



Energía



Primera aproximación a la evaluación de sensibilidad ambiental frente al desarrollo de proyectos de energía eólica costa afuera en el Caribe colombiano



GRUPO BANCO MUNDIAL



Energy Sector Management Assistance Program

Tabla de contenido

| | |
|---|-----------|
| Resumen | 3 |
| Introducción | 4 |
| 1. Sensibilidad ambiental en el contexto del despliegue de la energía eólica costa afuera en Colombia | 7 |
| 2. Metodología para el mapeo de sensibilidad ambiental | 12 |
| 2.1. Área de estudio..... | 14 |
| 2.2. Aplicación de los pasos de la guía SenMap para el mapeo de la sensibilidad ambiental en el Caribe colombiano | 16 |
| 3 Análisis de información disponible | 29 |
| 3.1. Sensibilidad ambiental en el Área de Estudio | 29 |
| 3.2 Sensibilidad ambiental en el polígono del Área de Nominación - Resolución 40284 de 2022 y sus modificatorias | 33 |
| 4. Recomendaciones | 46 |
| 5. Referencias | 58 |
| Anexo 1 | 61 |
| Anexo 2. | 62 |

Resumen

El presente documento fue elaborado con base a la información presentada en los entregables de la consultora ERM bajo el contrato con objeto de realizar el mapeo de sensibilidad ambiental para informar la toma de decisiones sostenibles por parte de las diferentes autoridades y entidades que intervienen en garantizar el despliegue de la energía eólica marina en el Caribe colombiano, este estudio fue financiado por el Banco Mundial como parte de la cooperación técnica para el despliegue de la energía eólica costa afuera en Colombia.

Se trata de una primera aproximación al análisis de sensibilidad ambiental en el Caribe colombiano para el desarrollo del mercado de energía eólica costa afuera. Es importante señalar que la construcción de los mapas se realizó con información disponible y de acceso público, suministrada por entidades del Gobierno nacional participantes en el proceso. La información puede variar con el tiempo debido al comportamiento de los ecosistemas, la aparición de nuevos factores de presión en el área o la generación de datos adicionales derivados del levantamiento de líneas base ambientales en la zona de análisis; el presente documento cuenta con resultados provisionales que buscan en un futuro ser refinados con nueva información que sea generada por las entidades de gobierno.

Los mapas de sensibilidad ambiental se conciben como una herramienta de consulta para los interesados, que debe actualizarse de manera periódica en la medida en que se disponga de información más detallada o reciente. En todo caso, la identificación de áreas con alta o baja sensibilidad ambiental debe conducir a un análisis sobre cómo el desarrollo de nuevas actividades en zonas marino–costeras puede influir en dicha sensibilidad, más no, como una herramienta de decisión frente a permitir el desarrollo de diferentes actividades en áreas ambientales estratégicas. Este análisis debe complementarse con otras herramientas, como la Evaluación Ambiental Estratégica, e integrarse dentro de un Plan Espacial Marino, los cuales, el país bajo el liderazgo del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible se encuentran en desarrollo.

Introducción

En concordancia con lo establecido por el Gobierno de Colombia (GoC) en la Ley de Transición Energética¹, y su interés por integrar Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCER)² al Sistema Energético Nacional, el Ministerio de Minas y Energía - MME ha venido avanzando en la planificación temprana y sostenible de la industria eólica marina. Este esfuerzo busca diversificar la matriz energética, reducir la dependencia de los combustibles fósiles y, al mismo tiempo, contribuir al cumplimiento de los compromisos nacionales e internacionales en materia de cambio climático.

Con el propósito de fortalecer esta visión, bajo el marco de cooperación técnica para el despliegue de la energía eólica costa afuera, el MME realizó la solicitud de apoyo al Banco Mundial (BM), orientada a generar herramientas y conocimiento base para el despliegue de la energía eólica marina en el país. En el contexto de dicha colaboración, se elaboró el documento **Hoja de Ruta para el Despliegue de Energía Eólica Costa Afuera en Colombia**³; la cual se constituyó en un insumo clave para la expedición de la Resolución 40284 de 2022, que define el marco regulatorio para el desarrollo de esta nueva industria en el país⁴.

El crecimiento ordenado y sostenible de la energía eólica costa afuera exige una planificación anticipada que permita identificar las zonas más apropiadas para su implementación, considerando tanto las condiciones técnicas como las particularidades de los ecosistemas marino-costeros del Caribe colombiano. En este contexto, se reconoció la necesidad de realizar un ejercicio de aproximación al mapeo de sensibilidad ambiental en las áreas con potencial eólico previamente delimitadas en la Hoja de Ruta con la información disponible por parte de las entidades del gobierno nacional (

Figura 1).

¹ La Ley de Transición Energética en Colombia es la Ley 2099 de 2021, sancionada el 10 de julio de 2021. Tiene como objetivo impulsar la transición energética de Colombia hacia un sistema más sostenible, diversificado, resiliente y bajo en emisiones de carbono, promoviendo el uso de Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCER). Esta ley modifica el marco normativo del sector eléctrico colombiano. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=166326>

² La Ley de Transición Energética de Colombia (Ley 2099 de 2021) determina como Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCER) la energía solar, eólica, geotérmica, biomasa, mareomotriz y undimotriz (energía de mareas y olas), pequeñas centrales hidroeléctricas (PCH, generalmente hasta 20 MW), Hidrógeno verde y azul, y otras tecnologías emergentes, siempre que sean renovables, sostenibles y aprobadas por el Ministerio de Minas y Energía.

³ The Renewables Consulting Group & ERM. (2022). Hoja de ruta para el despliegue de la energía eólica costa afuera en Colombia. https://www.minenergia.gov.co/documents/5858/Español_Hoja_de_ruta_energía_eólica_costa_afuera_en_Colombia_VE_compressed.pdf

⁴ La Resolución 40284 de 2022 expedida por el Ministerio de Minas y Energía (MME) y la Dirección General Marítima (DIMAR) de Colombia, define las reglas, requisitos y condiciones mínimas del proceso competitivo para el otorgamiento de Permisos de Ocupación Temporal sobre áreas marítimas colombianas. <https://www.minenergia.gov.co/documents/8462/res-40284-2022.pdf>

Figura 1. Potencial técnico de energía eólica costa afuera en Colombia, en términos de capacidad instalada (en megavatios) dentro de un radio de 200 kilómetros desde la línea de costa. Las áreas rayadas indican zonas con potencial para energía eólica fija (profundidades menores a 50 metros). Las áreas punteadas indican zonas con potencial para energía eólica flotante (profundidades menores a 1.000 metros). Los colores representan la velocidad del viento en metros por segundo, desde valores más bajos (azul) hasta más altos (rojo). Fuente: Hoja de Ruta para el Despliegue de Energía Eólica Costa Afuera en Colombia (2022)

