado las condiciones del fenómeno del niño que ocurre en el país, desde el punto de vista de agregados del embalse a sistema de energía eléctrica se estableció en un 31,51% de su volumen útil, 12.3 puntos por debajo comparado con lo que fue para el mes de febrero de 2024 siendo de 43,81%. Estas cifras demuestran que Colombia debe diversificar su matriz energética y optar por otras energías como la eólica (UPME, 2024).

Además, un estudio hecho por Acolgen (2024) describe que la potencia eléctrica es distribuida de la siguiente manera las hidroeléctricas aportan 68.3%, centrales eléctricas un 30.7%, la energía solar y eólica un 0.1% y la cogeneración cerca del 1%.

A nivel mundial la energía eólica muestra un crecimiento activo, de acuerdo con Global Wind Energy Council (GWEC) para el año 2022 el mundo llegó a situarse en 908 GW instalados siendo China, Alemania, Estados Unidos, España e India los principales mercados (AEE, 2024).

La Costa del Norte de Colombia, con su amplia línea costera y escenarios climáticos favorables, se exhibe como un potencial considerable para el desarrollo de proyectos basados en energía eólica, a pesar de ello este recurso se mantiene sin ser explorado. Análisis preliminares apuntan que la zona norte de Colombia llega a velocidades del viento entre 5 y 15 nudos y con una altura significativa que ronda entre los 0.5 y 1.5 metros (Dimar, 2024). Además, estudios recientes señalan que este sitio cuenta con un potencial estimado de 109 GW (Ministerio de Minas y Energía, 2021).

Para Colombia, la Ley 1715 de 2014 y sus consiguientes modificaciones han generado un marco legal propio para el desarrollo de energía renovables (República de Colombia, 2020). No obstante, la carencia de estudios detallados sobre la viabilidad del potencial eólico marino ha limitado el desarrollo de proyectos. El desarrollo de energías renovables en Colombia está respaldado por un conjunto de leyes y decretos que establecen los lineamientos básicos para la implementación de proyectos de energía eólica. Entre los principales instrumentos normativos se encuentran:

La *Ley 1715 de 2014* fomenta el desarrollo y la integración de energías renovables no convencionales en el sistema energético nacional. Define incentivos tributarios y arancelarios para la generación de energía a partir de fuentes renovables (República de Colombia, 2020).

El *Decreto 0570 de 2018* reglamenta los mecanismos de participación en el mercado eléctrico de las energías renovables y establece lineamientos para su incorporación en la matriz energética del país (República de Colombia, 2015).

La *Resolución CREG 075 de 2021* establece las condiciones para la conexión de proyectos de energía renovable al Sistema Interconectado Nacional (SIN), facilitando la inclusión de energías eólicas y solares.

La *Resolución UPME 2022* define los requisitos para la planeación y adjudicación de proyectos energéticos renovables en Colombia.

Según un informe de la UPME el número total de proyectos vigentes en Colombia respecto a energía eólica son 31, siendo la Guajira con el mayor número de proyectos este con 19, seguido del Magdalena con 5 proyectos, Atlántico con 3 proyectos, Bolívar con 2 proyectos, Cesar y Córdoba ambos con 1 proyecto en el que la suma de todos los proyectos genera una capacidad de 8372 MW (UPME, 2024).

La falta de una evaluación sobre el potencial eólico marino en Colombia limita la toma de decisiones sobre la viabilidad de aplicar plantas eólicas en la región. Esta falta de información actualizada y detallada se presenta como una barrera para el progreso del país y el beneficio de los recursos naturales renovables.

Partiendo de lo anterior, se presenta la siguiente pregunta problema ¿Cómo pueden gestionarse los proyectos de energía eólica en la Costa Norte de Colombia?

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Formular lineamientos técnicos, jurídicos, financieros y socioambientales para el desarrollo de proyectos de energía eólica en la Costa Norte de Colombia, utilizando el Método del Marco Lógico como herramienta estructural, con el propósito de promover la sostenibilidad y viabilidad de estas iniciativas.

2.2 Objetivos específicos

Establecer los lineamientos técnicos mínimos para el desarrollo de proyectos de energía eólica en la Costa Norte de Colombia, mediante el análisis climatológico de la región, con el propósito de caracterizar su potencial.

Evaluar la viabilidad económica estableciendo los lineamientos jurídicos y financieros mínimos para el desarrollo de los proyectos de energía eólica en la Costa Norte de Colombia, a partir de la evaluación costo beneficio.

Determinar los lineamientos socioambientales que deben cumplir los proyectos de energía eólica en la Costa Norte de Colombia, basados en el análisis de la normatividad ambiental vigente y en las dinámicas sociales del territorio, con el fin de garantizar su sostenibilidad e integración con las comunidades locales.

3. Marco referencial

Esta sección proporciona los fundamentos teóricos, conceptuales y legales que sustentan la investigación, integrando antecedentes y normatividad relacionada con el desarrollo de proyectos de energía eólica.

3.1 Marco teórico

3.1.1 *Energía eólica.*

Esta energía es generada a partir de la fuerza ejercida por el viento, esto por medio de aerogeneradores que transforma la energía cinética de las corrientes de aire en energía eléctrica. El proceso de conversión es generado especialmente a través del rotor, que convierte la energía cinética en mecánica, y del generador, que transforma en energía mecánica en eléctrica (Iberdrola, 2024). Según Pradillo (2018) las principales ventajas y desventajas de este tipo de energía son:

Ventajas:

- Una energía segura y renovable
- No se alimenta con agua, importante en zonas donde escasea el recurso
- La construcción no altera el terreno, por lo que desinstalarla permite su recuperación completamente
- En su funcionamiento no genera gases efecto invernadero
- Los residuos vienen dados en su construcción y los aceites
- Genera empleo local y diversificación rural, además de eliminar dependencia de mercados extranjeros
- Instalación rápida

Desventajas:

- Cambios al paisaje, genera un impacto visual
- Aumento del sonido dado por el contacto de las palas con el aire
- Choque las aves con las palas
- Al ser una energía renovable, depende de la disponibilidad del viento

3.1.2 Aerogenerador.

Según Enel: Green Power (2024) estos aerogeneradores poseen unos componentes principales y estos son:

- *Los cimientos:* Son bloques de hormigón pesados y grandes que se ponen en el suelo para sostener el aerogenerador y las fuerzas ejercidas sobre él, para aerogeneradores marinos los cimientos están bajo el agua.
- *Torre:* Normalmente es de acero, pero a veces es de madera, está compuesta por tres secciones y se monta en el lugar. Su altura es comparada al diámetro del círculo que forman las aspas al girar y comprende los cables de alimentación que conectan la góndola con el transformador en tierra.
- *Góndola:* Ubica en la parte alta de la torre, puede girar 360° para orientarse según la dirección del viento. Dentro de ella se encuentran componentes mecánicos esenciales como la caja de engranajes y el generador.
- *Rotor:* Este llega a tener dos o tres palas, se conecta al buje, el cual es la parte central que las palas a la góndola. Estas palas tienen una longitud media de 52m, generan sustentación al crear una diferencia de presión en el aire, lo que genera que el rotor gire cuando la sustentación supera la resistencia

Además, de los componentes principales existen más partes como las que se pueden observar a continuación en la siguiente Figura 2 :

Figura 2. *Aerogenerador y sus diversos componentes,*



Nota. Tomado de Muñoz (2023).

Tipos de aerogeneradores. Según Martos (2023) existen dos tipos de aerogeneradores basados en su eje de rotación, estos son:

Aerogenerador de eje vertical: Son dispositivos cuyo eje se encuentra en posición perpendicular respecto a la dirección del viento, entre sus principales ventajas se destaca su fácil acceso, lo que simplifica tareas de mantenimiento y la ausencia de necesidad de sistemas de orientación o mecanismos para ajustar el ángulo de las palas. Sin embargo, algunos modelos requieren sistemas externos para iniciar su funcionamiento y suele presentar menor eficiencia en comparación a otros aerogeneradores.

Aerogenerador de eje horizontal: Su eje de rotación se encuentra alineado de manera paralela con la dirección del viento, por otra parte, sus diferencias respecto a los de eje vertical radican en su capacidad de arrancar de forma autónoma y contar con un mecanismo de orientación

(Martos, 2023). También, su funcionamiento depende significativamente de la dirección del viento, razón por la cual suelen instalarse a mayores alturas para maximizar su rendimiento.

3.1.3 Control y regulación.

Romay (2016) entre los sistemas más empleados para control y regulación de la potencia del rotor se encuentran:

Control activo de ángulo de paso variable (Pitch control): Este sistema se ajusta al coeficiente de potencia girando las palas alrededor de su eje longitudinal, en donde, cuando la turbina opera por debajo de su potencial nominal, el control optimiza el ángulo de ataque para extraer la máxima energía del viento y si supera la potencia nominal se reduce el ángulo de ataque para disminuir el rendimiento y disipar el exceso de energía mediante pérdidas aerodinámicas.

Control activo por pérdida aerodinámica (Active stall control): Este control se caracteriza por provocar cambios más abruptos en la eficiencia aerodinámica de la turbina con cada grado de ajuste en el ángulo de ataque de las palas, lo que permite regular la potencia con ajustes más pequeños en dicho ángulo.

Control pasivo por pérdida aerodinámica (Stall control): En este sistema, las palas están firmemente fijadas al buje del rotor, sin la posibilidad de un movimiento independiente, además la regulación de la potencia se logra gracias al diseño del perfil aerodinámico de las palas, que incrementa las pérdidas aerodinámicas a medida que aumenta la velocidad del viento.

Control de desorientación de la turbina (Yaw control): Este sistema controla la potencia desalineando la turbina eólica respecto a la dirección del viento.

3.1.4 Relaciones de velocidad y potencia.

Patel & Beik (2023) la energía cinética de una masa de aire que se mueve a una velocidad específica se calcula mediante la Ecuación 1:

Ecuación 1 Energía cinética:

$$EC = \frac{1}{2}mV^2 \quad (1)$$

En cuanto a la potencia del aire en movimiento, que corresponde a la tasa de flujo de esa energía cinética, se expresa en la Ecuación 2

Ecuación 2 Potencia:

$$Potencia = \frac{1}{2} (\text{flujo masico por segundo})V^2 \quad (2)$$

El flujo volumétrico se determina multiplicando el área barrida por las palas del rotor, multiplicando la velocidad del aire $A \cdot V$, el flujo másico del aire es igual $\rho \cdot A \cdot V$. Por último, la potencia mecánica del viento se deriva de combinar estos valores, expresándose en vatios, su Ecuación 3 es:

Ecuación 3 Potencia mecánica:

$$P = \frac{1}{2}(\rho AV)V^2 = \frac{1}{2}\rho AV^3 \quad (3)$$

Donde:

P = Potencia del viento circundante (Vatios)

ρ = Densidad del aire (kg/m^3)

A = Área barrida por las palas del rotor (m^2)

V = Velocidad del viento (m/s)

3.1.5 Distribución probabilística de Weibull.

La función de distribución de probabilidad continua, expuesta por Waloddi Weibull en 1951, esta esquematizada para la energía eólica dado su flexibilidad. Esta función permite ajustar los parámetros que definen las características del viento y la región, ajustándose de manera efectiva a los datos experimentales (De Ávila, et ál., 2022).

Su Ecuación 4 viene expresada de la forma:

Ecuación 4 Weibull:

$$f(c) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c}\right)^{K-1} \exp - \left[\frac{v_{prom}}{c}\right]^K \quad (4)$$

El parámetro de K, es adimensional, este se puede determinar de la siguiente manera (De Ávila, et ál., 2022) (Ecuación 5):

Ecuación 5 Determinación de k:

$$k = \left(\frac{\sigma}{v_{prom}}\right)^{-1.086} \quad (5)$$

En este contexto, sigma (σ), representa la desviación estándar derivada del análisis de la gráfica de velocidad en función del tiempo (De Ávila, et ál., 2022). Por otra parte, el factor de escala tiene las mismas unidades que velocidad (m/s) y su Ecuación 6 es:

Ecuación 6 Determinación de C:

$$C = \frac{v_{prom}}{y(1+\frac{1}{k})} \quad (6)$$

Mediante la determinación de los componentes K y C se reemplaza estos valores para la Ecuación 4, determinando el recurso eólico del área (De Ávila, et ál., 2022).

3.1.6 Costo beneficio.

Es una herramienta de toma de decisiones que busca evaluar un curso de acción al cuantificar los beneficios potenciales en términos monetarios o equivalente, además este método es ampliamente utilizado, especialmente en el sector privado, para determinar la viabilidad de

proyectos, ya que ofrece una metodología sólida para justificar su implementación (Lara & Franco, 2017). Existen diversos métodos abordados para evaluar el costo-beneficio, uno de ellos es mediante la siguiente Ecuación 7:

Ecuación 7 Costo-beneficio:

$$PE = \frac{\text{Costos fijos totales}}{\text{Precio} - \text{Costo variable}} \quad (7)$$

3.1.7 Innovación tecnológica y patentes en energía eólica.

A nivel internacional, se han observado innovaciones principalmente en el contexto de la utilización de materiales piezoeléctricos para la conversión de la energía del viento en electricidad. Entre las principales innovaciones se encuentra el desarrollo de *harvester* (recolectores) que aprovechan fenómenos como la vibración inducida por *vortex*, *flutter* (suspensión oscilante) y *galloping* (vibración por cavitación), los cuales ayudan a captar energía a partir de diferentes patrones de flujo de viento. Además, se mencionan avances en el diseño de estructuras, como vigas en forma de curva exponencial y sistemas que optimizan la conversión mediante circuitos específicos para maximizar la generación de energía, sin necesidad de utilizar las turbinas tradicionales (Ali et al., 2024).

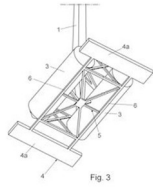
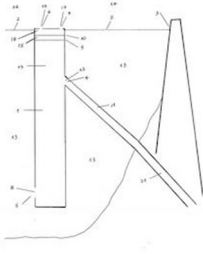
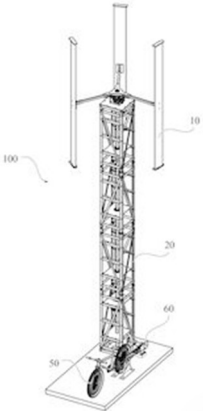
Así mismo, en países como Bahrein, Estados Unidos y otras zonas urbanas internacionales, se han desarrollado e implementado sistemas de energía eólica integrados en edificios con turbinas de eje vertical (VAWT) y sistemas lineales, los cuales son ideales para entornos urbanos por su bajo ruido y resistencia a turbulencias. Se han propuesto diseños innovadores, tales como fachadas con características aerodinámicas y sistemas omni-direccionales de guía de viento para mejorar el rendimiento. Además, la adopción de la inteligencia artificial y aprendizaje automático optimiza

la ubicación, diseño y operación de estas soluciones, aumentando su eficiencia en ciudades densas (Kwok & Hu, 2023).

Según un estudio realizado en Colombia por Grisales-Noreña et al. (2025), la energía eólica se percibe como una fuente de generación distribuida muy prometedora dentro de las microrredes eléctricas, debido a su bajo impacto ambiental y su potencial para disminuir los costos operativos. La integración de aerogeneradores permite producir electricidad localmente, aportando a una matriz energética sostenible y diversificada. En microrredes, puede funcionar conectada a la red principal o de forma aislada, según las condiciones y disponibilidad del viento. Su gestión inteligente, mediante algoritmos avanzados, optimiza la potencia activa para equilibrar oferta y demanda, minimizar pérdidas y mantener la estabilidad. La innovación se centra en modelos y estrategias de control que consideran la variabilidad del viento, las limitaciones técnicas y las restricciones del sistema, garantizando una operación eficiente y fiable en ambas modalidades (Grisales-Noreña et al., 2025).

En Colombia hay oportunidades para el desarrollo de la energía eólica, especialmente en el potencial del viento en áreas marítimas y costeras, donde aún no se ha explotado completamente. El país cuenta con recursos en el mar que podrían ser aprovechados para proyectos *offshore* (parques eólicos instalados en el mar), pero actualmente hay una falta de interés y datos limitados para su desarrollo, apoyados en la ausencia de políticas específicas y en la escasez de patentes relacionadas con esta tecnología, lo que indica un campo aún en etapa inicial para innovación y protección tecnológica (Rueda-Bayona et al., 2019). Sin embargo, en Colombia se encuentran tres patentes vigentes en estado “concedido” relacionadas con la energía eólica (ver Tabla 2).

Tabla 2. *Patentes vigentes relacionadas con energía eólica en Colombia*

Patente	Fecha de presentación	Figura característica	Titular
Plataforma flotante de aprovechamiento de energía eólica	05 jun. 2017		Saitec offshore technologies S.L.U.
Sistema generador de energía eólica que comprende un contenedor comunicado con un cuerpo de agua, medios de instalación de turbinas eólicas y métodos asociados	16 oct. 2020		Rodrigo Vejarano Fernández y Alejandro Muñoz Muñoz
Aparato de generación de energía eléctrica impulsado por tracción humana y energía eólica y método de generación de energía eléctrica a partir de una turbina eólica	03 nov. 2020		Universidad Autónoma de Bucaramanga

Nota. Las patentes se consultaron en la Super Intendencia de Industria y Comercio (2025).

3.1.8 Impacto ambiental de la energía eólica en Colombia.

Plan Energético Nacional 2020-2050 resalta que la eficiencia energética es uno de los pilares básicos para un sistema energético sostenible en Colombia. En este plan, se considera clave para garantizar el suministro de energía confiable y asequible, reducir las emisiones de gases de efecto

invernadero (GEI) y contribuir a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Así mismo, se establece que la adopción de nuevas tecnologías, buenas prácticas operacionales y el cambio de hábitos en el uso de recursos energéticos optimizan el aprovechamiento de la energía, reducen costos, aumentan la productividad y mejoran la calidad de vida de los colombianos (UPME, 2019).

De igual manera, el Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026, “Colombia, Potencia Mundial de la Vida”, menciona que es necesario impulsar las Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCER), tales como las energías solar, eólica, geotérmica, biomasa y pequeños aprovechamientos hidroeléctricos porque son un pilar de una transición energética sostenible. Este impulso busca reemplazar poco a poco la dependencia de combustibles fósiles por una matriz diversificada, limpia y respetuosa con la naturaleza, garantizando acceso universal a energía asequible, especialmente en zonas no interconectadas y comunidades vulnerables, mientras se promueve el desarrollo económico, la innovación tecnológica y la reducción de emisiones para alcanzar el carbono neutralidad en 2050 (Gobierno de Colombia, 2022).

3.2 Marco conceptual

Viabilidad: Es la probabilidad de que un acontecimiento llegue a suceder con éxito, además se conocen cuatro tipos de viabilidad técnica, económica, financiera y comercial (Arias, 2020).

Lineamientos: Se refiere a una inclinación, orientación o atributo distintivo de una situación o un fenómeno (Sierra, 2015).

Licencia ambiental: Es el permiso concedido por la autoridad ambiental para llevar a cabo un proyecto, actividad u obra, según lo establecido en la Ley y el Decreto 1076 del 2015, puede ocasionar impactos ambientales relevantes (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2024).

Impacto ambiental: Es el cambio, ya sea negativo o positivo, parcial o total, que ocurre en los sistemas ambientales como consecuencia de una actividad (Villegas, et ál., 2018).

Costa: Se define como la zona de transición entre las tierras emergidas y las aguas circundantes, ya sean en una isla o un continente, además representa el límite entre el terreno y el mar o cualquier cuerpo de agua extenso, (Rodríguez, 2022).

3.2.1 Método de marco lógico

Es una herramienta diseñada para simplificar la conceptualización, implementación, planificación y evaluación de proyectos (Ortegón, et ál., 2013). Además, se centra en una orientación hacia objetivos claros, el enfoque en los grupos beneficiarios, y la promoción de la participación y comunicación entre las partes involucradas. También, puede aplicarse en todas las etapas de un proyecto: desde la identificación y evaluación de actividades alineadas con los programas establecidos hasta el diseño sistemático y lógico de los proyectos, el monitoreo y su implementación, la evaluación de desempeño y revisión y el progreso alcanzado. En la Figura 3 se puede presenciar de manera grafica.

Figura 3. Metodología marco lógico.

Nota. Tomado Montalbán (2023).

Según Comisión Europea (2001) la metodología de marco lógico consta de dos etapas principales:

Identificación del problema y alternativas de solución: Se analiza la situación actual para establecer una visión futura deseada y definir estrategias que respondan a las necesidades de los beneficiarios. Esto incluye el análisis de involucrados, problemas, objetivos y estrategias.

Planificación: Se transforma la idea del proyecto en un plan operativo mediante la elaboración de la matriz del marco lógico, definiendo actividades, recursos y cronogramas.

3.3 Estado del arte

En este apartado se realizará una investigación con respecto a los proyectos eólicos en costas marinas, esto permitirá plantear una visión general con respecto al tema.

3.3.1 Antecedentes internacionales

En términos generales, los estudios previos sobre el desarrollo de la energía eólica han evidenciado su impacto positivo en la transición hacia matrices energéticas más sostenibles y diversificadas (Clementi, 2017). La implementación de esta fuente de energía renovable ha contribuido a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, al fortalecimiento de la seguridad energética y al impulso económico en regiones con condiciones favorables de aprovechamiento (Arias, 2020). Estas investigaciones destacan la energía eólica como alternativa clave frente a los retos del cambio climático, subrayando la necesidad de abordarla desde perspectivas técnicas, económicas y socioambientales para garantizar sus sostenibilidad e integración eficiente en los sistemas energéticos globales.

Por ejemplo, un estudio titulado “Estudio de viabilidad de un parque eólico marino en las costas españolas”, según Ruiz (2021) en su estudio realizó la metodología en donde incorporó la selección del emplazamiento, la disponibilidad del recurso eólico, el diseño de unas cimentaciones adecuadas y la selección de un aerogenerador apropiado. También, se realizó el diseño de la instalación eléctrica y la viabilidad económica del proyecto. En cuanto a resultados, teniendo en cuenta el punto de vista técnico, el parque obedece con los requerimientos necesarios, aunque para la viabilidad económica es indispensable contar con el apoyo de subsidios o ayudas, teniendo en cuenta que su inversión inicial es elevada. Esta investigación aporta un marco útil para entender como integrar criterios técnicos y económicos en el diseño y planificación de parques eólicos

Otro estudio realizado por Prado, et ál. (2016), este titulado “Estudio preliminar sobre la ubicación de un parque eólico marino en Panamá” utilizó la metodología de análisis de factores sociales, ambientales, económicos y turísticos de las regiones costeras del país, así como la de determinar la velocidad del viento en distintas zonas. Para esto, usó el software Earth, que consistió

en identificar los lugares con mayor potencial eólico, principalmente en las costas de Panamá Oeste, Bocas del Toro, Veraguas y Colon. Después, se recurrió al Atlas Ambiental del Ministerio de Ambiente y demás herramientas para excluir zonas en donde los factores mencionados paralizarían la viabilidad del proyecto. Los resultados obtenidos indicaron que la zona más adecuada para la instalación del parque eólico marino sería la Costa Arriba de Colon. Este estudio tiene una relación con el que se encuentra en curso ya que ambos estudios abordan la identificación de zonas adecuadas para la estructuración de proyectos eólicos teniendo en cuenta diversos factores como el socioambiental, técnico y económico.

Finalmente, el estudio titulado “Energía eólica y territorios en argentina. proyectos en el sur de la provincia de buenos aires entre fines del siglo XX y principios del siglo XXI” de Clementi (2017) analiza la evolución de los parques eólicos en la región de SUBA, utilizando la metodología mixta que combina enfoques cualitativos y cuantitativos. Los resultados identificaron una sinergia territorial entre el recurso eólico, la infraestructura energética y los estímulos estatales, lo que abre nuevas oportunidades para aprovechar el potencial eólico como potencial de desarrollo Clementi (2017). El estudio se relaciona con el que se encuentra en curso dado que ambos resaltan el aprovechamiento del recurso eólico en regiones costeras, resaltando la importancia de las políticas públicas y el apoyo institucional.

3.3.2 Antecedentes nacionales

La investigación titulada “Estudio de prefactibilidad para la construcción de un parque eólico offshore ubicado en Coveñas – Sucre” en donde Gutiérrez & Olarte (2020) tuvieron como objetivo presentar y proponer un conjunto de investigaciones de tipo operativa, exploratoria y de construcción para el desarrollo de un parque de energía no convencional. También se buscó la

implementación de una infraestructura que permita el aprovechamiento adecuado del recurso eólico para la población objeto de estudio, en donde la elección de la ubicación es crucial dado que se considera el factor de velocidad del viento con factor concluyente. Además, se revisan las propiedades de los materiales necesarios para la fabricación de la estructura en donde se tienen en cuenta aspectos positivos como negativos para determinar su viabilidad de implementación. En conjunto, ambos estudios subrayan la relevancia de la planificación detallada y el análisis de factores técnicos y operativos para asegurar el éxito de los proyectos eólicos.

Por otra parte, Lazzo (2019) en su estudio titulado “Estudio de pre - factibilidad de un parque eólico *offshore* para aumentar la capacidad energética del parque eólico Jepírachi” tuvo como objetivo incrementar la capacidad energética del parque eólico Jepírachi, en donde este perdió su función original y es utilizado para fines turísticos. Para llevar a cabo el estudio, se partió del análisis del potencial energético del parque, teniendo en cuenta los datos de velocidad del viento del área, seguido a esto se eligió la turbina eólica más adecuada para satisfacer las necesidades energéticas y teniendo en cuenta los costos de mantenimiento, construcción, instalación materiales y operación. En el análisis, se incluyó elementos de diseño como la ubicación, las condiciones del viento, la influencia en el área, la altitud y las fuerzas actuales con el fin de seleccionar la mejor turbina. Finalmente se realizó una evaluación económica sobre los costos de capital (CAPEX) y los costos de operación y mantenimiento. Ambos estudios enfatizan la importancia de realizar un análisis económico y un estudio de las condiciones locales, como la ubicación, las características del viento y las posibles influencias del entorno, para asegurar la viabilidad y sostenibilidad de los proyectos eólicos en la región.

Finalmente, el estudio titulado “Impacto ambiental en el desarrollo de proyectos de energía eólica en la región de la Guajira” de Quintana & Sarmiento (2023) utiliza una metodología mixta,

cualitativa y cuantitativa, para analizar los efectos de los proyectos eólicos en las comunidades indígenas Wayuu y proponer estrategias de mitigación basadas en casos exitosos de América. Se concluye que los proyectos eólicos generan impactos negativos a estas comunidades, especialmente en acceso al recurso y su bienestar social. Esta investigación se relaciona con la que se encuentra en curso, dado que ambas buscan aprovechar el recurso eólica en regiones costeras y destacan la importancia de integrar las necesidades y derechos de las comunidades locales.

3.4 Marco legal

Para este apartado se presenta una Tabla 3 que detalla la normatividad aplicable al tema tratado de la investigación, esto con fin de respaldar el cumplimiento de las regulaciones vigentes. Por otra parte, se asegura el desarrollo de proyecto alineado a los marcos legales propuesto y se promueva su sostenibilidad y viabilidad

Tabla 3. *Normatividad*

Norma	Función	Referencia
Resolución 40284 del 2022	Permiso de ocupación temporal en áreas marinas	(Republica de Colombia , 2022)
Ley 2099 del 2021	Transición energética	(Congreso de la republica, 2021)
Decreto 829 de 2020	Incentivos tributarios	(República de Colombia, 2020)
IEC 61400-1:2020	Estándares en energía eólica	(UNE, 2020)
IEC 61400-3-1:2019	Requisitos para los aerogeneradores	(UNE, 2021)
ISO 29400: 2015	Energía Eólica Marina.	(Intedya, 2015)
Decreto 1076 del 2015	Decreto único ambiental	(República de Colombia, 2015)
Ley 1715 de 2014	Se regula el sistema de energías renovables no convencionales al sistema energético	(Congreso de Colombia, 2014)

Decreto 2041 del 2014	Licencias ambientales	(República de Colombia, 2014)
Ley 143 de 1994	Se establecen características de la electricidad en el país	(Congreso de Colombia, 1994)
Ley 99 del 1993	Sistema Nacional Ambiental	(Congreso de Colombia, 1993)

Según Arias (2020) la estructuración jurídica de los proyectos de energía eólica en Colombia está determinada por un marco normativo que regula su planificación, implementación y operación. Esto implica el cumplimiento de regulaciones nacionales e internacionales que garantizan la sostenibilidad ambiental, la viabilidad financiera y la seguridad jurídica de las inversiones.

3.4.1 Marco regulatorio nacional.

El desarrollo de energías renovables en Colombia está respaldado por un conjunto de leyes y decretos que establecen los lineamientos básicos para la implementación de proyectos de energía eólica. Entre los principales instrumentos normativos se encuentran:

La *Ley 1715 de 2014* fomenta el desarrollo y la integración de energías renovables no convencionales en el sistema energético nacional. Define incentivos tributarios y arancelarios para la generación de energía a partir de fuentes renovables (Congreso de Colombia, 2014).

La *Resolución CREG 075 de 2021* establece las condiciones para la conexión de proyectos de energía renovable al Sistema Interconectado Nacional (SIN), facilitando la inclusión de energías eólicas y solares (UPME, 2024).

Resolución CREG 060 de 2019: Esta resolución introduce modificaciones y adiciones transitorias al Reglamento de Operación para permitir la conexión y operación de plantas solares fotovoltaicas y eólicas en el Sistema Interconectado Nacional (SIN). Establece, entre otros

aspectos, que el Centro Nacional de Despacho (CND) debe realizar pronósticos de generación para plantas eólicas conectadas al STN y STR en intervalos de 5 minutos para los siguientes 60 minutos durante el día de operación (UPME, 2024).

Resolución CREG 176 de 2021: Modifica disposiciones relacionadas con la asignación de Obligaciones de Energía Firme (OEF) para plantas de generación, incluyendo las eólicas. Establece procedimientos y requisitos que los generadores deben cumplir para participar en el mercado de energía firme (UPME, 2024).

Resolución CREG 075 de 2021: Define las condiciones regulatorias para la asignación de capacidad de transporte a generadores en el Sistema Interconectado Nacional (SIN), incluyendo proyectos de energía eólica. Establece criterios y procedimientos que deben seguir los involucrados en esta actividad (UPME, 2024).

La *Resolución UPME 2022* define los requisitos para la planeación y adjudicación de proyectos energéticos renovables en Colombia (UPME, 2024).

3.4.2 Licenciamiento ambiental y permisos.

El desarrollo de proyectos de energía eólica en la Costa Norte de Colombia requiere una serie de permisos ambientales y sociales que garanticen la sostenibilidad del proyecto. Entre los principales están:

La *Licencia Ambiental*, otorgada por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA), evalúa el impacto ambiental y otorga las licencias necesarias para la ejecución del proyecto (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2024).

La *Consulta Previa* es obligatoria en aquellas zonas donde existan comunidades indígenas o afrodescendientes, garantizando el respeto a sus derechos y cultura (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2024).

Las *Concesiones Marítimas*, necesarias para proyectos eólicos marinos, son otorgadas por la Dirección General Marítima (DIMAR) para el uso de los espacios marítimos nacionales (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2024).

3.4.3 Mecanismos de financiación y contratación.

La inversión en energía eólica en Colombia puede realizarse a través de diferentes esquemas financieros y de contratación, entre ellos:

Los *Incentivos Tributarios*, establecidos en la Ley 1715 de 2014, permiten a los inversionistas deducciones fiscales, exención de IVA y aranceles para la importación de tecnologías renovables (República de Colombia, 2020).

Los *Contratos de Compra de Energía (PPA)* son acuerdos a largo plazo entre generadores y compradores de energía que garantizan estabilidad financiera para los proyectos (República de Colombia, 2020).

Las *Subastas de Energías Renovables* son mecanismos promovidos por el gobierno colombiano para la adjudicación de contratos de energía limpia a precios competitivos (República de Colombia, 2020).

Las *Alianzas Público-Privadas (APP)* permiten que el sector privado y el Estado compartan riesgos y beneficios en la ejecución de proyectos de infraestructura energética (República de Colombia, 2020).

3.4.4 Retos y oportunidades en la regulación.

A pesar de la existencia de un marco regulador relativamente claro, el desarrollo de la energía eólica en Colombia enfrenta varios desafíos.

Uno de los principales retos es la *falta de normatividad específica para proyectos eólicos marinos*, ya que no existe un marco regulador claro para la explotación de este recurso en el mar (Arias, 2020).

La *tramitología extensa* es otro obstáculo, ya que el proceso de obtención de licencias y permisos puede ser prolongado, afectando la ejecución de proyectos en tiempos competitivos (Dimar, 2024).

Los *desafíos en infraestructura* también son una preocupación, ya que la interconexión de parques eólicos al SIN requiere mejoras en la infraestructura de transmisión (UPME, 2024).

En contraste, las oportunidades para la energía eólica en Colombia son considerables.

Existe un *potencial de 109 GW en la región norte*, según el Ministerio de Minas y Energía (2021), lo que la convierte en una región clave para la generación de energía eólica.

El *interés creciente de inversionistas internacionales* representa otra ventaja, ya que empresas extranjeras han mostrado interés en desarrollar proyectos de energía renovable en el país.

Finalmente, el *compromiso del gobierno con la transición energética* ha llevado a Colombia a ratificar compromisos internacionales de reducción de emisiones de carbono y a promover activamente el uso de energías limpias (Ministerio de Minas y Energía , 2021).

La estructuración jurídica de los proyectos de energía eólica en la Costa Norte de Colombia está respaldada por una serie de normativas que incentivan su desarrollo. Sin embargo, aún enfrenta desafíos en la reglamentación de la energía eólica marina y en la simplificación de procesos administrativos (Ministerio de Minas y Energía , 2021).

El fortalecimiento del marco legal y la implementación de incentivos adicionales podrían acelerar la adopción de este recurso y consolidar a Colombia como un líder en energías renovables en la región.

4. Análisis de Interesados -Involucrados

En el contexto de los proyectos de energía eólica, el análisis de involucrados e interesados es un paso importante la garantizar la sostenibilidad y el éxito. Por lo tanto, este proceso permite identificar, clasificar y priorizar partes interesados, tanto directas como indirectas, que puede influir o ser afectadas por el desarrollo del proyecto. Al comprender sus características, necesidades y niveles de interés, se pueden diseñar estrategias efectivas de comunicación y participación que promueven la aceptación social y el cumplimiento de los objetivos planteados

4.1 Identificación de los involucrados-interesados

En el desarrollo de proyectos de energía eólica, es fundamental identificar y analizar a los actores involucrados e interesados, ya que su participación influye directamente en la viabilidad y sostenibilidad de la iniciativa. En la Figura 4. *Identificación de los involucrados-interesado*.



se establece los principales influyentes del proyecto

Figura 4. *Identificación de los involucrados-interesado.*

4.1.1 Matriz de interesados-involucrados.

Según sinnaps (2020), la matriz de interesados-involucrados en un proyecto busca determinar el grado de influencia y relevancia que cada grupo asigna al desarrollo de la iniciativa. Posteriormente, este análisis se fundamenta en la evaluación de dos variables la importancia percibida del proyecto por cada involucrado y la fuerza de su participación en el mismo, siendo la combinación de estas variables da como resultado un valor numérico que varía de 1 a 5, donde 5 representa la máxima intensidad. Posteriormente, se clasifican los interesados en tres categorías: Favorecedores (Valores entre 25 y 9), Indiferentes (Valores entre 8 y -8) y opositores (valores

entre -9 y -25), lo que permite identificar el nivel de compromiso o resistencia de cada actor con respecto al proyecto. En la Tabla 4 se puede observar el análisis de los actores identificados.

Tabla 4. *Matriz de interesados-involucrados*

Actores involucrados	Expectativa	Fuerza	Resultante	Posición del potencial
Instituciones gubernamentales	5	5	25	Favorecedores
Empresas	4	4	16	Favorecedores
Comunidades locales	3	3	9	Favorecedores
Academia y centros de investigación	4	3	12	Favorecedores
Sector financiero	5	5	25	Favorecedores
ONGs	3	2	6	Indiferentes
Entidades de regulación internacional	4	4	16	Favorecedores
Proveedores de tecnología y equipos eólicos	5	5	25	Favorecedores
Consultoras especializadas en energía y medio ambiente	5	5	25	Favorecedores
Medios de comunicación y divulgación científica	4	4	16	Favorecedores
Organizaciones comunitarias y líderes locales	4	3	12	Favorecedores

De acuerdo con la Tabla 4 las instituciones gubernamentales y el sector financiero son los actores más influyentes y comprometidos con el proyecto, posicionándose como favorecedores con los mayores valores. Su apoyo será crucial para asegurar la viabilidad política, regulatoria y financiera del proyecto. Por otra parte, actores como las empresas, la academia y las entidades de regulación internacional son importantes, aunque en menor nivel de influencia, mientras que las ONGs y las comunidades locales tienen un papel relevante, pero con un impacto más limitado (sinnaps, 2020).