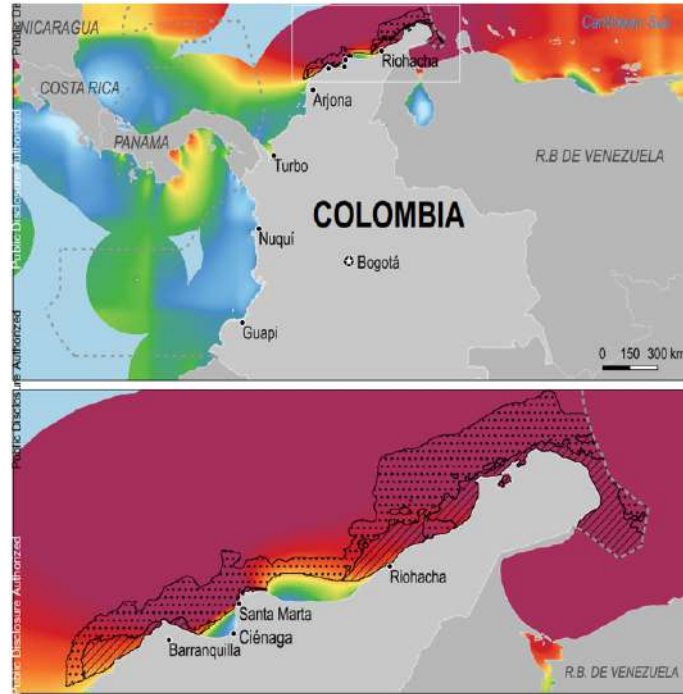
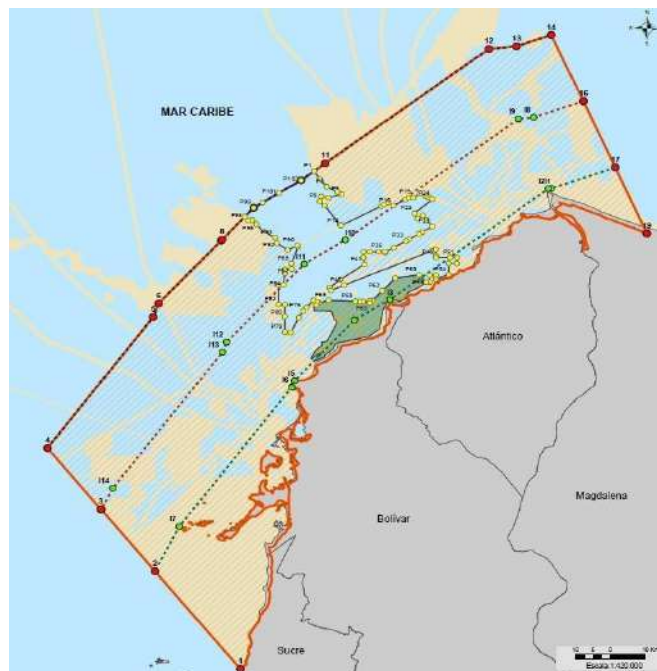


Figura 2. Polígono de la primera ronda de energía eólica costa afuera



En respuesta a esta necesidad, se diseñó e implementó un plan de trabajo orientado al mapeo de sensibilidad ambiental en el Caribe colombiano, con énfasis en la primera zona nominada para el establecimiento de la industria, definida en la Resolución 40284 de 2022 y sus modificatorias. (Figura 2)

La elaboración del presente documento tiene como objetivo presentar el proceso y resultados obtenidos en el ejercicio del mapeo de la sensibilidad ambiental en áreas con potencial para el desarrollo de la energía eólica marina en el Caribe colombiano. Así mismo, busca brindar a las autoridades ambientales y a posibles desarrolladores insumos clave para la toma de decisiones, que orienten una inversión productiva y sostenible en proyectos de eólica marina en el país.

1. Sensibilidad ambiental en el contexto del despliegue de la energía eólica costa afuera en Colombia

El Caribe colombiano alberga una gran diversidad de ecosistemas marinos y costeros, entre los que destacan más de 1.900 km² de arrecifes coralinos, manglares que cubren aproximadamente 125.000 hectáreas, praderas de pastos marinos y extensas áreas de importancia para especies migratorias (INVEMAR, 2022; Díaz et al., 2000). Esta riqueza biológica sustenta diversas funciones ecosistémicas clave para el suministro de servicios ecosistémicos, como la protección costera, la regulación climática y la y provisión de medios de vida para comunidades costeras. En este contexto, comprender y mapear la sensibilidad ambiental en relación con el desarrollo de la energía eólica costa afuera en Colombia, resulta esencial como punto de partida para tomar decisiones informadas y coherentes con el contexto y particularidades ecosistémicas del territorio.

El mapeo de la sensibilidad ambiental desempeña un papel clave, al proporcionar información espacial concreta sobre las áreas más idóneas para la instalación de parques eólicos marinos, y que representen el menor conflicto con factores ambientales sensibles. Su metodología consiste en la recopilación, análisis y representación espacial de información sobre especies, hábitats y áreas críticas, con el fin de clasificar zonas según su nivel de sensibilidad (baja, media, alta, muy alta), e identificar atributos de la biodiversidad, que puedan verse potencialmente afectados negativamente por proyectos de energía eólica marina (Banco Mundial 2024; Bennum et al., 2021; Allison et al., 2020).

La sensibilidad ambiental en el contexto de la energía eólica costa afuera depende del grado de susceptibilidad de especies, hábitats y ecosistemas frente a posibles riesgos o impactos negativos, derivados del desarrollo y operación de parques eólicos marinos costa afuera. Para determinar la sensibilidad de un atributo (especie o ecosistema), es fundamental considerar una combinación de factores biológicos, ecológicos y funcionales. La *Guía para la Planificación Espacial Temprana de la Energía Eólica Marina Costa Afuera* del Banco Mundial (2024), Guía SenMap de ahora en adelante en este documento, destaca que esta evaluación debe ir más allá de la presencia o ausencia de especies, y debe incorporar criterios como su rareza, grado de amenaza, estado poblacional, dependencia de hábitats específicos y vulnerabilidad frente a impactos directos de parques de energía eólica costa afuera⁵.

A continuación, la Tabla 1 expone los criterios de selección cualitativos para identificar los atributos de la biodiversidad que son potencialmente más sensibles al desarrollo de la energía eólica marina⁶.

⁵ La metodología propuesta en la Guía SenMap contempla tanto el análisis de sensibilidad ambiental como el social. No obstante, en el presente estudio su aplicación se limitó al componente ambiental, con el fin de focalizar el análisis en los atributos de biodiversidad y ecosistemas relevantes para el desarrollo de la energía eólica marina en el Caribe colombiano.

⁶ Los criterios de la Tabla 1 están alineados con GIIP99, por tanto, están en concordancia con los requisitos y expectativas de prestamistas internacionales para la evaluación de posibles riesgos a la biodiversidad.

Tabla 1 Criterios recomendados para la identificación de atributos de biodiversidad sensibles