4.1.2 Criterios utilizados para la calificación de la matriz de interesados-involucrados.

La calificación de la matriz de interesados-involucrados presentada en la Tabla 4 se basa en la evaluación de dos variables principales: *la expectativa y la fuerza de participación* de cada actor respecto al proyecto. Estas variables permiten asignar valores que reflejan el grado de influencia, compromiso y relevancia de cada grupo de interés en el desarrollo de la iniciativa (sinnaps, 2020). A continuación, se explica detalladamente cada una de estas variables y cómo contribuyen a definir los valores plasmados en la matriz.

4.1.2.1 Expectativa. La expectativa hace referencia al nivel de interés que cada grupo de actores tiene en relación con el proyecto y a la percepción de los beneficios o impactos que podría generar. Esta variable mide la importancia que el proyecto tiene desde la perspectiva del involucrado (sinnaps, 2020), es decir, qué tanto espera este grupo que la iniciativa aporte resultados positivos o beneficios concretos.

Calificación de la Expectativa. Se utiliza una escala numérica de 1 a 5, donde:

- 5: Alta expectativa. El actor percibe que el proyecto es altamente relevante y tiene un interés elevado en su desarrollo y éxito.
- 4: Moderadamente alta. Existe un interés considerable en el proyecto, aunque no de máxima prioridad.
- 3: Expectativa media. El actor tiene interés en el proyecto, pero no lo percibe como crucial.
- 2: Baja expectativa. El proyecto tiene poca relevancia para el actor y su interés es limitado.

- *1*: Muy baja expectativa. El involucrado tiene nulo o casi nulo interés en los resultados del proyecto.

Las *instituciones gubernamentales* y el *sector financiero* tienen una calificación de **5** en expectativa porque perciben una gran relevancia en el éxito del proyecto, debido a los beneficios políticos, económicos y estratégicos que podría generar.

4.1.2.2 Fuerza de participación. La *fuerza de participación* mide la capacidad y disposición de cada grupo de actores para involucrarse activamente en el proyecto y contribuir con recursos, conocimientos, influencia o apoyo en su desarrollo (sinnaps, 2020). Esta variable evalúa el *poder de decisión, impacto o control* que cada actor tiene sobre los resultados del proyecto.

Calificación de la Fuerza de Participación. También se califica en una escala de 1 a 5, donde:

- 5: Fuerza máxima. El actor tiene una alta capacidad de participación y su apoyo o resistencia puede determinar el éxito o fracaso del proyecto.
- 4: Fuerza considerable. El actor puede influir significativamente en el desarrollo del proyecto, aunque no de manera determinante.
- 3: Fuerza moderada. El actor tiene una influencia media y su participación, aunque relevante, no es crítica.
- 2: Fuerza baja. El impacto del actor en el proyecto es limitado y su participación es menos influyente.
- 1: Fuerza mínima. El actor carece de poder o interés para influir en los resultados del proyecto.

El *sector financiero* tiene una calificación de **5** en fuerza de participación debido a su capacidad para proveer financiamiento esencial para la viabilidad económica del proyecto. De igual forma, las *instituciones gubernamentales* obtienen un **5** porque tienen el poder de decisión en materia regulatoria y política, lo que puede facilitar o bloquear el desarrollo de la iniciativa

4.1.2.3 Cálculo de la Resultante. La resultante es el producto de las dos variables mencionadas (sinnaps, 2020):

$$\text{Resultante} = \text{Expectativa} \times \text{Fuerza de Participación}$$

El valor obtenido de esta multiplicación determina la *posición potencial* del actor dentro del proyecto, clasificándolo en una de las siguientes categorías:

- *Favorecedores* (Valores entre 25 y 9): Actores con una alta expectativa y fuerte participación que respaldan el proyecto y lo consideran relevante.
- *Indiferentes* (Valores entre 8 y -8): Actores con un interés o influencia moderada, cuya participación no es determinante para el éxito del proyecto.
- *Opositores* (Valores entre -9 y -25): Actores con expectativas negativas y/o alta capacidad de resistencia, que pueden convertirse en una barrera para el desarrollo del proyecto.

Las *instituciones gubernamentales* y el *sector financiero*, con valores de 5 en expectativa y 5 en fuerza, alcanzan una resultante de 25, posicionándolos como favorecedores clave del proyecto.

Las *ONGs*, con valores de 3 en expectativa y 2 en fuerza, obtienen una *resultante de 6*, clasificándose como *indiferentes* debido a su bajo impacto y participación limitada.

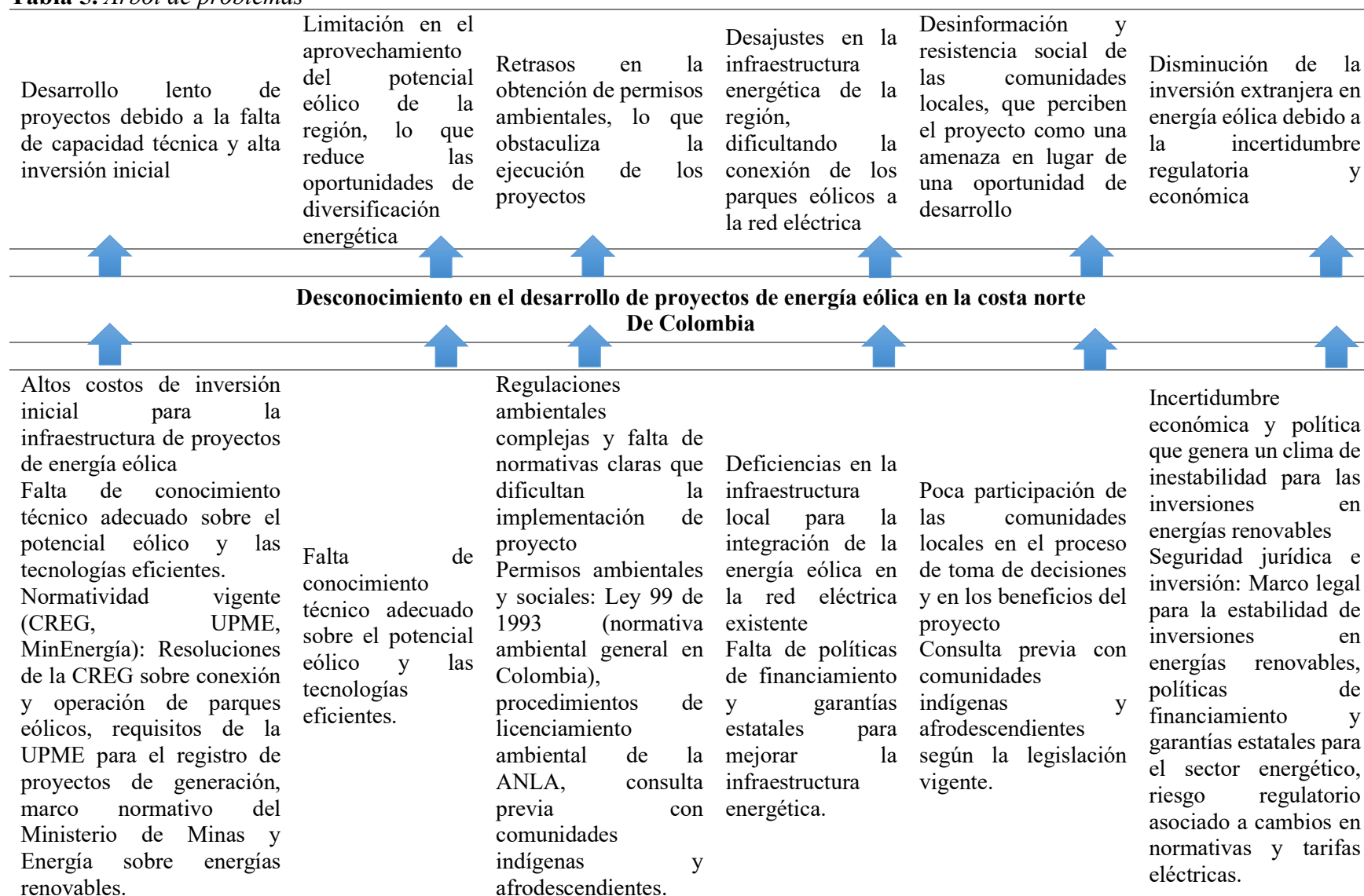
La calificación en la matriz de interesados-involucrados se realiza con base en dos variables principales: *expectativa* (interés y relevancia percibida) y *fuerza de participación* (capacidad de influencia y contribución). La combinación de estas variables permite obtener un valor resultante, que facilita clasificar a los actores en favorecedores, indiferentes u opositores (sinnaps, 2020). Este análisis es fundamental para identificar el grado de apoyo o resistencia de cada actor y, a su vez, desarrollar estrategias de gestión adecuadas que garanticen la viabilidad y éxito del proyecto.

5. Análisis del problema

En el contexto de este proyecto, realizar un análisis del problema es esencial para desarrollar lineamientos adecuados para los proyectos de energía eólica en la Costa Norte de Colombia. Este análisis permitirá identificar el problema central relacionando con la viabilidad técnica, económica y socioambiental de los proyectos, así como las causas y efectos asociados a los mismo (Villegas, et ál., 2018). Con base en esta comprensión, se podrán formular soluciones y estrategias que aseguren el éxito y la sostenibilidad de las iniciativas eólicas en la región.

5.1 Modelo árbol de problemas

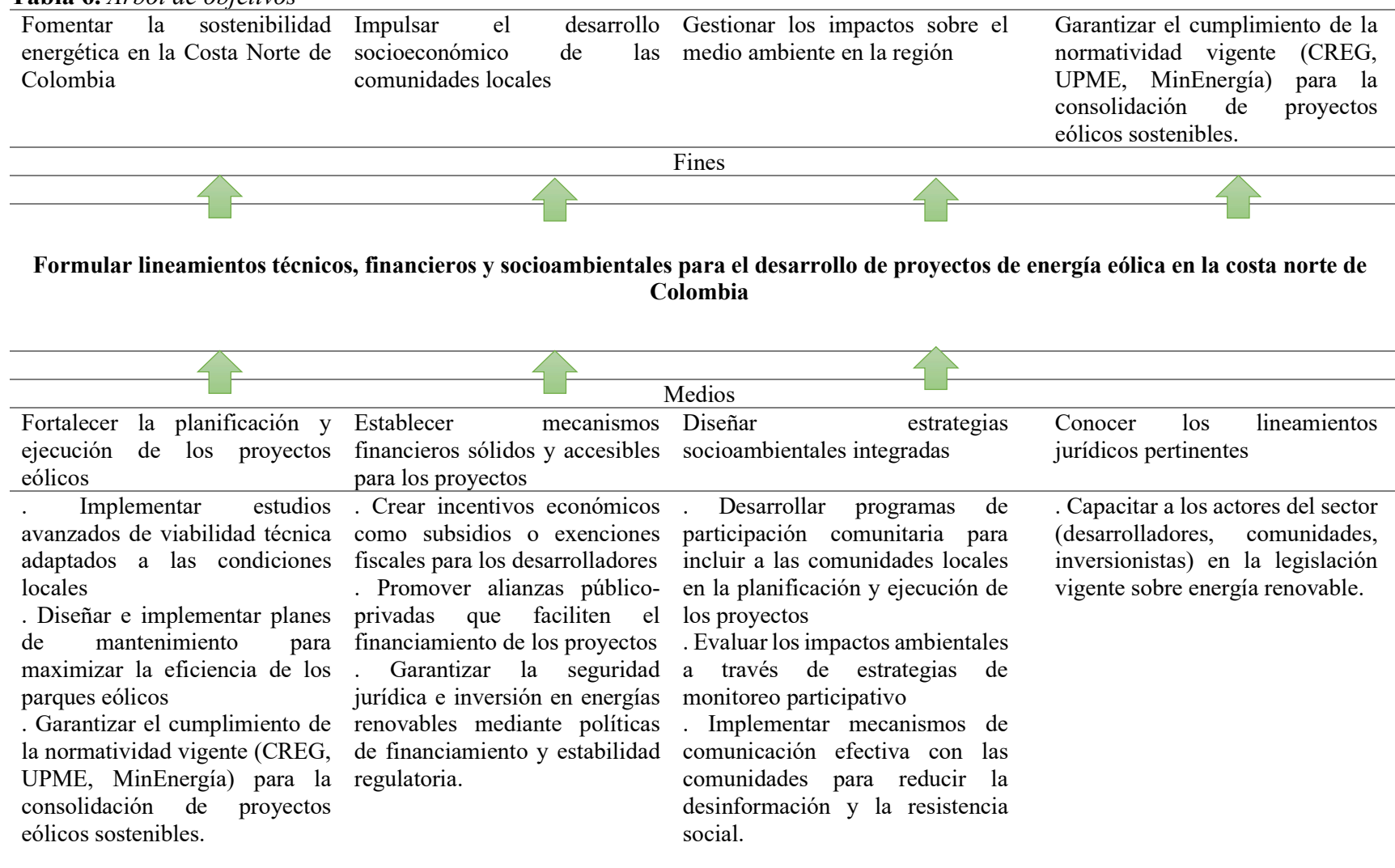
El árbol de problemas es una herramienta clave para desglosar y visualizar los aspectos más críticos del problema central de un proyecto, en este caso se busca identificar las causas que originan las dificultades en el desarrollo de proyectos de energía eólica, así como los efectos que estos pueden generar en la región (Gutiérrez & Olarte, 2020). En la Tabla 5 se encuentra el análisis del proyecto.

Tabla 5. *Árbol de problemas*

6. Análisis de objetivos

Partiendo del análisis anterior se busca convertir las causas en medios y los efectos en fines, lo que permitirá establecer los objetivos que guiarán la solución del problema. Con este enfoque, se busca abordar las limitaciones actuales y transformar la viabilidad de los proyectos de energía eólica en una oportunidad concreta de desarrollo sostenible (Ruiz, 2021). En la Tabla 6 se puede apreciar el árbol de objetivos

6.1 Modelo árbol de objetivos

Tabla 6. *Árbol de objetivos*

7. Análisis de Alternativas

7.1 Identificación de alternativas

Con base en la formulación del proyecto de energía eólica en la Costa Norte de Colombia, se identifican alternativas para abordar los retos técnicos, financieros, jurídicos y socioambientales asociados. Cada alternativa se estructura en componentes y actividades específicas, garantizando su alineación con los objetivos del proyecto y su implementación efectiva (Ortegón, et ál., 2013).

7.1.1 Alternativa 1: estudio integral para el desarrollo de proyectos eólicos en la Costa Norte de Colombia

7.1.1.1 Componentes y actividades. Componente 1: Evaluación técnica del potencial eólico.

- *Actividad 1.1:* Realizar un análisis climatológico para identificar las zonas con mayor potencial de generación eólica.
- *Actividad 1.2:* Implementar estudios técnicos para evaluar la infraestructura requerida para la construcción y operación de los parques eólicos.

Componente 2: Viabilidad económica y lineamientos jurídicos

- *Actividad 2.1:* Diseñar un esquema financiero que contemple incentivos fiscales, mecanismos de financiamiento accesibles y la integración de lineamientos jurídicos que aseguren el cumplimiento normativo y la estabilidad de las inversiones.

- *Actividad 2.2:* Evaluar la relación costo-beneficio para garantizar la rentabilidad y sostenibilidad del proyecto, considerando además el respaldo legal y regulatorio.

Componente 3: Impacto socioambiental

- *Actividad 3.1:* Desarrollar un programa de sensibilización comunitaria sobre los beneficios y oportunidades de la energía eólica.
- *Actividad 3.2:* Implementar estrategias de monitoreo participativo para la evaluación de impactos ambientales.

7.1.2 Alternativa 2: Creación de un Programa de Sostenibilidad Energética basado en Energía Eólica.

7.1.2.1 Componentes y actividades.

Componente 1: Planeación estratégica y regulación.

- *Actividad 1.1:* Revisar la normativa vigente para identificar barreras y oportunidades regulatorias.
- *Actividad 1.2:* Proponer lineamientos normativos que garanticen el cumplimiento de estándares técnicos, ambientales y jurídicos.

Componente 2: Fomento de alianzas público-privadas

- *Actividad 2.1:* Identificar y promover colaboraciones con empresas del sector energético, financiero y legal.
- *Actividad 2.2:* Establecer acuerdos para garantizar inversiones sostenibles y accesibles a largo plazo.

Componente 3: Participación comunitaria y educación ambiental

- *Actividad 3.1:* Incluir a las comunidades locales en la planificación de los proyectos, asegurando una distribución equitativa de los beneficios.
- *Actividad 3.2:* Diseñar campañas educativas para informar sobre los impactos positivos de la energía eólica en el desarrollo local.

7.2 Evaluación de alternativas

Para seleccionar la alternativa más adecuada para el desarrollo de proyectos de energía eólica, se emplea una evaluación ex-ante que permite comparar las opciones antes de su implementación, considerando su viabilidad técnica, económica (incluyendo los aspectos jurídicos), ambiental y social, así como la sostenibilidad y aceptación comunitaria. La evaluación se clasifica en tres niveles: alta, media y baja viabilidad.

En la Tabla 7 se puede observar el análisis de las dos alternativas identificadas anteriormente.

Tabla 7. *Evaluación de alternativas*

Criterio	Alternativa #1: estudio integral para el desarrollo de proyectos eólicos en la costa norte de Colombia	Alternativa # 2: creación de un programa de sostenibilidad energético basado en energía eólica
<i>Técnico</i>	Alta (Incluye análisis del potencial eólico e infraestructura requerida)	Alta (Se apoya en planeación estratégica y regulatoria)
<i>Económica y Jurídica</i>	Alta (Considera esquemas financieros, análisis costo-beneficio e integración de lineamientos jurídicos que garantizan estabilidad y cumplimiento normativo)	Media (Depende de acuerdos con terceros, lo que puede retrasar la implementación, y su componente jurídico es más general)
<i>Ambiental</i>	Alta (Incluye evaluación de impactos y monitoreo participativo)	Media (Se enfoca en normativa y participación comunitaria, sin estrategias específicas de mitigación)

Criterio	Alternativa #1: estudio integral para el desarrollo de proyectos eólicos en la costa norte de Colombia	Alternativa # 2: creación de un programa de sostenibilidad energético basado en energía eólica
<i>Social</i>	Media (Mejora la percepción del proyecto mediante sensibilización)	Alta (Fomenta la inclusión y educación ambiental de manera directa)
<i>Sostenibilidad</i>	Alta (Sustentada en estudios técnicos, financieros y jurídicos robustos)	Alta (Las alianzas público-privadas fortalecen su continuidad)
<i>Aceptación comunitaria</i>	Media (La divulgación y sensibilización mejoran la percepción, aunque la participación es limitada)	Alta (La inclusión activa de las comunidades fomenta compromiso y aceptación)

La Tabla 7 es un instrumento comparativo que evalúa dos alternativas propuestas para el desarrollo de proyectos de energía eólica en la Costa Norte de Colombia. En ella se analizan diversos criterios críticos, tales como:

- *Aspecto Técnico:* Se revisa la solidez y el detalle de los estudios técnicos (por ejemplo, análisis climatológicos e infraestructura), determinando cómo cada alternativa aborda estos requerimientos.
- *Viabilidad Económica y Jurídica:* Se evalúa la capacidad de cada alternativa para asegurar financiamiento, estabilidad en las inversiones y cumplimiento normativo, integrando incentivos fiscales y lineamientos jurídicos.
- *Impacto Ambiental:* Se comparan las estrategias de mitigación y monitoreo de impactos ambientales que ofrece cada opción.
- *Impacto Social:* Se analiza el grado de inclusión y participación comunitaria, así como la efectividad de las campañas de sensibilización y educación ambiental.
- *Sostenibilidad:* Se valora la capacidad de cada alternativa para asegurar beneficios a largo plazo, tanto en términos financieros como de continuidad operativa.