| Criterio | Descripción |
|--|--|
| Estado de amenaza: Especies en Peligro Crítico (CR) y en Peligro (EN) | Priorizar especies y hábitats clasificados como en Peligro Crítico, En Peligro o Vulnerables en la Lista Roja de la UICN o en listados nacionales. |
| Distribución / Rareza: Especies endémicas o de rango restringido | La evaluación de la distribución geográfica es esencial para evaluar la sensibilidad ecológica. Las especies o hábitats con áreas de distribución geográfica limitadas, poblaciones pequeñas o áreas de presencia muy localizadas son típicamente más vulnerables a las perturbaciones. El desarrollo de la energía eólica marina, si no se ubica con cuidado, puede afectar desproporcionadamente a estas especies raras o endémicas debido a su distribución restringida y su menor capacidad de desplazamiento o recuperación. |
| Especies migratorias o congregatorias. | Las especies migratorias se caracterizan por el movimiento predecible y cíclico de una parte significativa de su población entre regiones geográficas distintivas. Por otro lado, las especies congregacionales se reúnen en grandes cantidades en sitios específicos de forma regular o estacional. Los patrones espaciales y temporales asociados a estos comportamientos, como las rutas migratorias, los lugares de parada y las zonas de agregación, son cruciales para su supervivencia. En consecuencia, el desarrollo de la energía eólica marina ubicado dentro o cerca de estas áreas clave, tiene el potencial de alterar significativamente el uso del hábitat y los patrones de movimiento de estas especies. |
| Indicadores adicionales de sensibilidad al desarrollo de la energía eólica marina | <p>Ciertos atributos sensibles podrían no ser fácilmente detectables con los conjuntos de datos espaciales existentes. Estos atributos pueden identificarse mediante literatura científica, observaciones de otros mercados de energía eólica marina o consultas con expertos. Las características clave incluyen:</p> <p>Comportamiento y rasgos morfológicos: más allá de los comportamientos migratorios o de agregación, las especies de aves que suelen volar dentro de la zona de barrido del rotor de las turbinas pueden enfrentar un mayor riesgo de colisión. Por el contrario, las especies que son reacias al riesgo o muestran un comportamiento de vuelo cauteloso pueden ser más propensas a los efectos de desplazamiento. Las aves más grandes, de vuelo más lento, con carga alar elevada o campos visuales limitados, son especialmente susceptibles a colisiones y posibles electrocuciones causadas por líneas eléctricas costeras. Además, los mamíferos marinos y los peces podrían verse afectados por el ruido submarino durante la fase de construcción de parques eólicos marinos.</p> |

| Criterio | Descripción |
|---|---|
| | <p>Características del ciclo de vida: Las especies con tasas de reproducción inherentemente bajas y alta supervivencia adulta (características típicas de muchas aves y mamíferos marinos) son particularmente vulnerables a los impactos a nivel poblacional causados por perturbaciones.</p> <p>Hábitats frágiles y fragmentados: La sensibilidad ecológica es mayor en zonas con hábitats limitados o fragmentados, donde las perturbaciones podrían provocar la pérdida de hábitat crítico. Por ejemplo, los hábitats del fondo marino, como los bancos de coral o las praderas de pastos marinos, podrían verse afectados por la instalación de cables submarinos de exportación para proyectos eólicos marinos.</p> |
| <p>Ecosistemas altamente amenazados y únicos, y hábitats naturales discretos</p> | <p>Esta categoría incluye ecosistemas y hábitats excepcionalmente raros, ecológicamente significativos o ampliamente modificados por la actividad humana. Estas áreas merecen una mayor consideración en las evaluaciones de sensibilidad debido a su vulnerabilidad e importancia para la conservación. Incluyen:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Ecosistemas en peligro crítico o en peligro: ecosistemas clasificados como En Peligro Crítico (CR) o En Peligro (EN) según los marcos nacionales o la Lista Roja de Ecosistemas de la UICN. -Áreas prioritarias de conservación: regiones identificadas como de alta prioridad para la conservación en evaluaciones sistemáticas realizadas por autoridades o instituciones científicas cualificadas. -Ecosistemas raros o de extensión limitada: ecosistemas con distribuciones muy restringidas o cuya presencia fuera del área de mapeo de sensibilidad definida es desconocida. -Hábitats naturales discretos: áreas caracterizadas por comunidades viables de especies nativas de plantas y animales, donde las funciones ecológicas y la composición de especies permanecen prácticamente inalteradas por la actividad humana. Estos hábitats suelen presentar una sensibilidad ecológica significativamente mayor. Los ejemplos incluyen, pero no se limitan a: praderas marinas, bosques de manglares, sistemas de coral y otros arrecifes, y playas críticas para la anidación de tortugas marinas. |
| <p>Irreemplazabilidad del hábitat y dependencia de especies a hábitats específicos</p> | <p>Este criterio considera la singularidad y la importancia ecológica de los hábitats críticos para mantener la biodiversidad y las funciones ecológicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Ecosistemas irreemplazables: ecosistemas cuya pérdida resultaría en daños ecológicos permanentes debido a la ausencia de alternativas viables de reemplazo o restauración. Estos hábitats únicos o críticos suelen presentar una mayor sensibilidad a las perturbaciones. -Dependencia de las especies de hábitats clave: las especies que dependen de hábitats específicos, como áreas de anidación, |

| Criterio | Descripción |
|---|--|
| | alimentación, reproducción o descanso, durante etapas esenciales de su ciclo de vida son particularmente vulnerables. La degradación o pérdida de estos hábitats puede tener impactos significativos a nivel poblacional. |
| Vulnerabilidad a impactos específicos | <p>Es importante evaluar la susceptibilidad de las especies y los ecosistemas a los diversos impactos potenciales asociados con el desarrollo de la energía eólica marina, como colisiones, perturbaciones acústicas, vibraciones y fragmentación o degradación del hábitat.</p> <p>Ciertos grupos biológicos y ecosistemas son particularmente sensibles a estos factores de estrés, entre ellos:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Especies de aves: Aves marinas, aves migratorias y poblaciones de aves costeras, así como murciélagos, que pueden ser vulnerables a riesgos de colisión y desplazamiento. -Fauna marina: Mamíferos marinos (p. ej., ballenas y delfines), tortugas y especies de peces sensibles al sonido subacuático. -Hábitats sensibles: Arrecifes de coral, praderas marinas, manglares, ecosistemas bentónicos y zonas críticas de anidación y cría, que pueden verse afectados negativamente por las actividades de construcción y operación. |
| Áreas Legalmente Protegidas (ALPs), Áreas Reconocidas Internacionalmente (IRAs) y otras zonas designadas | Estas áreas están sujetas a diversos grados de protección legal, objetivos de gestión y restricciones regulatorias que rigen su acceso y uso. Dependiendo de su estado de conservación y clasificación, estas áreas pueden designarse como zonas de exclusión o regiones de alta sensibilidad al desarrollo de la energía eólica marina. Considerar estas clasificaciones es esencial para garantizar su coherencia con las prioridades de conservación y los requisitos legales. |
| Importancia funcional y ecológica | Se debe dar prioridad a las especies que desempeñan un papel fundamental en el mantenimiento de la estructura y el funcionamiento del ecosistema. Esto incluye especies clave e ingenieras del ecosistema, cuya eliminación podría generar efectos en cascada substanciales, fundamentalmente alterando la biodiversidad, la estabilidad del hábitat, y en general, la resiliencia del ecosistema. |

Fuente: Adaptado de la guía SenMap, Banco Mundial, 2024. *Guía para la Planificación Espacial Temprana de la Energía Eólica Marina Costa Afuera.*

Como se menciona en la Tabla 1, uno de los criterios para evaluar la sensibilidad de especies y ecosistemas es su vulnerabilidad frente a impactos específicos asociados a la operación de la industria eólica marina costa afuera, no solamente aquellas ubicadas cerca a los parques, sino también ubicados en zona terrestre donde pueden realizarse actividades de conexión. De acuerdo con la literatura y la experiencia acumulada en países donde las instalaciones de eólica marina ya están en funcionamiento, se han identificado determinados grupos específicos de fauna y ecosistemas con mayor sensibilidad a las presiones ambientales asociadas con la construcción y

operación de infraestructuras de energía eólica marina (UICN & TBC, 2021; Bennun et al., 2021). Estos grupos y ecosistemas son:

- Aves marinas
- Aves playeras/costeras
- Mamíferos marinos
- Tortugas marinas
- Murciélagos
- Peces marinos
- Arrecifes de coral
- Manglares
- Pastos marinos

A partir de la información disponible y abierta frente a la ubicación de los anteriores grupos y ecosistemas, la cual, fue suministrada por parte de las entidades del gobierno nacional que participaron dentro del proceso de análisis y revisión de los productos de la consultoría, se presenta a continuación un resumen de la primera aproximación al SenMap del Caribe colombiano para el desarrollo de la energía eólica costa afuera en el país.

2. Metodología para el mapeo de sensibilidad ambiental

La metodología aplicada para el estudio de la sensibilidad ambiental en áreas con potencial eólico en el Caribe Colombiano, se llevó a cabo siguiendo los pasos establecidos en la Guía SenMap del Banco Mundial (2024)⁷. Esta guía consta de una serie de pasos a seguir para llegar a establecer la sensibilidad ambiental de un área de interés, con el propósito de aportar a la planificación espacial sostenible en etapas tempranas del desarrollo de la industria eólica marina costa afuera, en países con mercados emergentes.

Su aplicación y resultados permiten identificar áreas con mayor o menor sensibilidad ambiental, brindando información espacial sobre zonas más aptas para el desarrollo de la industria. Lo anterior, puede ser un importante aporte para entidades gubernamentales y desarrolladores, al facilitar la selección de sitios más adecuados, planificar medidas de mitigación y considerar contingencias financieras en procesos licitatorios competitivos. Además, brinda información ambiental útil para la elaboración de Evaluaciones de Impacto Ambiental (EIAs) a escala regional, previo a llevar a cabo actividades de recolección de datos más detalladas a nivel local (Banco Mundial, 2024).

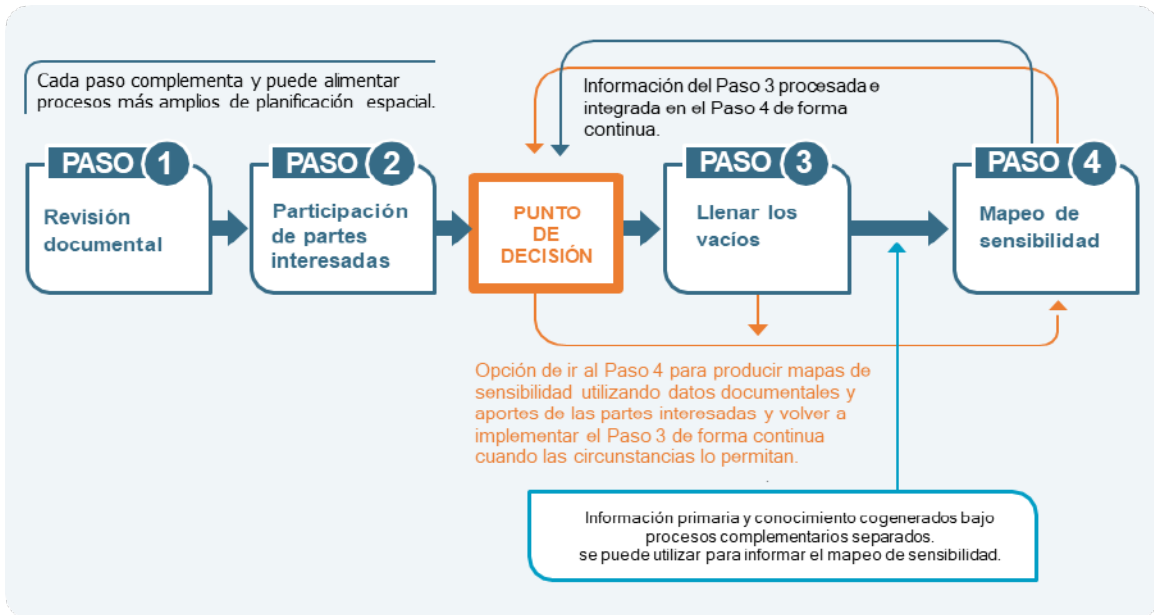
En resumen, la guía SenMap plantea 4 pasos a seguir para la obtención de los mapas de sensibilidad ambiental. Estos pasos se describen a continuación, y se aprecian en la Figura 32.

- **Paso 1 | Revisión documental:** Recopilar y filtrar datos para identificar los atributos ambientales más relevantes que podrían ser sensibles al desarrollo de energía eólica costa afuera, asignando puntuaciones preliminares de sensibilidad (Tabla 1).
- **Paso 2 | Participación de actores clave:** Identificar y relacionarse con las principales partes interesadas para revisar y validar los resultados del Paso 1. Comprender mejor las posibles sensibilidades, e identificar los principales vacíos de información relevantes para entender mejor la sensibilidad ambiental en el Caribe colombiano.
- **Paso 3 | Revisión de atributos de biodiversidad y su puntuación de sensibilidad:** realizar una revisión de los atributos de la biodiversidad seleccionados y puntuaciones preliminares de sensibilidad con base en los resultados del Paso 2, y contribuir así con los datos espaciales disponibles para la elaboración de mapas de sensibilidad en el Paso 4⁸.
- **Paso 4 | Elaboración de mapas de sensibilidad:** Preparación de los mapas de sensibilidad, a escala de paisaje o paisaje marino, para informar la planificación espacial temprana de proyectos de energía eólica costa afuera.

Figura 3 Pasos planteados en la guía SenMap para el estudio de sensibilidad ambiental.

⁷ World Bank Group. 2024. *Integrated Environmental & Social Sensitivity Mapping: Guidance for Early Offshore Wind Spatial Planning*. Washington, DC: World Bank Group.

⁸ Parte del Paso 3 de la Guía SenMap corresponde a la toma de información primaria en campo para llenar los vacíos de información identificados en el Paso 2 (“3.1: Planificar e implementar la recopilación de información primaria, 3.2: Revisar las puntuaciones de sensibilidad”, Cap 5 Guía SenMap). En este caso, debido a que la actividad de recolección de datos primarios no se llevó a cabo, se realizó una adaptación del Paso 3 de la Guía SenMap a lo que fue desarrollado como tal; es decir, la revisión de los puntajes de sensibilidad.



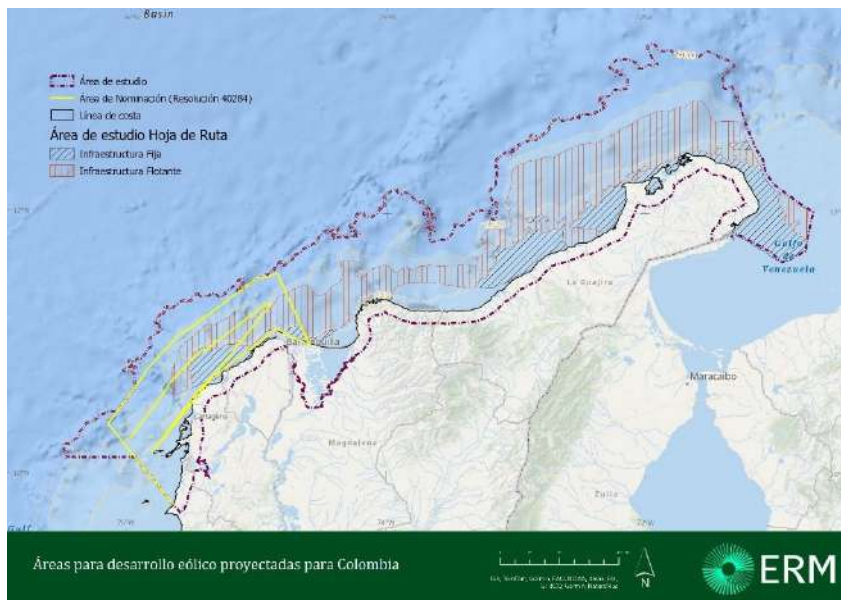
Fuente: Adaptado de la guía SenMap, Banco Mundial, 2024. *Integrated Environmental & Social Sensitivity Mapping: Guidance for Early Offshore Wind Spatial Planning.*

Es importante señalar que éste enfoque ha sido diseñado para ser iterativo, lo que permite preparar versiones preliminares de los mapas de sensibilidad en el Paso 4, con actualizaciones posteriores a medida que se disponga de nueva información. Lo anterior resulta particularmente importante en el contexto colombiano, ya que este enfoque permite integrar gradualmente información, haciendo el ejercicio dinámico y cambiante en el tiempo a medida que se cuente con más información ambiental en el país.