- *Aceptación Comunitaria:* Se observa cómo cada alternativa influye en la percepción y el compromiso de las comunidades locales.

Cada criterio se califica en niveles de viabilidad (alta, media o baja), permitiendo identificar claramente las fortalezas y debilidades de cada opción. De acuerdo con esta evaluación, la alternativa que obtiene mayor puntuación integral (en especial en aspectos técnicos, económicos y jurídicos) se considera la opción más viable para alcanzar los objetivos del proyecto.

7.3 Selección de la alternativa de solución

Luego de analizar ambas alternativas, se selecciona la *Alternativa 1: Estudio Integral para el Desarrollo de Proyectos Eólicos*, debido a su mayor pertinencia, eficiencia y capacidad de respuesta a los objetivos del proyecto.

Esta alternativa ofrece una base sólida desde el punto de vista técnico, respaldada por análisis climatológicos y estudios detallados sobre infraestructura. Además, contempla esquemas financieros robustos y lineamientos jurídicos específicos que aseguran el cumplimiento normativo y la estabilidad de la inversión, junto con estrategias de monitoreo ambiental.

Aunque la Alternativa 2 presenta ventajas en términos de impacto social y aceptación comunitaria, su dependencia de alianzas público-privadas y su enfoque jurídico más general la hacen menos robusta para garantizar una viabilidad económica completa y un respaldo legal sólido.

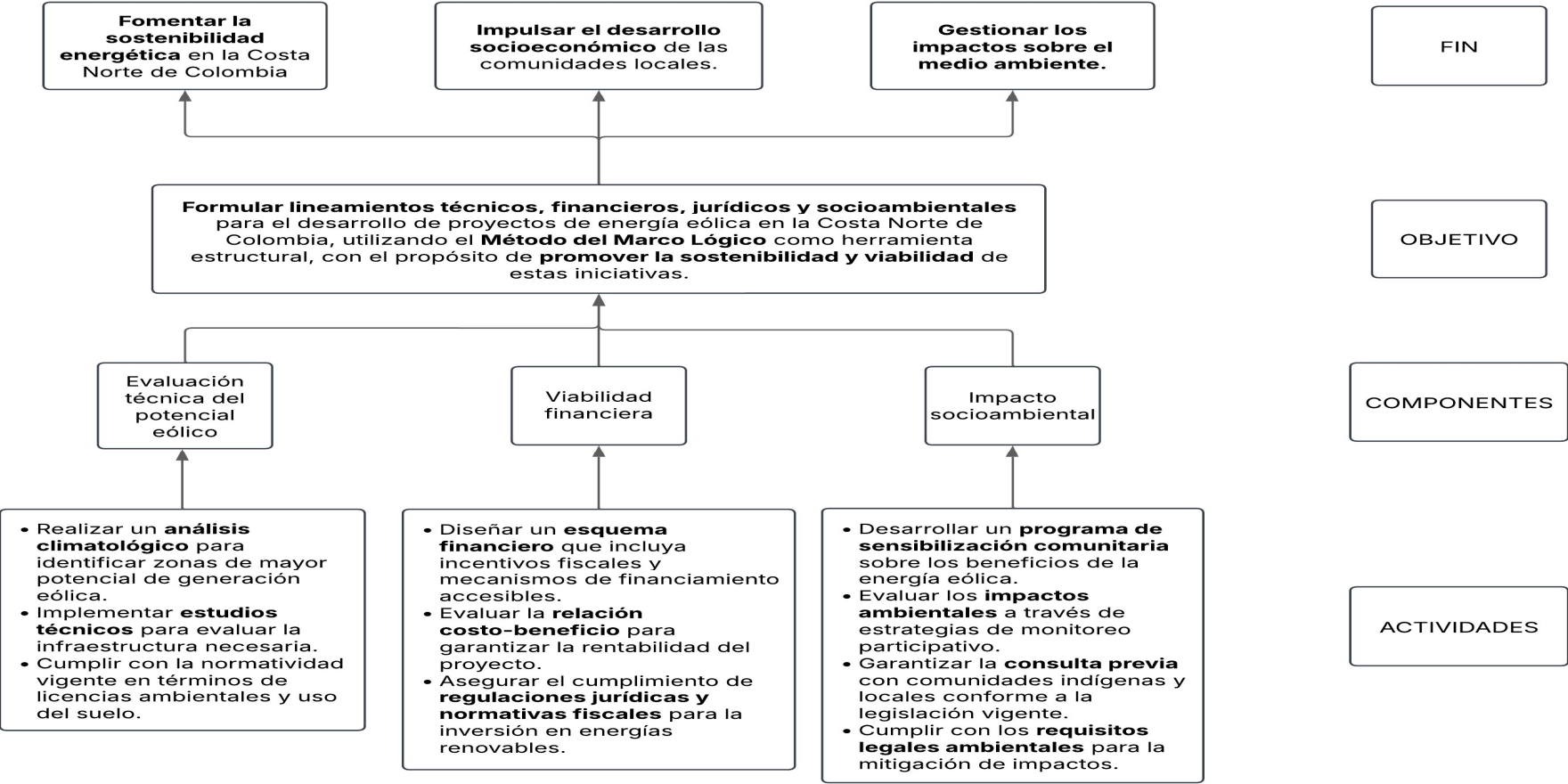
Por estas razones, la Alternativa 1 se considera la opción más viable para alcanzar los resultados esperados en el desarrollo de la energía eólica en la Costa Norte de Colombia.

8. Construcción del modelo analítico del proyecto

8.1 Estructura analítica

Partiendo del análisis previo y la alternativa seleccionada, en la siguiente Figura 5 se estructura el proyecto en cuatro niveles jerárquicos fin, propósito, componentes y actividades, con el fin de asegurar una planeación coherente y efectiva, integrando los lineamientos técnicos, financieros, jurídicos y socioambientales (Villegas, et ál., 2018).

Figura 5. Estructura analítica.



La actividad de evaluar la relación costo-beneficio para garantizar la rentabilidad del proyecto incorpora los lineamientos jurídicos pertinentes, lo que fortalece la viabilidad legal y económica de la iniciativa.

8.2 Matriz de marco lógico

La matriz de marco lógico es una herramienta esencial para estructurar y comunicar los elementos fundamentales del proyecto Lazzo (2019). Su diseño facilita la planificación y el seguimiento de los avances, organizando las acciones necesarias para formular los lineamientos técnicos, jurídicos, financieros y socioambientales para proyectos de energía eólica en la Costa Norte de Colombia. La matriz se compone de cuatro niveles jerárquicos que detallan, de manera ordenada, cómo las actividades propuestas contribuyen al logro de los objetivos del proyecto, especificando indicadores de medición, medios de verificación y supuestos clave, esto se puede observar en la siguiente

Tabla 8.

Tabla 8. *Matriz de marco lógico*

Nivel	Resumen narrativo	Indicadores	Medios de verificación	Supuestos
Fin	Fomentar la sostenibilidad en la Costa Norte de Colombia	% de reducción en el uso de fuentes no renovables en la región	Informes de sostenibilidad energética de la región	Se mantiene el interés de las personas y las partes interesadas
Propósito	Formular lineamientos técnicos, jurídicos, financieros y socioambientales para proyectos de energía eólica	Documento final con lineamientos publicados antes de X fecha	Copia del documento aprobado y difundido por las autoridades competentes	Se cuenta con la participación de las partes
Componentes (productos)	1. Evaluación técnica 2. Viabilidad financiera (incluyendo lineamientos jurídicos) 3. Impacto socioambiental	1. Análisis climatológico realizado e infraestructura necesaria 2. Esquema financiero diseñado y aprobado que cumpla con los criterios establecidos en la normativa respectiva 3. Programa de sensibilización desarrollo a la comunidad y evaluación de impactos ambientales a través de estrategias de monitoreo participativo	1. Informes técnicos y reportes de análisis 2. Informes con entidades financieras 3. Informes sobre la implementación de los programas de sensibilización y evaluación del impacto ambiental	Se cuenta con los recursos necesarios y la colaboración de las partes interesadas para la ejecución exitosa del proyecto

Nivel	Resumen narrativo	Indicadores	Medios de verificación	Supuestos
Actividades	Fase 1 -Recolección de datos climatológicos - Realizar un recorrido de campo para identificar posibles sitios con potencial eólico en la zona -Análisis de los componentes técnicos - Realizar un taller local para capacitar a técnicos y estudiantes en medición y análisis básico del recurso eólico.	-Datos climatológicos recolectados y procesados -Número de sitios identificados	-Informes de recolección de datos	
	Fase 2 -Diseño de esquemas financieros -Evaluación costo-beneficio para la rentabilidad del proyecto (incluyendo lineamientos jurídicos) - Hacer una recopilación de casos exitosos de proyectos eólicos similares en otras regiones del país para mostrarle a los aliados los beneficios económicos del proyecto. -Organizar una sesión de orientación con un experto local para explicar de manera sencilla las fuentes de financiamiento disponibles para proyectos eólicos.	-Número de personas capacitadas - Plan de infraestructura técnica y viabilidad financiera - Carpeta digital con fichas o resúmenes de cada caso de éxito con su hipotético análisis financiero adaptado a la región del proyecto.	-Informe de recorrido con ubicación georreferenciada y fotografías. -Documentos de planificación financiera -Resultados de la evaluación ambiental	Los recursos financieros y humanos estarán disponibles para cada fase del proyecto y las políticas ambientales vigentes
	Fase 3 -Desarrollar un programa de sensibilización comunitaria - Realizar una reunión comunitaria para informar sobre el proyecto y recoger observaciones y sugerencias. -Evaluación de impactos ambientales a través de estrategias de monitoreo participativo.	- Documento de la evaluación del impacto ambiental.	-Lista de asistencia y material de apoyo entregado.	

8.3 Resumen Narrativo

La presente sección tiene como objetivo describir de manera detallada el marco lógico del proyecto enfocado en fomentar la sostenibilidad energética en la Costa Norte de Colombia a través del desarrollo de proyectos de energía eólica (Villegas, et ál., 2018). Este resumen narrativo está estructurado en diferentes niveles: el fin, que representa el impacto general esperado del proyecto; el propósito, que plantea la meta específica a alcanzar; y los componentes o productos, que desglosan los resultados necesarios para cumplir con el propósito del proyecto. A su vez, se detallan las actividades necesarias para alcanzar dichos componentes.

8.3.1 *Fin.*

El fin del proyecto es *fomentar la sostenibilidad en la Costa Norte de Colombia*, promoviendo una significativa *reducción en el uso de fuentes no renovables* en la región. La Costa Norte, por sus características climáticas y geográficas, presenta un gran potencial para la implementación de proyectos de energía eólica, lo cual permitirá diversificar la matriz energética y disminuir la dependencia de combustibles fósiles. Al lograr esta meta, se espera contribuir al desarrollo sostenible, generando beneficios tanto ambientales como sociales y económicos. De este modo, el proyecto busca sentar las bases para una transición energética que impulse el progreso regional de manera equilibrada y responsable.

8.3.2 *Propósito.*

El propósito es formular un conjunto de *lineamientos técnicos, jurídicos, financieros y socioambientales* que sirvan como guía para la ejecución de proyectos de energía eólica en

la Costa Norte de Colombia. Dichos lineamientos serán fundamentales para que las autoridades y actores involucrados puedan garantizar la viabilidad técnica y financiera de los proyectos, minimizar los impactos negativos sobre las comunidades y el entorno, y asegurar el cumplimiento de *la normativa jurídica vigente*. Este proceso establecerá criterios claros para la planificación y ejecución de iniciativas de energía limpia, fomentando una participación de las partes interesadas y promoviendo un desarrollo integral y sostenible en la región.

8.3.3 Componentes o productos.

Para alcanzar el propósito del proyecto, se han identificado tres componentes clave que deben ser desarrollados y cumplidos.

8.3.3.1 Entregables.

- *Evaluación técnica:* análisis climatológico riguroso que permita determinar el potencial eólico de la región. A partir de esta evaluación, se establecerá la *infraestructura técnica necesaria* para la implementación de los proyectos de energía eólica, asegurando su eficiencia y efectividad.
- *Viabilidad Financiera y Jurídica:* diseño y estructuración de un esquema financiero que permita evaluar la rentabilidad y sostenibilidad económica de los proyectos. Este componente incluye el análisis costo-beneficio que *integra los lineamientos jurídicos pertinentes*, asegurando la factibilidad legal y atracción para inversores e instituciones financieras.

- *Impacto socioambiental:* desarrollo de un programa de *sensibilización comunitaria* que involucre a las comunidades locales en el proceso de transición energética. Además, se evaluará el impacto ambiental a través las estrategias de monitoreo participativo.

8.3.3.2 Actividades. Para cumplir con los componentes mencionados, el proyecto se desarrollará en tres fases:

Fase 1: Evaluación técnica.

- *Recolección de datos climatológicos:* se recopilará y analizará información sobre las condiciones climáticas de la región, con especial énfasis en el potencial eólico disponible.
- *Análisis de los componentes técnicos:* se determinarán los requisitos y especificaciones técnicas para la instalación de la infraestructura eólica necesaria.

Fase 2: Viabilidad financiera y jurídica

- *Diseño de esquemas financieros:* elaboración de modelos de financiamiento que aseguren la viabilidad económica del proyecto.
- *Evaluación costo-beneficio:* análisis integral de los costos y beneficios, incorporando lineamientos jurídicos que respalden la inversión.

Fase 3: Impacto socioambiental.

- *Desarrollo de un programa de sensibilización comunitaria:* se trabajará directamente con las comunidades locales, informando sobre los beneficios del proyecto y promoviendo su participación.

- *Evaluación de impacto ambiental:* se realizará la evaluación del impacto ambiental que se tiene en los proyectos de energía eólica, teniendo como estrategia el monitoreo ambiental participativo.

8.4 Indicadores

8.4.1 Indicadores de propósito.

- Publicación del documento final con los lineamientos técnicos, jurídicos, financieros y socioambientales antes de la fecha establecida.
- Aprobación y difusión del documento por parte de las autoridades competentes y las partes interesadas.

8.4.2 Indicadores de componentes.

- *Evaluación Técnica:* validación del análisis climatológico y definición del plan de infraestructura técnica.
- *Viabilidad Financiera y Jurídica:* diseño y aprobación de los esquemas financieros, junto con el análisis costo-beneficio que incorpora los lineamientos jurídicos.
- *Impacto Socioambiental:* implementación del programa de sensibilización comunitaria y evaluación del impacto ambiental mediante monitoreo participativo.

8.4.3 Indicadores de actividades.

- Datos climatológicos recolectados y procesados en la fase inicial del proyecto.

- Desarrollo de un plan de infraestructura técnica y de viabilidad financiera, completando los estudios de costos y beneficios incluyendo los lineamientos jurídicos pertinentes.
- Elaboración y publicación de un documento final de la evaluación de impactos ambientales.

8.5 Medios de Verificación

Para garantizar la transparencia y el cumplimiento de los indicadores, se han definido los siguientes medios de verificación:

- Informes técnicos y reportes de análisis climatológico, que servirán como evidencia de los estudios realizados en la fase técnica.
- Documentos de planificación financiera, incluyendo los esquemas y estudios de rentabilidad aprobados por las partes interesadas y las entidades financieras, que cumplan en su totalidad con los lineamientos jurídicos.
- Resultados de las evaluaciones ambientales y su impacto en el proyecto.

8.6 Supuestos

El éxito del proyecto depende de los siguientes supuestos:

- Se mantiene el interés y la disposición de las partes interesadas para participar activamente en el proceso de formulación e implementación del proyecto.
- Se cuenta con los recursos financieros y humanos necesarios para llevar a cabo cada una de las fases del proyecto de manera oportuna. Estos recursos están avalados y cumplen con la normativa vigente.

- Las políticas ambientales vigentes continúan siendo aplicables y respalda la evaluación ambiental y su impacto en el proyecto.
- Existe colaboración y coordinación entre las instituciones públicas y privadas, así como con las comunidades locales, para lograr los objetivos propuestos.

9. Recursos humanos, materiales y económicos

En este apartado se presenta el presupuesto considerado para la ejecución del proyecto, que incluye la identificación y estimación de los recursos humanos, materiales y económicos necesarios, este se puede apreciar a continuación en la siguiente Tabla 9.