2.1. Área de estudio

El área de estudio se determinó con base en las zonas con potencial eólico establecidas en el documento *Hoja de Ruta para el Despliegue de Energía Eólica Costa Afuera en Colombia (2022)* (Figura 4); adicionalmente, se presentan criterios adicionales para el área de estudio como marco de delimitación para el análisis de información.

Figura 4 Área de Estudio establecida para el mapeo de sensibilidad ambiental en áreas con potencial eólico en el Caribe colombiano



. Fuente: Reporte interno de consultoría ERM (2025).

- **Profundidad máxima. Áreas con profundidades menores a 2.000m.**

Se delimitaron áreas con profundidades menores a 2.000 m, dado que la implementación de proyectos de energía eólica marina a profundidades mayores presenta desafíos técnicos y económicos significativos, que limitan su viabilidad.

- **Velocidad del viento. Áreas con velocidad del viento mayor a 7m/s.**

Se priorizaron zonas con velocidades de viento superiores a 7 m/s, ya que valores por encima de este umbral maximizan la producción energética y optimizan la rentabilidad de los proyectos.

- **Franja continental. Inclusión de una franja continental de 10km.**

Se incluyó una franja terrestre de 10 km de ancho, dado que concentra la mayor parte de las interacciones relevantes de biodiversidad para el mapeo de sensibilidad. Esta delimitación se fundamenta en la Guía SenMap (Banco Mundial, 2024), que recomienda establecer un buffer práctico y equilibrado, evitando incluir áreas terrestres sin relación directa con el desarrollo de la energía eólica marina, pero considerando aspectos como la localización potencial de infraestructura en tierra y la presencia de comunidades costeras.

- **Ecosistemas marino costero:**

Para la construcción y definición de criterios para el SenMap se incluyeron los ecosistemas marino costeros definidos por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) donde se incluyen tanto los ecosistemas terrestres como los marinos que cubre áreas de playas, manglares, humedales, arrecifes coralinos, entre otros.

2.2. Aplicación de los pasos de la guía SenMap para el mapeo de la sensibilidad ambiental en el Caribe colombiano

Cada uno de los pasos descritos en la sección anterior (1 a 4), consta de una serie de tareas a seguir, que conllevan gradualmente a la obtención y refinamiento de la sensibilidad ambiental. A continuación, se describen las tareas y resultados obtenidos en el Paso 1.

Paso 1. Revisión documental.

El paso 1 se ejecutó a partir de la revisión de documentos y datos espacializadas correspondiente a información ambiental y de biodiversidad para el área de estudio.

Paso 1.1 Identificación y recopilación de información disponible de escritorio

La revisión información disponible de escritorio se realizó a través de la consulta de información pública en los diferentes portales y plataformas de entidades de gobierno (ejemplo: INVEMAR, IDEAM, Parques Nacionales Naturales, etc), así como a partir de la solicitud de información directa a las entidades (Corporaciones Autónomas Regionales, ANLA, DIMAR, entre otros). Para ello, el MME realizó una serie de solicitudes de información a entidades gubernamentales y universidades, consideradas relevantes por su capacidad para generar y disponer de datos espaciales ambientales pertinentes para la zona de estudio. En total, se realizó la solicitud de información a 30 entidades adscritas al Gobierno Nacional y 5 universidades.

Paso 1.2 Filtro de la información recopilada para identificar atributos de biodiversidad potencialmente sensibles

A partir de la información espacial obtenida, se estableció una lista de atributos de biodiversidad potencialmente sensibles a la actividad eólica marina, a ser considerados para la construcción del mapeo de sensibilidad ambiental. En este paso, se identificaron 14 atributos de biodiversidad potencialmente sensibles a la actividad de eólica marina en el Caribe colombiano Tabla 2.

Paso 1.3 Calificación preliminar de sensibilidad ambiental

Una vez se estableció la lista inicial de atributos de biodiversidad para el mapeo de la sensibilidad ambiental, se realizó una calificación preliminar de sensibilidad para cada uno de ellos. Esta precalificación sería posteriormente revisada en conjunto con actores clave durante taller presencial.

Para adjudicar una calificación de sensibilidad a los atributos de biodiversidad, se planteó una escala de 5 puntos que representa las implicaciones en términos de la planeación espacial para el desarrollo de la industria eólica marina en el área de estudio; donde 5 es sensibilidad Muy alta, 4 sensibilidad Alta, 3 Moderada, 2 Baja y 1 Desconocida. Las diferentes categorías y sus correspondientes implicaciones se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2 Escala de 5 puntos para calificar la sensibilidad ambiental.

| Puntuación de Sensibilidad | Categoría de Sensibilidad | Descripción. Implicaciones del mapeo de sensibilidad para la planificación espacial de la energía eólica marina |
|----------------------------|---------------------------|---|
| 5 | Muy Alta | Según las evidencias disponibles, es probable que deba evitarse el desarrollo en estas zonas. Estas zonas son de suma importancia. Es probable que los impactos del desarrollo sobre la biodiversidad sean irreversibles y que la mitigación, de ser posible, sea extremadamente limitada y difícil. Es esencial realizar más estudios detallados y consultas en profundidad a nivel regional y/o de proyecto. |
| 4 | Alta | Según las pruebas disponibles, es muy probable que sea necesario imponer restricciones al desarrollo. La mitigación de los impactos del desarrollo de acuerdo con la jerarquía de mitigación puede resultar difícil e incierta. Para tomar decisiones informadas sobre el potencial de desarrollo de estas zonas antes de que se establezcan los proyectos, se requieren más estudios detallados y consultas con las partes interesadas para comprender mejor los atributos específicos y el tipo de impacto(s) de la energía eólica marina a los que podrían ser susceptibles. |
| 3 | Moderada | Sobre la base de las pruebas disponibles, el desarrollo puede ser posible, con restricciones acordes con la jerarquía de mitigación. Para determinar qué tipo de restricciones pueden ser adecuadas (por ejemplo, los tiempos de la actividad de construcción, o protocolos específicos de construcción), se requieren más investigaciones detalladas y consultas con las partes interesadas a nivel de proyecto. |
| 2 | Baja | Es probable que el desarrollo en estas zonas sea aceptable, en consonancia con la jerarquía de mitigación y sujeto a investigaciones a nivel de proyecto y consultas con las partes interesadas para confirmar la baja sensibilidad. |
| 1 | Desconocida | Se requiere más información para conocer la sensibilidad ambiental de estas áreas. El desarrollo debe considerarse tras un trabajo adicional (por ejemplo, recopilación de datos adicionales o actividades de cogeneración de conocimientos y consulta a las partes interesadas) para comprender las características de estas áreas y conocer las características de sensibilidad que pueden presentarse en estas. |

Fuente: Adaptado de la guía SenMap, Banco Mundial, 2024. *Integrated Environmental & Social Sensitivity Mapping: Guidance for Early Offshore Wind Spatial Planning.*

La Tabla 3 resume los resultados de las tareas llevadas a cabo en el paso 1 para el estudio y determinación de la sensibilidad ambiental.

Tabla 3 Tareas y principales resultados obtenidos en el Paso 1: Revisión Documental.

| Paso 1. Revisión Documental | |
|---|--|
| Tarea | Principales resultados |
| 1.1 Identificación y recopilación de información disponible de escritorio | <p>Consulta de datos espaciales en plataformas digitales de entidades de gobierno. Presentación del proyecto por parte del MME y solicitud de información espacial a 30 entidades de gobierno y 5 universidades</p> <hr/> <p>Identificación inicial de 14 atributos de biodiversidad potencialmente sensibles a la actividad eólica marina:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Bosque Seco Tropical <hr/> <ol style="list-style-type: none"> 2. Registro de Ecosistemas y Ateas Ambientales - REAA 3. Sistema Nacional de Áreas Protegidas - SINAP 4. Reserva de la Biosfera 5. Áreas Importantes para la conservación de Aves - AICAS 6. Humedales RAMSAR 7. Ecosistemas de Colombia |
| 1.2 Filtro de información recopilada para identificar atributos de biodiversidad potencialmente sensibles | <ol style="list-style-type: none"> 8. Cobertura de la tierra (2018) 9. Área Marina Protegida - AMP 10. Reservas de Ley Segunda 11. Áreas Significativas para la Biodiversidad - ASB 12. Ecosistemas marinos (Manglares, Pastos Marinos y Áreas Coralinas, Playas, Litorales rocosos, Fondos blandos, estuarios, deltas, lagunas y humedales costeros) 13. Sitios prioritarios para la Conservación SPC 14 CONPES 3680; Áreas prioritarias para la Conservación de la Biodiversidad <p>Calificación preliminar de 14 atributos de biodiversidad:</p> <p>Muy alta: Bosque Seco Tropical, Áreas Marinas Protegidas (AMP), Registro Único de Áreas Protegidas - RUNAP, Humedales RAMSAR, Ecosistemas de Colombia, Coberturas de la tierra, Áreas Marinas Protegidas - AMP, Ecosistemas Marinos</p> |

1.3 Calificación preliminar de sensibilidad ambiental

Alta: Registro de ecosistemas de áreas ambientales - REAA, Registro Único de Áreas Protegidas - RUNAP, Áreas importantes para la conservación de las aves - AICAS, Reserva de la Biosfera, Ecosistemas de Colombia, Coberturas de la tierra, Reservas de Lay Segunda, Áreas Significativas para la Biodiversidad - ASB, Sitios Prioritarios de Conservación - SPC.

Moderada: Registro de ecosistemas de áreas ambientales - REAA, Ecosistemas de Colombia, Coberturas de la tierra, Ecosistemas Marinos, Áreas Significativas para la Biodiversidad - ASB, Sitios Prioritarios de Conservación - SPC.

Baja: Ecosistemas de Colombia, Coberturas de la tierra, Áreas Significativas para la Biodiversidad - ASB, Sitios Prioritarios de Conservación - SPC.

Desconocida: Ecosistemas de Colombia

Paso 2. Participación de actores clave

El Paso 2 aporta a iniciar un diálogo abierto con actores clave en temas de biodiversidad y ambiente en la zona de estudio, con el fin de desarrollar una comprensión a nivel del paisaje marino en el contexto ambiental para el desarrollo de la energía eólica marina. Además, busca revisar y validar la información recopilada en el Paso 1, y aportar a la identificación de vacíos prioritarios de información.

Paso 2.1 Mapeo de actores clave y acercamiento

Teniendo en cuenta el contexto del país y aspectos inherentes al desarrollo de la industria eólica marina en el marco ambiental, se llevó a cabo una identificación de actores clave a ser convocados a las reuniones planeadas para el ejercicio de mapeo de la sensibilidad. Estos actores corresponden con las entidades a las que se realizó presentación del proyecto y solicitud de información por medio de comunicado oficial de parte del MME.

En esta línea, se realizó un primer encuentro virtual, el día 21 de Julio de 2024. Este encuentro tuvo como objetivo socializar la iniciativa del mapeo de sensibilidad ambiental, así como recibir aportes y dudas al desarrollo del mismo. Dicha reunión contó con la asistencia de 52 participantes pertenecientes a 10 entidades (Tabla 4).

Paso 2.2 Revisión y validación de datos existentes y calificación preliminar de sensibilidad

Posterior al primer encuentro virtual, se llevó a cabo un segundo encuentro presencial en la Agencia Nacional de Hidrocarburos – ANH en la ciudad de Bogotá, durante los días 15 y 16 de Agosto del 2024 (Figura 5).

Este segundo encuentro tuvo como objetivo socializar y revisar las puntuaciones preliminares de los atributos de biodiversidad iniciales seleccionados para construir el mapa de sensibilidad ambiental, en conjunto con las entidades presentes, así como, la posibilidad de incluir información adicional de la Las contestaciones a la pregunta arrojaron respuestas dentro del ámbito de la gestión de la información existente, así como de la actualización y generación de nuevo conocimiento, en su mayoría orientado a la identificación de rutas migratorias y de tránsito de aves y mamíferos marinos.

A continuación, la Tabla 3 presenta los resultados de las tareas llevadas a cabo en el paso 2 – Participación de Actores Clave. ya suministrada (Tabla 4).

Tabla 4 Tareas y principales resultados obtenidas en el Paso 2: Participación de Actores Clave.

| Paso 2. Participación de Actores Clave | |
|---|--|
| Tarea | Principales resultados |
| 2.1 Mapeo de actores clave y acercamiento | <p>Identificación de actores clave a ser convocados a las reuniones planeadas para el ejercicio de mapeo de la sensibilidad. En total se identificaron 30 entidades de gobierno y 5 universidades (Anexo 1). Realización de un primer encuentro virtual el 21 de Julio de 2024. Se contó con la participación de 52 asistentes pertenecientes a las siguientes 10 entidades:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Comisión Colombiana del Océano CCO 2. Ministerio de Minas y Energía - MME 3. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Dirección de Asuntos Marinos, Costero y Recursos Acuáticos - Minambiente; DAMCRA. 4. Autoridad nacional de Licencias Ambientales - ANLA 5. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andrés - INVEMAR 6. Instituto de investigación de recursos biológicos Alexander Von Humboldt 7. Unidad de Planeación Minero-Energética - UPME 8. Corporación Autónoma Regional de la Guajira - Corpoguajira 9. Corporación Autónoma Regional del Magdalena -Corpamag 10. Banco Mundial <p>Segundo encuentro en la Agencia Nacional de Hidrocarburos – ANH Bogotá, durante los días 15 y 16 de Agosto del 2024; con el fin de socializar y revisar las puntuaciones preliminares de los atributos de biodiversidad iniciales seleccionados. Asistieron 34 y 29 personas cada día; representando un total de 11 entidades:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Ministerio de Minas y Energía - MME 2. Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca - AUNAP 3. Dirección General Marítima - DIMAR 4. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andrés - INVEMAR |

2.2 Revisión y validación de datos existentes y calificación preliminar de sensibilidad

5. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Dirección de Asuntos Marinos, Costero y Recursos Acuáticos. Dirección de Asuntos Ambientales, Sectorial y Urbana. Minambiente; DAMCRA y DAASU.