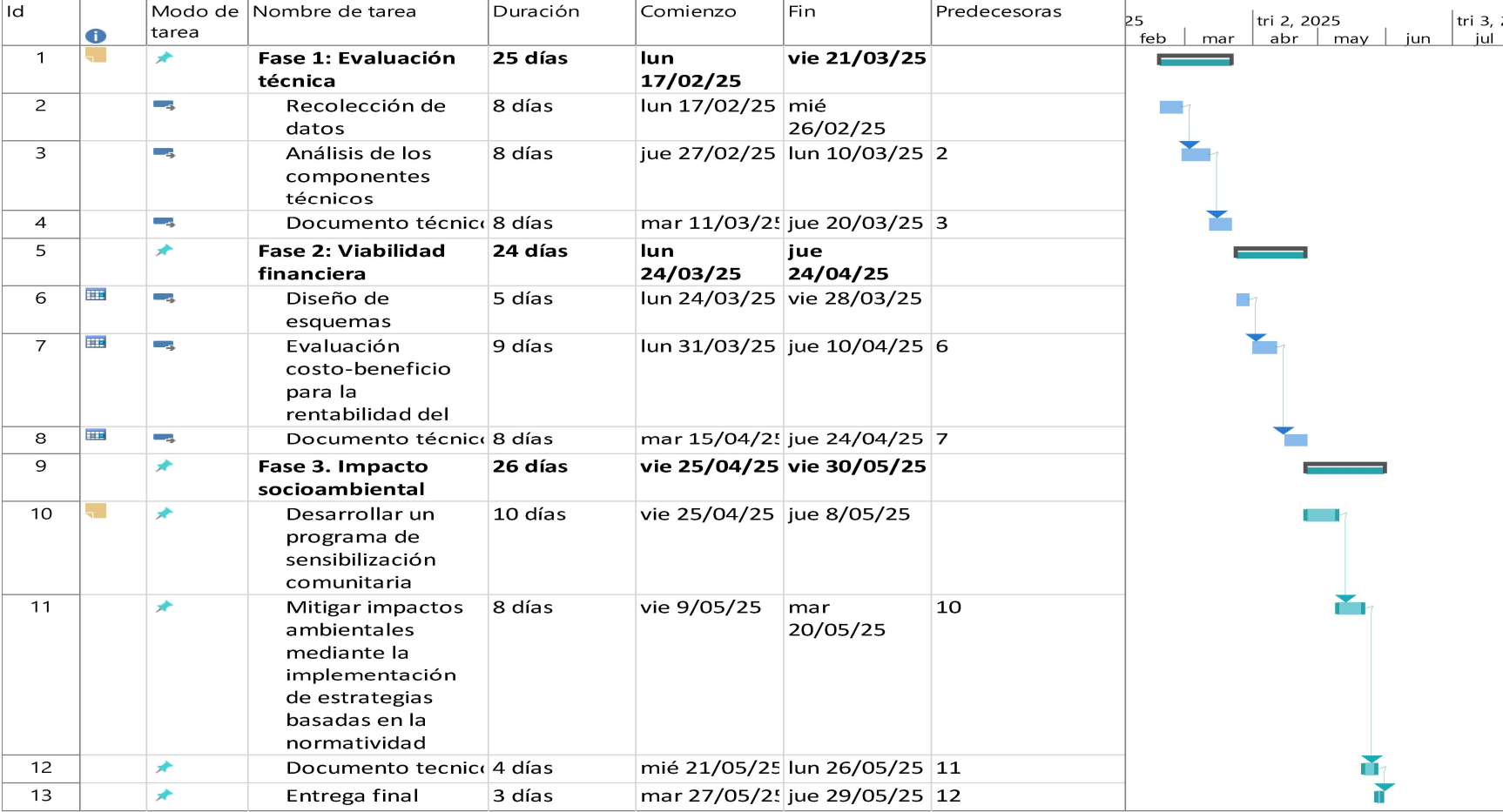
Tabla 9. Presupuesto

Presupuesto del proyecto	
<i>Rubro</i>	\$7.330.900
Nómina	\$4.962.000
<i>Descripción</i>	
* Estudiante 1: \$1.462.000	
* Director (a) del proyecto: \$3.500.000	
Materiales e insumo	\$19.900
<i>Descripción</i>	
* Material 1 (Resma de tamaño carta): \$16.119 = \$19.900	
Equipos	\$2.349.000
<i>Descripción</i>	
* Equipo 1 (Computador Portátil ASUS Vivobook 15.6" Pulgadas M1502YA): \$1.902.690 = \$2.349.000	
Infraestructura	\$0
Otros	\$0
<i>Valor total = \$7.330.900</i>	

10. Cronograma

Para este apartado se presenta el cronograma del proyecto, en donde se estructuran las actividades para alcanzar los objetivos propuestos, estableciendo tiempo específicos para su desarrollo y asegurando un avance ordenado y eficiente del proyecto, este se puede apreciar a continuación en la siguiente Figura 6.

Figura 6. Cronograma.



Nota. El diagrama fue generado en Microsoft Project en el 2025.

10.1 Fases del desarrollo del proyecto

Para el desarrollo del proyecto en curso, se estableció una Tabla 10 en la que se resume de manera clara y estructurada el desarrollo de cada uno de estos objetivos. Este enfoque permitirá una evaluación óptima del recurso eólico en la región Norte de Colombia mediante la formulación de lineamientos técnicos, financieros y socioambientales que guíen el desarrollo sostenible de estos proyectos

Tabla 10. *Fases del desarrollo del proyecto*

Fases	Actividades	Producto
Fase 1. Caracterización del recurso eólico	. Recolección de los datos climatológicos de fuentes confiables . Análisis técnico de la infraestructura eólica	. Tabla comparativa de las mejores zonas para proyectos eólicos . Recomendaciones sobre la infraestructura requerida
Fase 2. Viabilidad financiera (incluyendo lineamientos jurídicos)	. Diseño de esquemas financieros . Realizar de un análisis costo-beneficio para evaluar la viabilidad económica del proyecto que cumpla con la normativa vigente.	. Documentos con especificaciones técnicas y costos de las tecnologías recomendadas . Reporte financiero del análisis costo-beneficio
Fase 3. Impacto socioambiental	. Revisión y aplicación de la normativa ambiental vigente para proyectos eólicos en Colombia . Evaluación ambiental y su impacto en los proyectos de energía eólica a través del monitoreo participativo	. Informe socioambiental con la evaluación e impactos del medio ambiente en proyectos de energía eólica.

Fase 1. Caracterización del recurso eólico: Primeramente, se recopilarán datos climatológicos sobre el comportamiento del viento en la región Norte de Colombia, esto permitirá identificar las áreas con mayor potencial para el desarrollo de proyectos eólicos. Por otra parte, se realizará un análisis técnico de infraestructura disponible y las necesidades

específicas para implementar parques eólicos en dichas áreas. Los productos finales de esta fase serán una tabla comparativa que identifique las zonas más viables y recomendaciones sobre infraestructura necesaria, lo cual sentará las bases para el desarrollo de las próximas fases.

Fase 2. Viabilidad financiera: En esta fase se analizará la viabilidad económica de los proyectos eólicos mediante dos actividades principales el diseño de esquemas financieros y la realización de un análisis costo-beneficio que evaluará la rentabilidad y sostenibilidad del proyecto teniendo en cuenta la normativa por diferentes entidades competentes y relacionadas directamente con este tipo de proyectos. Como resultado, se generará un conjunto de documentos con especificaciones técnicas, normativas y estimaciones de costos asociados a las tecnologías recomendadas, además del reporte financiero que detalle los resultados del análisis costo-beneficio, esto permitirá evaluar si el proyecto es financieramente sostenible a largo plazo

Fase 3. Impacto socioambiental: Para esta fase se garantizará que el proyecto cumpla con los estándares legales y ambientales aplicables en Colombia, para ello, se revisará la normativa ambiental vigente y se aplicará al proyecto. Además, se evaluará el impacto ambiental a través del monitoreo participativo con la finalidad de identificar, detectar y proponer acciones de mejora, fortaleciendo la aceptación y sostenibilidad del proyecto.

11. Difusión y comunicación

La difusión y comunicación de los resultados y lineamientos desarrollados para el proyecto de energía eólica en la Costa Norte de Colombia son fundamentales para garantizar su visibilidad, comprensión y adopción. Una estrategia efectiva de comunicación permite involucrar a los actores clave, sensibilizar a las comunidades locales y asegurar que los resultados obtenidos sean conocidos y utilizados en futuros proyectos de desarrollo sostenible.

El objetivo principal de esta estrategia es divulgar de manera clara y accesible los lineamientos técnicos, financieros y socioambientales formulados. Con ello se busca promover la participación de las partes interesadas y facilitar la implementación de proyectos que impulsen la transición hacia fuentes de energía renovable. Los objetivos específicos incluyen la socialización de los resultados a través de distintos medios, la sensibilización de las comunidades locales sobre los beneficios de la energía eólica y la facilitación del acceso a la información a instituciones gubernamentales, sector privado, academia y sociedad civil.

La comunicación estará dirigida a diversos públicos clave que tienen un rol fundamental en el desarrollo de proyectos eólicos. Entre estos actores se encuentran las instituciones gubernamentales, encargadas de establecer políticas públicas y normativas necesarias para viabilizar los proyectos. El sector financiero también es un objetivo central, ya que su apoyo es indispensable para asegurar las inversiones que permitan implementar las infraestructuras requeridas. Por otro lado, las comunidades locales son actores esenciales, dado que su aceptación y participación contribuyen significativamente al éxito de los proyectos. El sector privado, representado por empresas y desarrolladores, jugará un papel importante en la ejecución técnica y operativa de los proyectos. Finalmente, se debe

involucrar a la academia y centros de investigación, actores clave en la generación de conocimiento técnico y en la optimización de tecnologías, así como a organizaciones no gubernamentales (ONGs) que pueden contribuir desde su experiencia en desarrollo social y ambiental.

Se elaborarán y distribuirán informes y materiales de divulgación, como documentos técnicos, resúmenes ejecutivos y material infográfico adaptado a diferentes niveles de comprensión. Estos materiales estarán disponibles en formato físico y digital, asegurando su accesibilidad y alcance. La información será presentada de manera clara y precisa para facilitar su uso por parte de instituciones gubernamentales, empresas y comunidades interesadas en implementar proyectos de energía eólica.

En conclusión, la estrategia de difusión y comunicación propuesta garantiza que los lineamientos formulados sean conocidos, aplicados y respaldados por los actores clave. Además, promueve la participación de las comunidades locales y otros interesados, contribuyendo a la sostenibilidad y éxito de los proyectos de energía eólica en la Costa Norte de Colombia. A través de estos esfuerzos, se espera generar un impacto positivo que fomente la transición hacia energías renovables y el desarrollo socioeconómico en la región.

12. Resultados

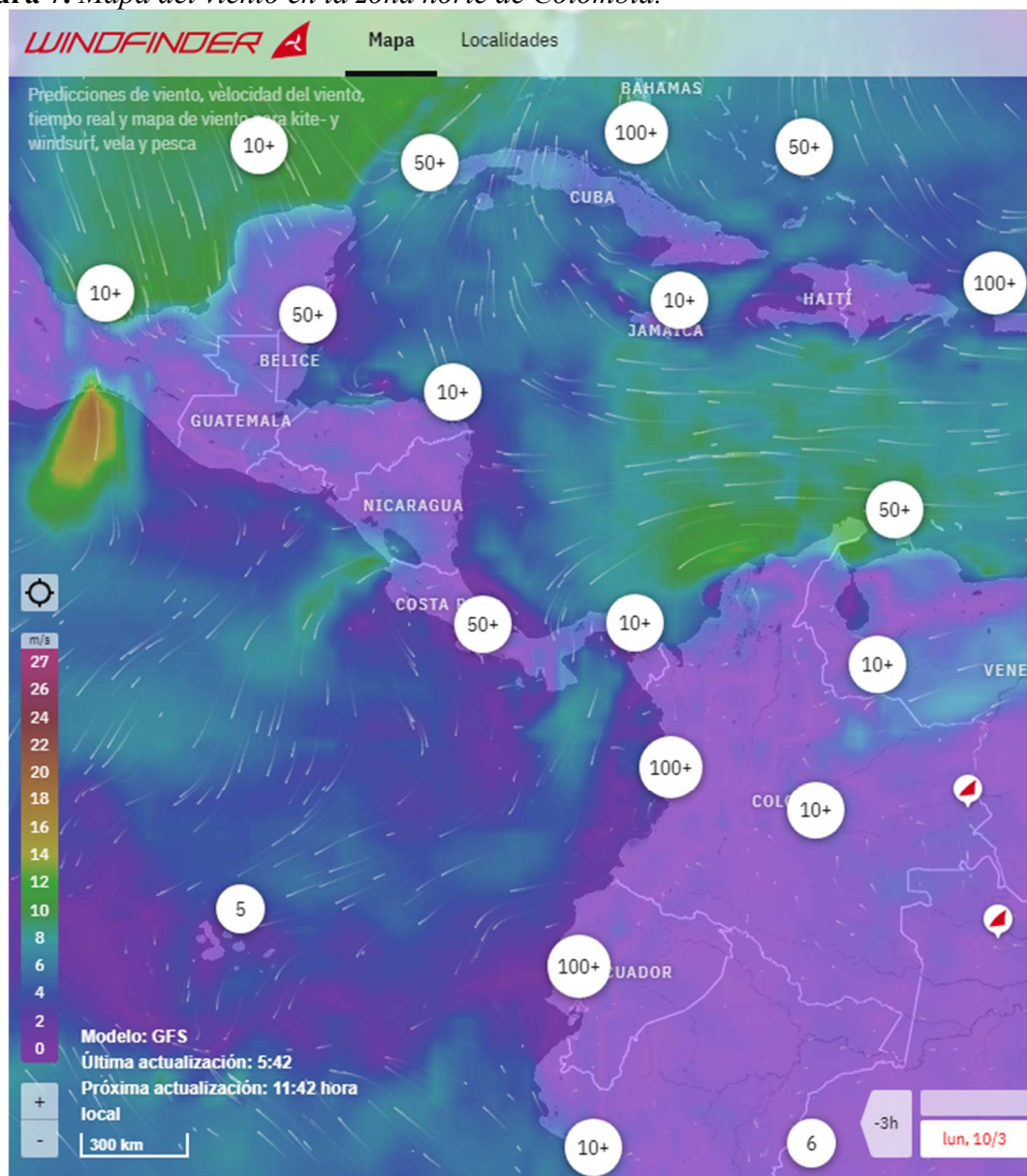
12.1 Lineamientos técnicos para el desarrollo de proyectos de energía eólica en la Costa Norte de Colombia

12.1.1 Caracterización del potencial eólico en la Costa Norte de Colombia.

Para establecer los lineamientos técnicos mínimos para el desarrollo de proyectos de energía eólica en la Costa Norte de Colombia, se realizó un análisis climatológico detallado de la región. Este estudio incluyó la recopilación de datos históricos de velocidad y dirección del viento, así como la aplicación de metodologías de modelado para evaluar la viabilidad del recurso eólico (Ministerio de Minas y Energía , 2021).

12.1.1.1 Datos climatológicos y análisis de velocidades del viento.

Los datos climatológicos fueron recopilados de estaciones meteorológicas en los departamentos de La Guajira, Atlántico, Magdalena y Bolívar (ver Figura 7). Se analizaron registros de velocidad del viento a diferentes alturas, identificando un rango promedio de 6 a 11 m/s en zonas costeras y marinas Dimar (2024).

Figura 7. Mapa del viento en la zona norte de Colombia.

Nota. Tomado de Windfinder (2025).

- *La Guajira:* presenta los valores más altos con velocidades promedio de 9-12 m/s a 80 m de altura (UPME, 2024).
- *Atlántico y Magdalena:* velocidades entre 6-9 m/s, con variaciones estacionales (Acolgen, 2024).

- *Bolívar*: velocidades menores a 6 m/s en promedio, con menor potencial eólico.

Estos valores indican que la zona de La Guajira es la más viable para proyectos eólicos a gran escala (Global Wind Energy Council, 2022).

12.1.1.2 Aplicación de la distribución de Weibull.

Para modelar la variabilidad del viento, se aplicó la distribución de Weibull, que permite caracterizar la frecuencia de las velocidades del viento en la región. Esta distribución es ampliamente utilizada en estudios de energía eólica debido a su capacidad de representar con precisión la variabilidad de la velocidad del viento y su impacto en la generación de energía (De Ávila, et ál., 2022).

La función de densidad de probabilidad de Weibull está definida por la ecuación:

$$f(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k}$$

Donde:

- v es la velocidad del viento (m/s),
- k es el factor de forma (adimensional), que indica la uniformidad del viento (valores altos sugieren menos variabilidad),
- c es el factor de escala (m/s), que representa una medida de la velocidad media del viento en la región.

Los parámetros k y c se obtuvieron mediante el ajuste estadístico de la distribución a los datos históricos de velocidades del viento, recolectados de estaciones meteorológicas en La Guajira, Atlántico, Magdalena y Bolívar. Se empleó el método de *máxima verosimilitud* (MLE) para ajustar la curva de Weibull a los datos medidos, lo que permitió estimar de forma

precisa estos parámetros. Según la metodología descrita por De Ávila, et ál. (2022), este procedimiento es ampliamente reconocido en el análisis de datos climatológicos para proyectos de energía eólica. Además, la interpretación de estos parámetros se basa en estudios previos; por ejemplo, Patel & Beik (2023) indican que un valor de k mayor a 2 implica una distribución más uniforme de las velocidades del viento, mientras que valores altos de c reflejan una mayor disponibilidad del recurso eólico.

Los parámetros k y c obtenidos para la región fueron:

- *La Guajira*: $k = 2.2$, $c = 11.5$ m/s
- *Atlántico*: $k = 1.8$, $c = 8.4$ m/s
- *Magdalena*: $k = 1.9$, $c = 7.9$ m/s
- *Bolívar*: $k = 1.6$, $c = 6.1$ m/s

12.1.1.3 Interpretación de los parámetros Weibull.

- *Factor de Forma (k)*: Valores superiores a 2 indican una distribución de velocidad del viento más uniforme, lo que favorece la generación de energía estable. La Guajira, con un k de 2.2, presenta las mejores condiciones en este aspecto.
- *Factor de Escala (c)*: Representa la velocidad media del viento. Valores altos de c indican mayor disponibilidad del recurso eólico. La Guajira lidera con $c = 11.5$ m/s, lo que confirma su alto potencial eólico.

Estos resultados confirman que las zonas con mayores valores de c y k ofrecen mejores condiciones para el aprovechamiento eólico (Patel & Beik, 2023). Además, la distribución de Weibull permite estimar la cantidad de horas al año en que la velocidad del

viento se encuentra dentro del rango óptimo de operación de los aerogeneradores, lo que contribuye a mejorar la planificación y eficiencia de los proyectos eólicos.

12.1.2 Lineamientos técnicos mínimos.

Con base en los resultados obtenidos, se establecieron los siguientes lineamientos técnicos mínimos para el desarrollo de proyectos eólicos, considerando aspectos fundamentales como ubicación, altura de los aerogeneradores, tipo de tecnología, infraestructura de transmisión y normatividad vigente.

12.1.2.1 Ubicación y selección del sitio.

La selección del sitio es un factor crítico para la eficiencia de un parque eólico. Se deben considerar los siguientes criterios:

- *Velocidad del viento:* Priorizar zonas con velocidades promedio superiores a 7 m/s, dado que velocidades menores pueden comprometer la rentabilidad del proyecto (Iberdrola, 2024).
- *Distribución Weibull:* Áreas con factores de forma Weibull (k) mayores a 2.0 son ideales, ya que sugieren un viento más constante y predecible.
- *Topografía y acceso:* Evitar terrenos con irregularidades pronunciadas que puedan generar turbulencias o dificultades logísticas.
- *Impacto ambiental:* Realizar estudios de impacto ambiental para evaluar posibles afectaciones a la biodiversidad y a comunidades cercanas (Quintana & Sarmiento, 2023).

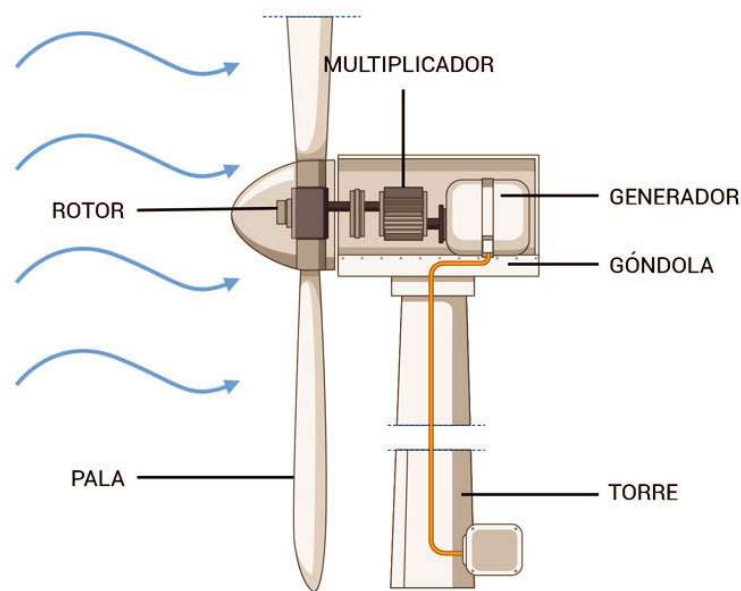
- *Disponibilidad de red eléctrica:* La cercanía a infraestructuras de transmisión minimiza costos de conexión al Sistema Interconectado Nacional (SIN).

12.1.2.2 Altura de los aerogeneradores.

La altura de los aerogeneradores tiene un impacto directo en la captación del recurso eólico y en la reducción de turbulencias. Se establecen los siguientes parámetros:

- *Altura mínima recomendada:* 80 metros, dado que a mayor altura se accede a velocidades de viento más estables.
- *Relación con el diámetro del rotor:* La altura de la torre debe ser al menos igual al diámetro del rotor (ver Figura 8) para garantizar eficiencia aerodinámica y minimizar interferencias estructurales.

Figura 8. Modelo general de un aerogenerador.



Nota. Tomado de Martos (2023).

12.1.2.3 Tipo de aerogeneradores.

Según las condiciones específicas de cada región, se recomiendan diferentes tipos de aerogeneradores:

- *La Guajira y Atlántico:* Aerogeneradores de eje horizontal con capacidad superior a 2 MW, adecuados para vientos constantes y de alta velocidad (Martos, 2023).
- *Magdalena y Bolívar:* Modelos adaptativos con tecnología de control de pérdida aerodinámica, que permiten operar con eficiencia en condiciones de viento variable.

Factores para considerar en la selección:

- Velocidad de corte de inicio y parada.
- Curva de potencia y eficiencia aerodinámica.
- Resistencia a condiciones climáticas extremas, como tormentas o humedad salina en áreas costeras.

12.1.2.4 Infraestructura y red de transmisión.

Para garantizar una integración eficiente de la energía generada, se deben cumplir los siguientes lineamientos:

- *Conexión al SIN:* diseñar redes de conexión optimizadas para minimizar pérdidas de transmisión y garantizar estabilidad del suministro (Ministerio de Minas y Energía , 2021)

- *Almacenamiento de energía:* considerar el uso de baterías de almacenamiento en proyectos de mediana y gran escala para mejorar la estabilidad de la red y asegurar un suministro continuo.

Tabla 11. *Lineamientos Técnicos*

Aspecto	Lineamiento Técnico
Ubicación del sitio	Zonas con vientos > 7 m/s y factor Weibull $(k) > 2.0$
Altura de aerogeneradores	Mínimo 80 m
Tipo de aerogeneradores	Eje horizontal > 2 MW
Infraestructura	Conexión al SIN, baterías de almacenamiento

Estos lineamientos (Tabla 11) proporcionan una base técnica robusta para el desarrollo de proyectos de energía eólica en la Costa Norte de Colombia, garantizando su viabilidad técnica y operativa.

El análisis del recurso eólico en la Costa Norte de Colombia ha permitido identificar áreas con un alto potencial para la generación de energía renovable. Por ejemplo, La Guajira destaca como la región con mayor potencial eólico, con velocidades promedio del viento entre 9 y 12 m/s y una distribución de Weibull favorable, lo que garantiza estabilidad y disponibilidad del recurso a lo largo del año. Otras zonas, como Atlántico y Magdalena, presentan un potencial intermedio, mientras que Bolívar muestra condiciones menos favorables para la generación de energía eólica.

La distribución de Weibull ha demostrado ser una herramienta confiable para modelar la variabilidad del viento en la región, permitiendo prever con mayor exactitud la producción

energética. Este modelo es esencial para el diseño y planificación de parques eólicos, asegurando la viabilidad técnica y económica de los proyectos.

Se han establecido criterios fundamentales para la selección de ubicaciones adecuadas, la determinación de la altura óptima de los aerogeneradores y la tecnología más eficiente. Destaca la necesidad de instalar torres de al menos 80 metros de altura para maximizar la captación del recurso eólico y mejorar el rendimiento energético.

La viabilidad de los proyectos eólicos en la región depende en gran medida de una infraestructura de transmisión eficiente. Se recomienda la conexión al Sistema Interconectado Nacional (SIN) y la implementación de sistemas de almacenamiento de energía para contrarrestar la intermitencia del viento y garantizar un suministro estable de electricidad (Ministerio de Minas y Energía , 2021).

El aprovechamiento del recurso eólico en la Costa Norte representa una oportunidad estratégica para diversificar la matriz energética de Colombia y reducir la dependencia de combustibles fósiles. Además de contribuir a la mitigación del cambio climático, estos proyectos pueden generar beneficios económicos y sociales en las comunidades locales, fomentando empleo y desarrollo sostenible (Ministerio de Minas y Energía , 2021).

La Costa Norte de Colombia posee un enorme potencial para el desarrollo de proyectos eólicos. No obstante, su aprovechamiento eficiente requiere una planificación rigurosa basada en estudios climatológicos detallados, modelos matemáticos precisos y la implementación de infraestructura adecuada. La integración eficiente a la red eléctrica y el cumplimiento de las normativas ambientales serán aspectos clave para garantizar el éxito y la sostenibilidad a largo plazo de estos proyectos (Lazzo, 2019).

12.2 Lineamientos Financieros.

En Colombia, una empresa que instale turbinas eólicas costa afuera (offshore) se clasificaría principalmente como *generador* en el marco regulatorio del sector eléctrico. Los generadores son responsables de producir energía eléctrica para su posterior entrega al sistema de transmisión y distribución, que finalmente la lleva a los consumidores finales (Ministerio de Minas y Energía , 2021).

Es importante destacar que, aunque la empresa se clasifique como generador, deberá coordinarse con otros agentes del sector eléctrico, como transportadores (transmisores) y distribuidores, para garantizar la adecuada integración de la energía producida en el sistema eléctrico nacional. Además, deberá cumplir con las regulaciones y normativas establecidas por entidades como la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) y la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) (UPME, 2024).

La Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) no fija “tarifas” para los generadores en el mismo sentido en que lo hace para la transmisión y distribución, ya que la generación en Colombia se rige en gran parte por mecanismos de mercado (contratos a largo plazo y el mercado spot). Sin embargo, cuando se habla del “cálculo tarifario” en el sector eléctrico colombiano se hace referencia al método que utilizan las empresas comercializadoras para fijar el costo unitario de prestación del servicio (CU), en el cual uno de los componentes (generalmente designado como “G”) representa el costo de compra de energía, es decir, lo que se paga a los generadores.

En términos generales, el CU se calcula sumando varios componentes que reflejan los costos a lo largo de la cadena de prestación del servicio. Una fórmula comúnmente citada

(por ejemplo, en la Resolución CREG 119 de 2007 y sus actualizaciones) (Ministerio de Minas y Energía , 2021) es la siguiente:

$$CU(v) = G + T + D + Cv + PR + R$$

Donde:

- G es el costo de la energía (lo que se paga para adquirir la energía que proviene de los generadores, ya sea a través del mercado “spot” o mediante contratos a largo plazo).
- T es el cargo por el uso del Sistema de Transmisión Nacional.
- D es el cargo por el uso de los Sistemas de Distribución, que varía según el nivel de tensión al que esté conectado el usuario (por ejemplo, nivel 1 para usuarios residenciales).
- Cv corresponde al margen de comercialización (remuneración de las actividades comerciales, gestión de cartera, entre otros).
- PR es el costo asociado con la compra, transporte y reducción de pérdidas de energía (tanto en el transporte como en la distribución).
- R agrupa los costos por restricciones o servicios asociados con la generación, es decir, el sobre costo derivado de utilizar la fuente de generación “más costosa” para garantizar la seguridad del sistema.

Además, existe una parte fija de la tarifa (a veces expresada como CU_f) que se calcula como un porcentaje (β) de un costo fijo asociado al servicio.

Aunque el componente “G” forma parte de esta fórmula tarifaria, los generadores en sí mismos no reciben una “tarifa” regulada de la CREG. En cambio, los generadores venden su energía en el mercado mayorista y reciben pagos determinados por los contratos que

firman o por el precio que se genere en la bolsa de energía. El costo “G” lo determina el comercializador (o distribuidor) al adquirir energía, y es el resultado de la combinación de las condiciones de mercado (por ejemplo, precios en la bolsa o precios contractuales) que a su vez se reflejan en el CU que pagan los usuarios regulados (Ministerio de Minas y Energía , 2021).

La metodología tarifaria –como la expuesta en la Resolución CREG 119 de 2007 y sus actualizaciones (por ejemplo, las modificaciones introducidas en Resoluciones posteriores y en las recientes opciones tarifarias, como la de la Resolución CREG 012 de 2020)– se actualiza mensualmente para reflejar cambios en los índices de precios (como el Índice de Precios al Productor) y otros factores económicos. Esta metodología busca, por un lado, garantizar la suficiencia financiera de las empresas y, por otro, moderar las variaciones bruscas en las tarifas a los usuarios (UPME, 2024).

El objetivo de evaluar la viabilidad económica, estableciendo los lineamientos jurídicos y financieros mínimos para el desarrollo de proyectos de energía eólica en la Costa Norte de Colombia, se plantea como un análisis integral basado en la metodología de evaluación costo-beneficio. En este sentido, se busca determinar si la inversión necesaria (CAPEX) y los costos operativos (OPEX) se justifican frente a los beneficios esperados, tanto en términos de generación de energía limpia como de impacto socioambiental y desarrollo regional (Ministerio de Minas y Energía , 2021).

12.2.1 Evaluación costo-beneficio y viabilidad económica.

Se parte de la identificación y cuantificación de todos los costos asociados al proyecto:

- *CAPEX*: inversión inicial para la adquisición e instalación de aerogeneradores, infraestructura de conexión, cimentaciones, y obras civiles.
- *OPEX*: costos operativos, de mantenimiento y gestión de la planta a lo largo de su vida útil.

El CAPEX representa la inversión inicial necesaria para la instalación del parque eólico (Arias, 2020) y se compone de:

- *Equipos*: Aerogeneradores, torres, sistemas de control.
- *Instalación*: Obras civiles, cimentaciones y conexión a la red.
- *Otros*: Costos de ingeniería, permisos y licenciamiento.

Se expresa como:

$$CAPEX = \sum_{i=1}^n C_i$$

donde C_i es el costo de cada componente i .

Costos operativos anuales (OPEX). Los costos anuales de operación, mantenimiento y gestión se agrupan en OPEX (Lara & Franco, 2017):

$$OPEX = C_{op} + C_{mtto} + C_{adm}$$

donde:

- C_{op} : Costos operativos directos.
- C_{mtto} : Costos de mantenimiento.
- C_{adm} : Costos administrativos.

12.2.2 Proyección de ingresos y generación.

La generación anual de energía (E_{total}) se estima a partir de la Capacidad Efectiva Neta (CEN, en kW) y el Factor de Planta (CF), considerando 8,760 horas al año (Lara & Franco, 2017):

$$E_{total} = CEN \times CF \times 8760 \times (1 - IHF) \left(\frac{kWh}{año} \right)$$

- CEN se expresa en megavatios (MW).
- CF es adimensional (por ejemplo, 0.35 significa que, en promedio, la planta opera al 35% de su capacidad máxima).
- 8760 es el número de horas en un año
- IHF (Indisponibilidad Histórica Forzada) es el porcentaje de tiempo que la planta no opera, por ejemplo, 0.05 (5%).

Si el precio de venta es $p \left(\frac{\$}{kWh} \right)$, los ingresos anuales se calculan como:

$$Revenue = E_{total} \times p$$

12.2.3 Evaluación financiera.

- **Valor presente neto (NPV):** el NPV es la suma de los flujos de caja descontados durante la vida útil del proyecto (T años), restando el CAPEX inicial. Su fórmula es (Lara & Franco, 2017):

$$NPV = \sum_{t=1}^T \frac{(Revenue_t - OPEX_t)}{(1 + r)^t} - CAPEX$$

donde r es la tasa de descuento (costo de capital).

Filtro: Para que el proyecto sea viable, se requiere $NPV > 0$.

- **Tasa interna de retorno (IRR):** la IRR es la tasa que hace que el NPV sea igual a cero (Lazzo, 2019):

$$\sum_{t=1}^T \frac{(Revenue_t - OPEX_t)}{(1 + IRR)^t} - CAPEX = 0$$

Filtro: Se requiere que IRR sea mayor que la tasa mínima requerida (por ejemplo, 10–12%).

- **Periodo de recuperación (Payback Period):** el periodo de recuperación es el tiempo acumulativo necesario para recuperar el CAPEX (Romy, 2016):
 - Se calcula sumando los flujos de caja netos anuales hasta que la suma acumulada sea positiva.

Filtro: Se puede establecer un límite, por ejemplo, menor a 10 años.

- **Novelizado del costo de energía (LCOE):** el LCOE permite determinar el costo medio de producción de energía a lo largo de la vida útil del proyecto (Ruiz, 2021):

$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^T \frac{(CAPEX_t + OPEX_t)}{(1 + r)^t}}{\sum_{t=1}^T \frac{E_t}{(1 + r)^t}}$$

Filtro: El LCOE debe ser menor o igual al precio de mercado o a la tarifa definida en el PPA (Ruiz, 2021).

12.2.4 Lineamientos financieros: criterios y filtros de viabilidad económica.

A modo de referencia, se puede estructurar la evaluación en una tabla que agrupe los principales indicadores y sus filtros mínimos (ver Tabla 12):

Tabla 12. Lineamientos Financieros

Criterio	Fórmula / Método	Filtro / Valor Mínimo
CAPEX	$\sum_{i=1}^n C_i$	Definido según estudio preliminar
OPEX	$C_{op} + C_{mtto} + C_{adm}$	Estimado anualmente
Producción anual	$CEN \times CF \times 8760$	CF mínimo (e.g., 0.30 – 0.35)
NPV	$\sum_{t=1}^T \frac{(Revenue_t - OPEX_t)}{(1+r)^t} - CAPEX$	NPV>0
IRR	$\sum_{t=1}^T \frac{(Revenue_t - OPEX_t)}{(1+IRR)^t} - CAPEX = 0$	IRR> tasa mínima requerida (ej. 10-12%)
Payback Period	Tiempo acumulativo hasta recuperar CAPEX	Menor a 10 años (según criterio del proyecto)
LCOE	$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^T \frac{(CAPEX_t + OPEX_t)}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^T \frac{E_t}{(1+r)^t}}$	$LCOE \leq$ tarifa de mercado (\$/kWh)

La evaluación costo-beneficio y viabilidad económica se fundamenta en determinar que los ingresos futuros, descontados a valor presente, sean mayores que la inversión inicial, y que el proyecto logre una tasa interna de retorno superior a la requerida. Esto se complementa con un análisis del LCOE y del periodo de recuperación, de modo que se establezcan filtros financieros claros. Al integrar estos indicadores con el cumplimiento de lineamientos jurídicos y normativos, se definen estándares mínimos que el proyecto debe cumplir para ser considerado viable, sirviendo como criterios de aprobación o rechazo para la inversión en energía eólica en la Costa Norte de Colombia (Ruiz, 2021).

Cada uno de estos elementos se evaluará en conjunto para garantizar que el proyecto no solo sea técnicamente factible, sino que también ofrezca sostenibilidad económica y seguridad jurídica, sentando las bases para el desarrollo de energías renovables en la región (Prado, et ál., 2016).

12.2.6 Requisitos legales y normativos para la empresa.

Para asegurar la viabilidad jurídica, financiera y operativa de los proyectos de energía eólica, la empresa debe cumplir con un conjunto de requisitos establecidos en la legislación nacional y en las normativas emitidas por entidades reguladoras como la CREG, la UPME y el Ministerio de Minas y Energía. Entre estos requisitos destacan:

- *Inscripción en la Cámara de Comercio:* la empresa debe estar registrada en la Cámara de Comercio de la jurisdicción correspondiente, de acuerdo con el Código de Comercio colombiano. Este registro certifica su existencia legal y su capacidad para operar en el mercado. *Normativa aplicable:* Código de Comercio y normas locales de la Cámara de Comercio.
- *Documento de Identidad del Representante Legal (Cédula de Ciudadanía):* es obligatorio que el representante legal presente una cédula de ciudadanía vigente, que acredite su identidad y las facultades para actuar en nombre de la empresa. *Normativa aplicable:* Ley 1581 de 2012 (para manejo de datos personales) y normativas internas de la Cámara de Comercio.
- *Registro Único Tributario (RUT):* emitido por la DIAN, el RUT identifica a la empresa como contribuyente y es esencial para la facturación y el cumplimiento de obligaciones fiscales. *Normativa aplicable:* Estatuto Tributario Colombiano.

- *Registro Único de Proponentes (RUP)*: la inscripción en el RUP del sector energético es indispensable para participar en licitaciones y concursos públicos, ya que certifica la capacidad técnica, financiera y jurídica de la empresa. *Normativa aplicable*: Lineamientos de la UPME y resoluciones de la CREG (por ejemplo, Resolución CREG 075 de 2021).
- *Tipo de Empresa y Estructura Societaria*: la normativa para el desarrollo de proyectos de energía renovable exige que la empresa se constituya de manera que garantice transparencia, estabilidad y responsabilidad. Dependiendo del proceso de licitación, se puede requerir que la empresa sea una Empresa de Servicios Públicos (ESP) o que tenga una estructura de sociedad anónima de capital mixto (público-privado). *Normativa aplicable*: Ley 1715 de 2014 (fomenta el desarrollo de energías renovables no convencionales), la Ley 222 de 1995 (sobre sociedades comerciales) y resoluciones específicas de la CREG y UPME.