6. Autoridad nacional de Licencias Ambientales - ANLA

7. Corporación Autónoma Regional del Magdalena - CORMAGDALENA

8. Servicio Geológico Colombiano - SGC

9. Unidad de Planeación Minero-Energética - UPME

10. Fondo de Energías no Convencionales y Gestión Eficiente de la Energía - FENOGÉ

11. Banco Mundial - BM

No se cuenta con información espacial concreta con respecto a las rutas migratorias de las aves.

Se desconoce información con respecto a las rutas migratorias de mamíferos marinos en el caribe colombiano, pues aun cuando se cuenta con avistamientos, no se conoce con claridad recorridos o rutas que puedan dar información sobre posibles corredores marinos empleados por estos mamíferos.

2.3 Identificación de vacíos de información prioritarios

Aun cuando se cuenta con información proveniente de observaciones de fauna marina en el caribe colombiano, se evidencia una barrera para poder usar esta información como tal, ya que corresponde a observaciones puntuales.



Figura 5. Mesas de trabajo organizadas en taller presencial en el marco del desarrollo del mapeo de sensibilidad ambiental.

Paso 3. Revisión de atributos de biodiversidad y su puntuación de sensibilidad

El paso 3 consistió en llevar a cabo una segunda revisión tanto de los atributos de biodiversidad seleccionados inicialmente como de sus calificaciones preliminares, tomando como base los resultados del taller presencial y reuniones individuales con determinados actores de interés. Esta revisión se llevó a cabo con el fin de realizar la selección y calificación más idónea de los datos espaciales de biodiversidad a ser considerados en el mapeo de sensibilidad ambiental.

Con base en lo anterior, se redefinió la lista de atributos de biodiversidad identificados inicialmente, dando lugar a una lista final de 14 atributos, como lo muestra la Tabla 5; respecto a los 14 atributos seleccionados al iniciar el proceso, se realizó el cambio e inclusión de dos atributos: *i)* Áreas de Importancia y Singularidad Ecosistémica de Colombia – AISE (Instituto Humboldt, 2021) y *ii)* Lista roja de ecosistemas de Colombia (Etter et al., 2017).

A continuación, la Tabla 5 muestra los atributos de biodiversidad seleccionados para realizar el mapeo de la sensibilidad ambiental y su correspondiente puntuación final de sensibilidad, en orden de su ubicación espacial: continental, marino costero y marino.

Tabla 5. Lista final de Atributos de biodiversidad empleados para el mapeo de la sensibilidad ambiental y su correspondiente puntuación de sensibilidad.

| | Atributo de Biodiversidad | Puntuación de Sensibilidad | Ubicación en el Área de Estudio |
|---|--|-----------------------------------|--|
| 1 | Bosque seco tropical - BsT (MinAmbiente, 2023) | Muy Alta | Continental |
| 2 | Reservas Ley Segunda (Minambiente, 2023) | Alta | Continental |
| 3 | Registro de ecosistemas y áreas ambientales - REAA (Minambiente, 2024) | Moderada | Continental |
| 4 | Áreas de Importancia y Singularidad Ecosistémica de Colombia (IAvH, 2021) | Alta | Continental |
| 5 | Humedales RAMSAR (MinAmbiente, 2020) | Muy Alta | Continental |
| 6 | Ecosistemas de Colombia (IDEAM, 2017) | | |
| | Ecosistemas nacionales naturales: Arbustal; Bosque; Bosque fragmentado; Lago; Laguna; Rio; Sabana; Subxerofítica; Turbera; Xerofítica; Zona pantanosa; | Muy Alta | |
| | Herbazal; complejos rocosos; Cuerpos de agua artificial | Alta | Continental |
| | Ecosistemas Transicional transformado; Otras áreas; desierto | Moderada | |
| | Ecosistema agroecosistema; territorio artificializado | Baja | |
| | Sin información | Desconocida | |
| 7 | Coberturas de la tierra (IDEAM, 2018) | | Continental |

| Atributo de Biodiversidad | Puntuación de Sensibilidad | Ubicación en el Área de Estudio |
|---|----------------------------|---------------------------------|
| Bosque denso; Bosque abierto; Bosque fragmentado; Bosque de galería y ripario; Herbazal; Arbustal; Zonas arenosas naturales; Afloramientos rocosos; Zonas glaciares y nivales; Áreas húmedas; Ríos; Lagunas, lagos y ciénagas naturales; Lagunas costeras; | Muy Alta | |
| Vegetación secundaria o en transición; Tierras desnudas y degradadas; Canales; Cuerpos de agua artificiales | Alta | |
| Cobertura de la tierra: Áreas agrícolas heterogéneas; Plantación forestal; Estanques para acuicultura marina | Moderada | |
| Territorios artificializados; Cultivos transitorios; Cultivos permanentes; Pastos | Baja | |
| 8 Lista Roja de Ecosistemas de Colombia (Etter et al., 2017) | | |
| Ecosistemas en peligro crítico - CR | Muy Alta | |
| Ecosistemas en peligro - EN | Alta | Continental |
| Ecosistemas vulnerables - VU | Moderada | |
| Ecosistemas en preocupación menor - LC | Baja | |
| 9 Reserva de la biósfera (Minambiente, 2020) | | |
| | Alta | Continental-Marino Costero |
| 10 Áreas Claves para la Biodiversidad – KBA – y Áreas importantes para la conservación de las aves - AICAS (IAvH, 2024) | | |
| AICAS y KBA | Muy Alta | Continental-Marino Costero |
| AICAS | Alta | |
| 11 Ecosistemas Marinos (INVEMAR, 2017) | | |
| Manglares, Pastos Marinos y Áreas Coralinas | Muy Alta | Continental-Marino Costero |
| Playas, Litorales rocosos, Fondos blandos, estuarios, deltas, lagunas y humedales costeros | Alta | |
| 12 Sistema Nacional de Áreas Protegidas - SINAP (PNN, 2024) | | |
| Parques Nacionales Naturales Reserva Natural Santuario de Fauna Santuario de Fauna y Flora Vía Parque Parque natural regional Reservas naturales de la sociedad civil Distrito nacional de manejo integrado (AMP) Distrito regional de manejo integrado (AMP) | Muy Alta | Continental-Marino Costero |

| | Atributo de Biodiversidad | Puntuación de Sensibilidad | Ubicación en el Área de Estudio |
|-----------|--|-----------------------------------|--|
| | Distrito de conservación de suelos Distrito nacional de manejo integrado Distrito regional de manejo integrado Reservas forestales protectoras nacionales Reservas forestales protectoras regionales | Alta | |
| 13 | Sitios Prioritarios de Conservación - SPC (INVEMAR/CARDIQUE 2008/20216) | | Continental- Marino Costero |
| | 45 Sitios Prioritarios de Conservación SPC | Alta | |
| | 16 Sitios Prioritarios de Conservación SPC | Moderada | |
| | 7 Sitios Prioritarios de Conservación SPC | Baja | |
| 14 | Áreas Significativas para la Biodiversidad - ASB (INVEMAR, 2010) | | |
| | Áreas con presencia de especies amenazadas y/o corales de profundidad | Alta | Marino costero- Marino |
| | Áreas con presencia de especies susceptibles a explotación y/o especies de distribución restringida. | Moderada | |
| | Todas las demás áreas calificadas como ASB | Baja | |

Paso 4. Mapeo de la Sensibilidad Ambiental

El Paso 4 integra la información recopilada en los Pasos 1, 2 y 3 con el propósito de construir mapas en cuadrículas para cada atributo o grupo de atributos, a partir de la lista final de atributos de biodiversidad y sus respectivas puntuaciones de sensibilidad, presentadas en el paso anterior (Tabla 5). Una vez se cuenta con los mapas individuales en formato ráster que representan la sensibilidad de cada atributo, se procede a la elaboración del mapa de sensibilidad ambiental consolidado.