Además, en el marco de la regulación sectorial se deben cumplir otros lineamientos normativos que incluyen:

- *Resolución CREG 40284 de 2022*: establece las reglas para la asignación de permisos y la conexión de proyectos de energía renovable al Sistema Interconectado Nacional (SIN).
- *Resolución CREG 075 de 2021*: define las condiciones técnicas y tarifarias para la conexión y operación de proyectos eólicos, asegurando que la remuneración de la generación se ajuste a los estándares del sector.

- *Resolución CREG 167 de 2017*: regula la metodología para determinar la energía firme (ENFICC) de plantas eólicas, aspecto clave para evaluar la generación y la confiabilidad del suministro.
- *Decreto 1076 de 2015*: reúne la normatividad ambiental que afecta a los proyectos de infraestructura, siendo fundamental para la obtención de licencias ambientales y la realización de consultas previas en zonas de comunidades indígenas o afrodescendientes.
- *Ley 2099 del 2021 y Decreto 829 de 2020*: relacionados con la transición energética e incentivos tributarios para proyectos de energía renovable, que pueden mejorar la viabilidad financiera de los proyectos.

La Tabla 13 resume los requisitos legales y normativos, así como las resoluciones y leyes clave que deben cumplirse:

Tabla 13. *Resumen de Requisitos y Normativas*

Requisito	Descripción	Normativa / Resolución
Inscripción en Cámara de Comercio	Registro mercantil actualizado que certifica la existencia legal y capacidad operativa de la empresa.	Código de Comercio; Normas de la Cámara de Comercio
Cédula de Ciudadanía del Representante Legal	Documento de identidad vigente del representante legal, que acredite sus facultades de dirección.	Normativas internas y Ley 1581 de 2012 (manejo de datos)
Registro Único Tributario (RUT)	Identificación fiscal emitida por la DIAN que permite el cumplimiento de obligaciones tributarias.	Estatuto Tributario Colombiano
Registro Único de Proponentes (RUP)	Inscripción que certifica la capacidad técnica, financiera y jurídica para participar en licitaciones.	Lineamientos de la UPME; Resolución CREG 075 de 2021

Requisito	Descripción	Normativa / Resolución
Tipo de Empresa y Estructura Societaria	Constitución como ESP o sociedad anónima de capital mixto, garantizando transparencia y estabilidad.	Ley 1715 de 2014, Ley 222 de 1995, Resoluciones sectoriales de la CREG y UPME
Conformidad con Normatividad Ambiental	Obtención de Licencia Ambiental y realización de Consulta Previa, según lo exige la normatividad vigente.	Decreto 1076 de 2015, Ley 99 de 1993, normativas de la ANLA
Cumplimiento de Lineamientos Tarifarios y de Conexión	Asegurar la viabilidad técnica y económica de la conexión de proyectos al SIN, y la determinación de la energía firme.	Resolución CREG 40284 de 2022, Resolución CREG 075 de 2021, Resolución CREG 167 de 2017

12.2.7 Consideraciones para la participación y formalización.

La empresa promotora, además de cumplir con los requisitos documentales, debe:

- Presentar *certificados de experiencia o referencias de proyectos anteriores* en el sector de energías renovables, lo cual es valorado en los procesos de licitación.
- Demostrar solidez financiera mediante estados financieros auditados y contar con un *plan de negocio* que contemple la inversión, retorno y riesgos del proyecto.
- Estar en *constancia y cumplimiento* de los lineamientos tarifarios y de conexión establecidos por la CREG, lo cual se verifica a través de dictámenes técnicos y auditorías periódicas.
- Contar con una *estructura de gobernanza corporativa* que asegure la transparencia en la gestión y facilite la rendición de cuentas ante las autoridades reguladoras.

El cumplimiento de los requisitos legales y normativos es fundamental para la viabilidad y éxito de los proyectos de energía eólica en la Costa Norte de Colombia. La empresa promotora debe estar debidamente constituida, registrada y contar con toda la documentación necesaria (Cámara de Comercio, cédula del representante legal, RUT y

RUP). Además, debe adherirse a la normativa sectorial vigente, entre la que destacan la Ley 1715 de 2014, los decretos ambientales y las resoluciones de la CREG (como la Resolución 40284 de 2022, Resolución CREG 075 de 2021 y Resolución CREG 167 de 2017) (Ministerio de Minas y Energía , 2021), que establecen los lineamientos técnicos y tarifarios esenciales.

Este conjunto de requisitos y normativas actúa como filtro para garantizar que los proyectos no solo sean técnicamente factibles y económicamente viables, sino que además cuenten con la seguridad jurídica y la transparencia necesarias para atraer inversiones y consolidar el desarrollo de energías renovables en la región (Ministerio de Minas y Energía , 2021).

12.3 Normatividad y Lineamientos Socioambientales para los Proyectos de Energía Eólica en la Costa Norte de Colombia

Los proyectos de energía eólica deben cumplir con un marco regulatorio ambiental establecido por diferentes leyes, decretos y resoluciones emitidas por entidades como el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), la Agencia Nacional de Licencias Ambientales (ANLA), la Autoridad Nacional de Consulta Previa y la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) (Ministerio de Minas y Energía , 2021) (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2024). En la Tabla 14, se presenta un análisis de la normativa clave:

Tabla 14. *Legislación y Regulaciones Ambientales Aplicables*

Normativa	Descripción	Aspectos Claves para Proyectos Eólicos
Ley 99 de 1993	Crea el Sistema Nacional Ambiental (SINA) y establece los principios de protección ambiental en Colombia.	Aplicación del principio de precaución y evaluación de impactos ambientales.

Normativa	Descripción	Aspectos Claves para Proyectos Eólicos
Decreto 1076 de 2015	Compila toda la normatividad ambiental del país en un solo documento.	Regula la evaluación de impacto ambiental (EIA) y la obtención de licencias ambientales.
Ley 1715 de 2014	Promueve el desarrollo de fuentes no convencionales de energía renovable.	Exige el cumplimiento de criterios de sostenibilidad y eficiencia energética.
Resolución 1283 de 2016	Reglamenta los estudios de impacto ambiental (EIA) para proyectos de energías renovables.	Establece los requisitos y metodologías para la presentación del EIA ante la ANLA.
Resolución 1401 de 2018	Regula la Consulta Previa con comunidades indígenas y afrodescendientes.	Obliga a realizar un proceso de concertación con las comunidades locales antes de iniciar un proyecto.
Ley 1930 de 2018 (Ley de Páramos)	Protege ecosistemas estratégicos de páramos y fuentes hídricas.	Prohíbe el desarrollo de proyectos energéticos en áreas protegidas.

12.3.1 Evaluación de impacto ambiental (EIA).

La *Evaluación de Impacto Ambiental (EIA)* es un requisito fundamental para la construcción y operación de proyectos de energía eólica a gran escala. Su objetivo es identificar, evaluar y mitigar los posibles impactos negativos sobre el medio ambiente y las comunidades locales. Este proceso está regulado por *la Ley 99 de 1993, el Decreto 1076 de 2015*, y *la Resolución 1283 de 2016*, entre otras normativas ambientales aplicables en Colombia (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2024).

La EIA debe abordar diversos aspectos para garantizar que el proyecto sea ambientalmente viable. A continuación, se presentan los componentes principales de una EIA para proyectos de energía eólica:

12.3.1.1 Identificación de áreas de influencia.

Los proyectos eólicos afectan tanto el área donde se instalan los aerogeneradores como su entorno inmediato. Se deben definir dos tipos de áreas de influencia (ver Tabla 15):

Tabla 15. *Áreas de Influencia*

Área de Influencia	Descripción
Área de influencia directa	Zona donde se desarrollará el proyecto y donde se producen impactos directos (ej. suelo, aire, biodiversidad).
Área de influencia indirecta	Espacio circundante donde los efectos del proyecto pueden sentirse a mediano o largo plazo (ej. comunidades cercanas, corredores de aves).

12.3.1.2 Fases del proyecto evaluadas en la EIA

El análisis del impacto ambiental debe considerar todas las fases del proyecto (ver Tabla 16), desde la planificación hasta la operación y desmantelamiento (Villegas, et ál., 2018).

Tabla 16. *Fases del Proyecto Evaluadas en la EIA*

Fase del Proyecto	Posibles Impactos Ambientales
Fase de Construcción	Cambio en el uso del suelo, generación de residuos, erosión y afectación de flora y fauna.
Fase de Operación	Impacto en aves, ruido, interferencia electromagnética y efectos en la biodiversidad.
Fase de Desmantelamiento	Manejo de residuos industriales y restauración del ecosistema.

12.3.2 Principales impactos ambientales y medidas de mitigación.

La EIA debe incluir un análisis detallado de los impactos ambientales y las estrategias de mitigación para cada uno de ellos (Villegas, et ál., 2018).

12.3.2.1 Impacto en la biodiversidad y fauna.

Uno de los principales efectos ambientales de los parques eólicos es la colisión de aves y murciélagos con las aspas de los aerogeneradores (Villegas, et ál., 2018).

- **Medidas de Mitigación:**

- Estudios de *monitorización de aves* antes de la construcción del parque eólico.
- Instalación de sistemas de *detección y apagado automático* de turbinas cuando se detectan aves en riesgo.
- Creación de *corredores ecológicos* para evitar que los parques eólicos interfieran con rutas migratorias.

12.3.2.2 Impacto en el paisaje y uso del suelo.

El cambio en el paisaje puede generar efectos visuales negativos para las comunidades locales y el turismo (Villegas, et ál., 2018).

- **Medidas de Mitigación:**

- Diseño de aerogeneradores con colores y materiales que minimicen el impacto visual.
- Implementación de planes de *reforestación y restauración ecológica* en áreas afectadas.

12.3.2.3 Impacto acústico y vibraciones.

Los aerogeneradores generan ruido que puede afectar a comunidades cercanas y a la fauna local (Villegas, et ál., 2018).

- **Medidas de mitigación:**

- Instalación de turbinas con tecnología de reducción de ruido.

- Zonificación adecuada para evitar la instalación de parques eólicos cerca de áreas residenciales.
- Monitoreo continuo de niveles de ruido mediante sensores.

12.3.2.4 Impacto en los recursos hídricos.

Si bien los parques eólicos consumen poca agua, la construcción y mantenimiento pueden afectar fuentes hídricas cercanas (**Villegas, et ál., 2018**).

- **Medidas de Mitigación:**

- Aplicación de sistemas de drenaje sostenible para evitar contaminación del agua.
- Prohibición del vertimiento de residuos en cuerpos de agua cercanos.

12.3.2.5 Generación de residuos y gestión ambiental.

Los componentes de los aerogeneradores tienen una vida útil y deben gestionarse correctamente al final del proyecto (**Villegas, et ál., 2018**).

- **Medidas de mitigación:**

- Implementación de un plan de reciclaje de componentes eólicos.
- Desarrollo de programas de economía circular para la reutilización de materiales.

12.3.3 Procedimiento para la obtención de la licencia ambiental.

Todo proyecto eólico en Colombia que supere un determinado umbral de capacidad instalada (ejemplo: superior a 10 MW) requiere una *Licencia Ambiental* expedida por la *Agencia Nacional de Licencias Ambientales (ANLA)* (Ortegón, et ál., 2013). En la Tabla 17 se observan las etapas del proceso de licenciamiento ambiental.

Tabla 17. *Etapas del proceso de Licenciamiento Ambiental*

Etapas	Descripción
Solicitud de Licencia Ambiental	Presentación del EIA y demás requisitos a la ANLA.
Revisión Técnica y Socialización	Evaluación del impacto ambiental y consulta con comunidades.
Decisión de la ANLA	Aprobación, condicionamiento o rechazo del proyecto.
Monitoreo y Cumplimiento	Seguimiento ambiental durante la vida útil del proyecto.

De acuerdo con el *Decreto 1076 de 2015* UPME (2024), se requiere Licencia Ambiental para proyectos que:

- Superen los *10 MW* de capacidad instalada.
- Se ubiquen en *zonas de alta biodiversidad* (áreas protegidas, ecosistemas estratégicos).
- Interfieran con comunidades indígenas o afrodescendientes.

12.3.4. Plan de manejo ambiental (PMA).

El *Plan de Manejo Ambiental (PMA)* es una parte fundamental de la EIA, donde se detallan las acciones para prevenir, mitigar y compensar los impactos ambientales (ver Tabla 18).

Tabla 18. *Contenido del PMA*

Sección del PMA	Contenido
Diagnóstico Ambiental	Identificación de impactos en flora, fauna, suelo y agua.
Medidas de Mitigación	Estrategias para minimizar impactos en biodiversidad, ruido y paisaje.
Monitoreo Ambiental	Plan de seguimiento de indicadores clave.
Planes de Contingencia	Protocolos para responder a emergencias ambientales.

12.3.5 Monitoreo y cumplimiento ambiental.

El cumplimiento de las medidas ambientales es supervisado por la ANLA y otras entidades. Las empresas deben realizar reportes periódicos y demostrar que están cumpliendo con los estándares establecidos en la licencia ambiental (Villegas, et ál., 2018). En la Tabla 19 se mencionan los indicadores de cumplimiento.

Tabla 19. *Indicadores de cumplimiento*

Indicador	Método de Monitoreo	Frecuencia
Impacto en aves	Cámaras y sensores de radar	Mensual
Ruido	Sensores acústicos en comunidades cercanas	Trimestral
Calidad del agua	Muestras en fuentes hídricas cercanas	Semestral
Manejo de residuos	Auditoría de residuos sólidos y peligrosos	Anual

12.3.6 Dinámicas sociales del territorio y consulta previa.

Además del cumplimiento normativo, es esencial considerar las dinámicas sociales de la región para garantizar la integración de los proyectos con las comunidades locales.

Los proyectos de energía eólica suelen ubicarse en territorios donde habitan comunidades indígenas, afrodescendientes y campesinas, que tienen derechos colectivos sobre sus tierras. Es clave mapear estos actores y sus formas de organización para desarrollar estrategias de participación adecuadas.

Tabla 20. *Identificación de las Comunidades Impactadas*

Tipo de Comunidad	Ubicación Principal en la Costa Norte	Posibles Impactos del Proyecto	Mecanismos de Mitigación
Comunidades Indígenas (Wayúu, Zenú)	La Guajira, Córdoba, Sucre	Pérdida de tierras ancestrales, cambios en el paisaje	Consulta Previa y compensaciones socioculturales
Comunidades Afrodescendientes	Bolívar, Atlántico	Alteración de ecosistemas de manglares y pesca	Proyectos de restauración ambiental y programas de desarrollo económico local
Comunidades Campesinas	Cesar, Magdalena	Cambio en uso de suelo y desplazamiento económico	Planes de compensación e inversión en infraestructura local

Según la *Ley 70 de 1993* y la *Resolución 1401 de 2018*, cualquier proyecto que pueda afectar a comunidades étnicas debe realizar una *Consulta Previa* antes de su ejecución. Este proceso incluye Ministerio de Minas y Energía (2021):

- *Identificación de actores:* Determinar qué comunidades pueden verse afectadas.
- *Mesas de diálogo:* Reuniones con las comunidades para socializar el proyecto.
- *Definición de acuerdos:* Concertación de medidas de mitigación y compensación.
- *Firma de actas de concertación:* Documento oficial que formaliza los compromisos asumidos.

12.3.7 Lineamientos socioambientales.

A partir del análisis normativo y social (UPME, 2024), se proponen los siguientes *lineamientos socioambientales* para proyectos eólicos en la Costa Norte de Colombia (ver Tabla 21):

Tabla 21. *Lineamientos Socioambientales para Proyectos de Energía Eólica*

Categoría	Lineamiento	Referencia Normativa
Biodiversidad y fauna	Implementar medidas para evitar la colisión de aves con aerogeneradores.	Ley 99 de 1993, Decreto 1076 de 2015
Ruido y calidad del aire	Controlar niveles de ruido con tecnologías de mitigación.	Resolución 627 de 2006 (MinAmbiente)
Uso del suelo	Evitar la instalación de aerogeneradores en áreas protegidas.	Ley 1930 de 2018 (Ley de Páramos)
Consulta previa	Realizar acuerdos con comunidades indígenas y afrodescendientes.	Resolución 1401 de 2018
Compensaciones sociales	Invertir en proyectos de infraestructura y educación en las comunidades impactadas.	Ley 70 de 1993
Monitoreo ambiental	Establecer sistemas de vigilancia de impacto ambiental en tiempo real.	Resolución 1283 de 2016

Con el fin de asegurar la protección de los componentes ecosistémicos y el cumplimiento normativo en proyectos de energía eólica continental, se adoptan como referencia los *Términos de Referencia para la Elaboración del Estudio de Impacto Ambiental de Proyectos de Energía Eólica Continental* emitidos por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (Autoridad Nacional de Licencias Ambientales [ANLA], 2016). En Tabla 22, se presentan los lineamientos mínimos que estructuran el capítulo ambiental del EIA:

Tabla 22. *Terminos de referencia*

Componente	Descripción resumida
Descripción del Proyecto	Ubicación precisa del parque eólico, cronograma de construcción-operación-desmantelamiento, infraestructura existente y propuesta, esquema organizacional y responsabilidades.
Delimitación y Caracterización	Definición del área de influencia directa e indirecta; caracterización abiótica (suelo, geología, agua, meteorología, ruido), biótica (flora, fauna, corredores) y socioeconómica.
Zonificación Ambiental	Mapas temáticos que identifican zonas de alta, media y baja sensibilidad para orientar la ubicación de torres, accesos y subestaciones.

Componente	Descripción resumida
Demanda y Recursos Naturales	Cálculo de captación de agua, vertimientos, uso de agregados, emisiones atmosféricas y nivel de ruido; evaluación de huella hídrica y energética.
Evaluación de Impactos Ambientales	Identificación y valoración de impactos en escenarios “sin proyecto” y “con proyecto” (matrices de Leopold, análisis cualitativo/cuantitativo), con enfoque costo-beneficio.
Zonificación de Manejo Ambiental	Definición de áreas de exclusión, mínima intervención y corredores biológicos, con medidas de conservación y restauración.
Planes y Programas Ambientales	Elaboración del Plan de Manejo Ambiental con programas de monitoreo (aire, agua, ruido), gestión de residuos, compensación por biodiversidad (1 % área intervenida) y desmantelamiento.

La tabla anterior sintetiza de manera estructurada los siete componentes fundamentales de los lineamientos técnicos ambientales según los Términos de Referencia de la ANLA (Resolución 1312 de 2016) (Autoridad Nacional de Licencias Ambientales [ANLA], 2016). Cada fila agrupa un aspecto clave del Estudio de Impacto Ambiental, desde la definición del proyecto y la caracterización del área de influencia, hasta el diseño de programas de manejo y compensación. Este formato facilita la comprensión rápida de los requisitos mínimos, permitiendo al equipo técnico identificar de un vistazo las acciones y estudios necesarios en cada fase del proyecto eólico continental.

13. Discusión

El desarrollo del primer objetivo, enfocado en establecer lineamientos técnicos mínimos a través del análisis climatológico, ha permitido evaluar de manera exhaustiva la viabilidad del recurso eólico en la Costa Norte de Colombia. La interpretación de los datos, particularmente la identificación de altas velocidades promedio en La Guajira y la determinación precisa de los parámetros k y c mediante la distribución de Weibull, respalda teóricamente el uso de modelos probabilísticos en el diseño de proyectos eólicos. Técnicamente, estos resultados justifican la adopción de criterios específicos, como la instalación de torres de al menos 80 metros para maximizar la captación del viento, y resaltan la necesidad de una infraestructura de transmisión adecuada para mitigar la intermitencia del recurso. En consecuencia, las implicaciones de este estudio no solo confirman la validez de los lineamientos propuestos, sino que también ofrecen una base sólida para futuras investigaciones y desarrollos tecnológicos en energía renovable, promoviendo una planificación más precisa y eficiente en la transición hacia una matriz energética sostenible.

La evaluación costo-beneficio y viabilidad económica para proyectos de energía eólica en la Costa Norte de Colombia se fundamenta en la integración de diversos indicadores financieros y técnicos que actúan como filtros de aprobación. Los modelos desarrollados han considerado tanto el *CAPEX*, que abarca la inversión inicial en equipos e infraestructura, como el *OPEX*, que incluye los costos operativos y de mantenimiento a lo largo de la vida útil del proyecto. La proyección de ingresos, basada en la generación anual de energía (calculada con la fórmula $E_{total} = CEN \times CF \times 8760$), permite estimar el flujo de caja futuro, el cual, descontado mediante la tasa de descuento r , genera un Valor Presente Neto (*NPV*) positivo si la inversión es rentable. Además, la Tasa Interna de Retorno (*IRR*) se

compara con una tasa mínima requerida, y el período de recuperación (payback) se establece como un criterio clave para evaluar la rapidez de retorno de la inversión.

Se aplicó también el análisis del Nivelizado del Costo de Energía (*LCOE*) para determinar si el costo medio de producción es competitivo frente a los precios del mercado o los términos de los contratos de compra de energía (*PPA*). Este conjunto de ecuaciones y métodos financieros se complementa con evaluaciones de sensibilidad, que permiten estimar el impacto de variaciones en parámetros críticos como el factor de planta (*CF*), la tasa de descuento y el precio de venta de la energía. Asimismo, el cumplimiento de los lineamientos jurídicos, que incluye la adecuación a normativas nacionales (por ejemplo, la Ley 1715 de 2014 y las Resoluciones CREG pertinentes) y la obtención de licencias ambientales, refuerza la seguridad jurídica de los proyectos. En conjunto, estos análisis actúan como filtros integrales para determinar la viabilidad del proyecto, asegurando que solo aquellos que cumplan con los requisitos técnicos, financieros y jurídicos mínimos sean aprobados para avanzar hacia la ejecución.

El establecimiento de lineamientos socioambientales robustos es fundamental para el desarrollo de proyectos de energía eólica en la Costa Norte de Colombia, ya que estos deben equilibrar la explotación del potencial eólico con la preservación del entorno natural y el bienestar de las comunidades locales. En primer lugar, es indispensable que los proyectos se rijan por la normatividad ambiental vigente, la cual incluye la Ley 99 de 1993, el Decreto 1076 de 2015 y la Resolución 1283 de 2016, entre otras disposiciones, que establecen los requisitos para la evaluación de impacto ambiental (EIA), la protección de la biodiversidad y la gestión sostenible de los recursos naturales. Además, se deben implementar mecanismos de consulta previa y participación activa que involucren a comunidades indígenas,

afrodescendientes y grupos locales, garantizando que sus derechos y expectativas sean considerados a través de mesas de diálogo, actas de concertación y acuerdos de compensación socioambiental.

Por otro lado, es imperativo desarrollar e integrar un Plan de Manejo Ambiental (PMA) que contemple medidas específicas para mitigar impactos negativos, tales como la instalación de sistemas de monitoreo de fauna, control de niveles de ruido, gestión adecuada de residuos y restauración ecológica de áreas afectadas. Este plan debe incluir protocolos de seguimiento y auditoría ambiental, que permitan ajustar las medidas de mitigación en tiempo real según las condiciones del entorno. La integración de estos criterios técnicos, normativos y sociales no solo aumenta la viabilidad y sostenibilidad de los proyectos, sino que también promueve una mayor aceptación y compromiso de las comunidades locales, asegurando que la transición hacia energías renovables se realice de manera responsable y en armonía con el medio ambiente.

14. Conclusiones

La formulación de lineamientos técnicos, jurídicos, financieros y socioambientales para el desarrollo de proyectos de energía eólica en la Costa Norte de Colombia, apoyada en la metodología del Marco Lógico, representa un paso estratégico y fundamentado para consolidar un marco integrador que posibilite la implementación efectiva de estas iniciativas. La utilización de esta herramienta estructural permite definir de manera clara y coherente los objetivos, actividades, indicadores y supuestos, asegurando que todas las dimensiones relevantes sean consideradas y gestionadas de forma articulada. Esto, a su vez, fortalecerá la toma de decisiones, facilitará la gestión de riesgos, y promoverá la participación de todos los actores involucrados, incluyendo comunidades, sector privado y las autoridades competentes. En consecuencia, estos lineamientos son pertinentes y necesarios para maximizar la sostenibilidad, la rentabilidad, y la aceptación social de los proyectos eólicos, fomentando una transición energética responsable que al mismo tiempo impulsa el desarrollo regional, la protección ambiental y la mitigación del cambio climático, garantizando un proceso de crecimiento energético inclusivo y sustentable.

El análisis climatológico de la región, especialmente en La Guajira, muestra un gran potencial eólico porque cuenta con velocidades promedio entre 9 y 12 m/s, acompañadas de una distribución favorable, como la Weibull. La implementación de estudios técnicos, que incluyan mediciones de viento y modelos predictivos, ayuda a definir los lugares más adecuados, determinar la altura idónea de los aerogeneradores y seleccionar tecnologías eficientes. Estos lineamientos técnicos mínimos garantizan que se aproveche eficientemente el recurso eólico, proporcionando las bases sólidas para definir la viabilidad técnica de los proyectos y, por ende, la maximización de su producción energética.

La viabilidad económica de los proyectos eólicos en la región depende de la realización de análisis costo-beneficio sólidos, en los que se tienen en cuenta factores tales como el Valor Presente Neto (NPV), la Tasa Interna de Retorno (IRR), el período de recuperación y el coste nivelado de energía (LCOE). Además, es necesario contemplar la estructura jurídica del país, incluyendo el cumplimiento de la normatividad vigente y la formalización de incentivos financieros, como subsidios o exenciones fiscales, lo cual es clave para fortalecer la inversión y garantizar la sostenibilidad financiera de los proyectos. Además, el diseño de esquemas de financiamiento adecuados y alianzas público-privadas también puede ser muy útil para atraer capital y asegurar la viabilidad de los proyectos energéticos a largo plazo.

Los lineamientos socioambientales deben tener sus bases en la normativa ambiental vigente en Colombia, incluyendo las evaluaciones de impacto ambiental, los planes de mitigación y monitoreo participativo. Así mismo, es fundamental promover la participación de las comunidades locales mediante procesos de consulta previa, acuerdos de beneficios y programas de desarrollo social que favorezcan su inclusión y aceptación del proyecto. La integración de estos criterios posibilita que los proyectos energéticos sean sostenibles socialmente y minimicen impactos negativos, respetando las dinámicas sociales locales y contribuyendo al desarrollo sostenible de la región, lo cual fortalece la relación entre las comunidades y las iniciativas energéticas que pretenden mejorar la calidad de vida de las personas.

Referencias

- Acolgen. (2024). *Capacidad instalada en Colombia*. Obtenido de <https://acolgen.org.co/>
- AEE. (2024). *La eólica en el Mundo*. Obtenido de <https://aeeolica.org/sobre-la-eolica/la-eolica-en-el-mundo/>
- Ali, A., Ali, S., Shaukat, H., Khalid, E., Behram, L., Rani, H., . . . Noori, M. (2024). Advancements in piezoelectric wind energy harvesting: A review. . *Results in Engineering, 21*.
- Arias, E. (1 de Abril de 2020). *Viabilidad*. Obtenido de <https://economipedia.com/definiciones/viabilidad.html>
- Autoridad Nacional de Licencias Ambientales [ANLA]. (2016). *érminos de referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental de proyectos de energía eólica continental (Resolución 1312 de 2016)*. Obtenido de Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2016). Resolución 1312 de 2016: Por la cual se adoptan los términos de referencia para el Estudio de Impacto Ambiental de proyectos de energía eólica continental. Diario Oficial No. 49.977.: https://www.anla.gov.co/documentos/normativa/terminos_referencia/tr_energia_eolica_continental.pdf
- Clementi, L. (2017). *Energía eólica y territorios en argentina. proyectos en el sur de la provincia de buenos aires entre fines del siglo XX y principios del siglo XXI*. Bahía blanca: Universidad Nacional del Sur.
- Comisión Europea. (Marzo de 2001). *Manual de Gestión del Ciclo de Proyecto*.
- Congreso de Colombia. (22 de Diciembre de 1993). *Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y*

conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposici. Obtenido de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=297>

Congreso de Colombia. (11 de Julio de 1994). *Por la cual se establece el régimen para la generación, interconexión, trasmisión, distribución y comercialización de electricidad en el territorio nacional, se conceden unas autorizaciones y se dictan otras disposiciones en materia energética.* Obtenido de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=4631>

Congreso de Colombia. (13 de Mayo de 2014). *Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional.* Obtenido de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=57353>

Congreso de la republica. (10 de Julio de 2021). *Por medio de la cual se dictan disposiciones para la transición energética, la dinamización del mercado energético, la reactivación económica del país y se dictan otras disposiciones.* Obtenido de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=166326>

DANE. (2025). *Subregiones.* Obtenido de <https://www.dane.gov.co/files/censo2005/provincias/subregiones.pdf>

De Ávila, et ál. (2022). Análisis del potencial eólico a través de la función de distribución de Weibull y Rosa de los vientos. *LADEE*, 40-46.

Dimar. (3 de Septiembre de 2024). *PRONÓSTICO DE LAS CONDICIONES METEOROLÓGICAS Y OCEANOGRÁFICAS.* Obtenido de <https://cioh.dimar.mil.co/meteorologia/PreCaAltamar.php>

Enel: Green Power. (2024). *Aerogenerador*. Obtenido de <https://www.enelgreenpower.com/es/learning-hub/energias-renovables/energia-eolica/aerogenerador>

Global Wind Energy Council. (2022). *Global wind report 2022*. Brussels, Belgium.

Gobierno de Colombia. (2022). *Gobierno de Colombia*. Obtenido de Plan Nacional de Desarrollo: <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Prensa/Publicaciones/plan-nacional-de-desarrollo-2022-2026-colombia-potencia-mundial-de-la-vida.pdf>

Grisales-Noreña, L. F., Vega, H. P., Montoya, O. D., Botero-Gómez, V., & Sanin-Villa, D. (2025). Montoya, O. D., Botero-Gómez, V., & Sanin-Villa, D. (2025). Cost Optimization of AC Microgrids in Grid-Connected and Isolated Modes Using a Population-Based Genetic Algorithm for Energy Management of Distributed Wind Turbines. *Mathematics*, 13(5).

Gutiérrez, N., & Olarte, D. (2020). *Estudio de prefactibilidad para la construcción de un parque eólico offshore ubicado en Coveñas – Sucre*. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada.

Iberdrola. (2024). *¿Qué es la energía eólica, cómo se transforma en electricidad y cuáles son sus ventajas?* Obtenido de <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/energia-eolica>

Intedya. (19 de Junio de 2015). *Energía Eolica Marina*. Obtenido de <https://www.intedya.com/internacional/681/noticia-nueva-iso-29400-2015-la-energia-eolica-marina.html>

Kwok, K. C., & Hu, G. (2023). Wind energy system for buildings in an urban environment. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 234.

Lara, I., & Franco, O. (2017). Análisis del Costo – Beneficio una Herramienta de Gestión. *Revista Contribuciones a la Economía* , 1-14.

Lazzo, M. (2019). *Estudio de pre - factibilidad de un parque eólico offshore para aumentar la capacidad energética del parque eólico Jepirachi*. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada.

Martos, J. (2023). *Diseño y construcción de un aerogenerador de laboratorio y control mediante Arduino*. Jaén: Universidad de Jaén.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2024). *Licenciamiento Ambiental*.
Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/licenciamiento-ambiental/>

Ministerio de Minas y Energía . (Septiembre de 2021). *Hoja de ruta Energía Eólica costa afuera*.
Obtenido de https://www.minenergia.gov.co/documents/5858/Espa%C3%B1ol_Hoja_de_ruta_energ%C3%ADa_e%C3%B3lica_costa_afuera_en_Colombia_VE_compressed.pdf

Muñoz, A. (10 de Julio de 2023). *Partes de un aerogenerador para producir energía eólica*.
Obtenido de <https://www.edpenergia.es/es/blog/sostenibilidad/componentes-aerogenerador-y-funcionamiento/>

Ortegón, et ál. (2013). *Metodología del marco lógico para la planificación, el seguimiento y la evaluación de proyectos y programas*. Publicación de las Naciones Unidas.

Patel, M., & Beik, O. (2023). *Wind and solar power systems: Design, analysis, and operation* (Third ed.). CRC Press.

Pradillo, S. (2018). *Situación actual y perspectivas de la energía eólica marina en Europa* . Madrid: Escuela técnica superior de ingenieros de minas y energías.

Prado, et ál. (2016). Estudio preliminar sobre la ubicación de un parque. *Revista de Iniciación Científica*, 2(2), 76-85.

Quintana, D., & Sarmiento, B. (2023). *Impacto ambiental en el desarrollo de proyectos de energía eólica en la región de la Guajira*. Bogotá: Universidad ean.

Republica de Colombia . (3 de Agosto de 2022). *Proceso competitivo para el otorgamiento de permisos de Ocupación Temporal sobre áreas marítimas, con destino al desarrollo de proyectos de generación de energía eólica costa afuera, y se dictan otras disposiciones*. Obtenido de <https://www.minenergia.gov.co/documents/8462/res-40284-2022.pdf>

República de Colombia. (15 de Octubre de 2014). *Por el cual se reglamenta el Título VIII de la Ley 99 de 1993 sobre licencias ambientales*. Obtenido de https://archivo.minambiente.gov.co/images/normativa/app/decretos/7b-decreto_2041_oct_2014.pdf

República de Colombia. (26 de Mayo de 2015). *Esta versión incorpora las modificaciones introducidas al Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible a partir de la fecha de su expedición*. Obtenido de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=78153>

República de Colombia. (10 de Junio de 2020). *Por el cual se reglamentan los artículos 11, 12, 13 y 14 de la Ley 1715 de 2014, se modifica y adiciona el Decreto 1625 de 2016, único Reglamentario en Materia Tributaria y se derogan algunos artículos del Decreto 1073*. Obtenido de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=127884>

- Rodriguez, L. (21 de Octubre de 2022). *Las zonas costeras. Sus componentes y procesos naturales*. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Liber-Galban-Rodriguez/publication/364609382_Las_zonas_costeras_Sus_componentes_y_procesos_naturales/links/635314a496e83c26eb3ec46d/Las-zonas-costeras-Sus-componentes-y-procesos-naturales.pdf
- Romay, J. (2016). *Implementación de un rectificador controlado PWM aplicado a un sistema de generación eólica*. Ciudad de México: Instituto Politécnico Nacional .
- Rueda-Bayona, J. G., Guzmán, A., Eras, J. J., Silva-Casarín, R., Bastidas-Arteaga, E., & Horrillo-Caraballo, J. (2019). Renewables energies in Colombia and the opportunity for the offshore wind technology. *Journal of Cleaner Production*, 220, 529-543.
- Ruiz, I. (2021). *Estudio de viabilidad de un parque eólico marino en las costas Españolas*. Madrid: Universidad Pontificia Comillas.
- Sierra, V. (2015). Lineamientos de política pública a partir de la doble incidencia entre la ley 1448 de 2011 y los sobrevivientes del desplazamiento forzado. *Revista Eleuthera*(12), 162-177.
- sinnaps. (2020). *Matriz de involucrados de un proyecto*. Obtenido de <https://www.sinnaps.com/blog-gestion-proyectos/matriz-de-involucrados-excel>
- Super Intendencia de Industria y Comercio. (2025). *Super Intendencia de Industria y Comercio*. Obtenido de Super Intendencia de Industria y Comercio: <https://sipi.sic.gov.co/sipi/Extra/IP/PT/Qbe.aspx?sid=638907817239771946>
- UNE. (11 de Marzo de 2020). *Sistemas de generación de energía eólica*. Obtenido de <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0063447>

- UNE. (2021). *Sistemas de generación de energía eólica. Parte 3-1: Requisitos de diseño para aerogeneradores marinos fijos*. Obtenido de <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0065889>
- UPME. (diciembre de 2019). *UPME*. Obtenido de Plan Energético Nacional: https://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/PEN_documento_para_consulta.pdf
- UPME. (29 de Febrero de 2024). *Informe de Registro de Proyectos de Generación*. Obtenido de https://www1.upme.gov.co/siel/Inscripcion_proyectos_generacion/Registro_febrero_2024.pdf
- Villegas, et ál. (2018). Metodología para evaluación de impacto ambiental de proyectos de infraestructura en Colombia. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 28(2), 121-156.
- Wikiwand. (2025). *Wikiwand*. Obtenido de https://www.wikiwand.com/es/articles/Región_Caribe_%28Colombia%29
- Windfinder. (2025). *mapas del viento*. Obtenido de [es.windfinder.com: https://es.windfinder.com/#8/12.2837/-73.5205/spot](https://es.windfinder.com/#8/12.2837/-73.5205/spot)
- XM. (11 de Abril de 2024). *En marzo, los embalses de energía del país cerraron en un 31.51 %*. Obtenido de <https://www.xm.com.co/noticias/6754-en-marzo-los-embalses-de-energia-del-pais-cerraron-en-un-3151>