Paso 4.1 Elaboración de mapas de sensibilidad por atributo de biodiversidad

Este paso consistió en la elaboración de mapas en cuadrículas (archivo tipo ráster) de cada uno de los atributos de biodiversidad seleccionados y sus puntuaciones de sensibilidad (Tabla 5), los cuales se encontraban originalmente en archivos espaciales tipo vector (.shp). Para esto, teniendo en cuenta la escala de la información vectorial recopilada, así como la escala de país empleada para planificaciones estratégicas y de realización de productos espaciales a nivel regional, se estableció estandarizar los datos a un tamaño de grilla de 50m⁹.

Paso 4.2 Elaboración de mapas de sensibilidad consolidados

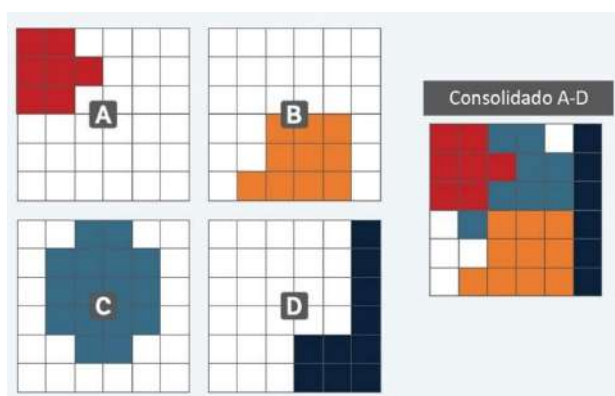
Una vez obtenidos los mapas en cuadrículas de cada uno de los atributos de biodiversidad, junto con sus respectivas puntuaciones de sensibilidad, se procedió a la construcción de un mapa de sensibilidad ambiental que consolida la información de todos y cada uno de los atributos. Para ello,

⁹ El procesamiento de todos los datos espaciales de este ejercicio se realizó en el Software ArcGis Pro

fue preciso determinar un método de agregación, que, al superponer los 14 atributos, integrara las puntuaciones de sensibilidad correspondientes en cada celda de la cuadrícula. Para este ejercicio, se estableció realizar el mapa de sensibilidad resultante aplicando dos métodos de agregación: i) método de valores máximos, y ii) método de valores promedio.

El **método de agregación por valores máximos** consiste en utilizar la puntuación del atributo más sensible dentro de cada celda de la cuadrícula al superponer todos los atributos. Así; determinada celda tomará el valor del atributo con mayor puntuación de sensibilidad que se sobreponga (Figura 6).

Figura 6 . Izquierda: Mapas de sensibilidad por celda para cada atributo individual (A = sensibilidad muy alta, B = sensibilidad alta, C = sensibilidad moderada y D = sensibilidad baja). Derecha: Mapa consolidado basado en el atributo con la puntuación de sensibilidad más alta por celda.

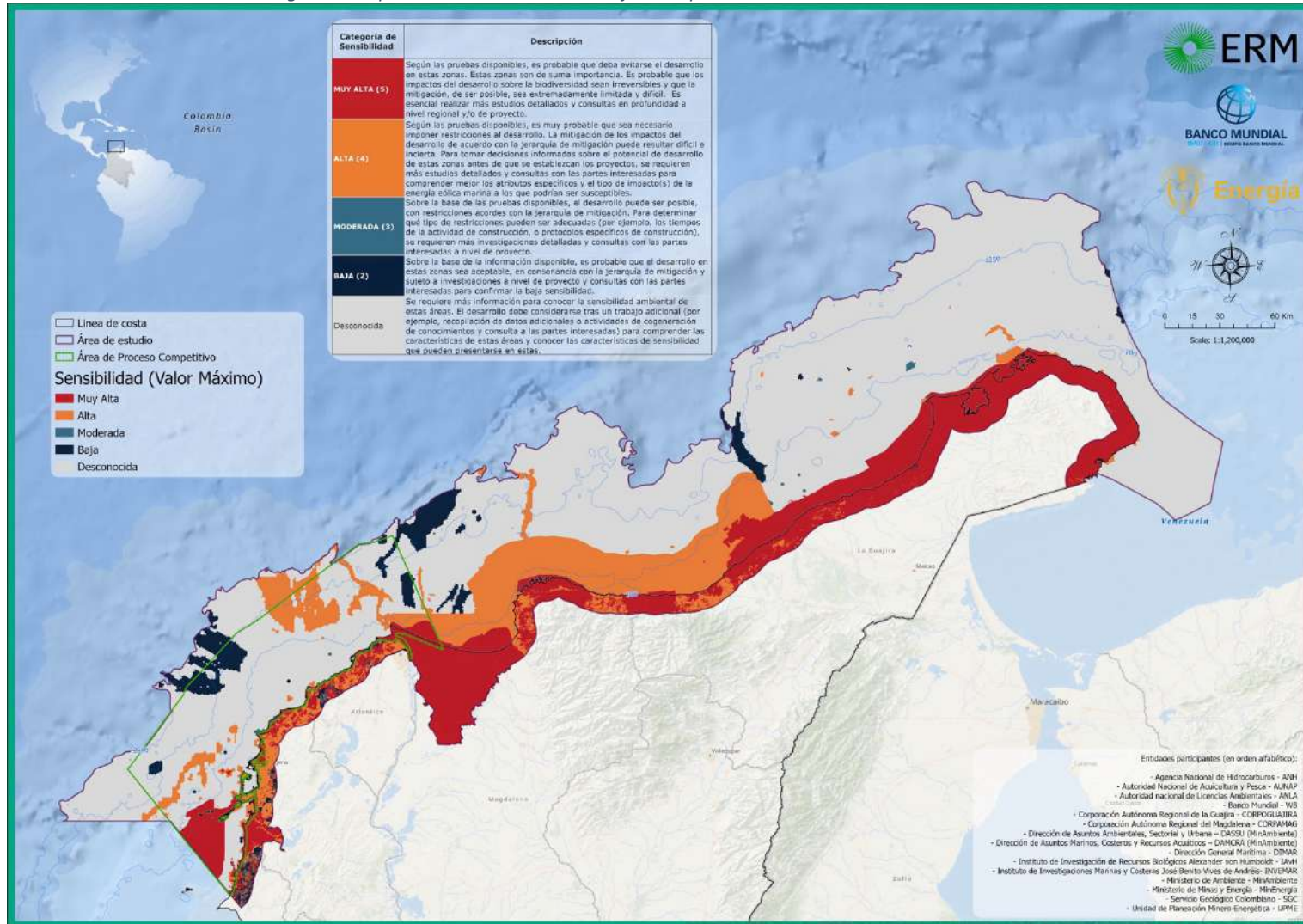


Fuente: World Bank Group. 2024. *Integrated Environmental & Social Sensitivity Mapping: Guidance for Early Offshore Wind Spatial Planning*.

El **método de agregación por valores promedio** consiste en sumar las puntuaciones de sensibilidad de los atributos de biodiversidad presentes en una determinada celda o área, y dividir este valor entre el número total de atributos que ocurren en dicha celda. De este modo, se obtendrán, por ejemplo, celdas donde se superponen dos atributos (suma de las puntuaciones dividida entre 2), así como otras donde convergen los 14 atributos (suma dividida entre 14).

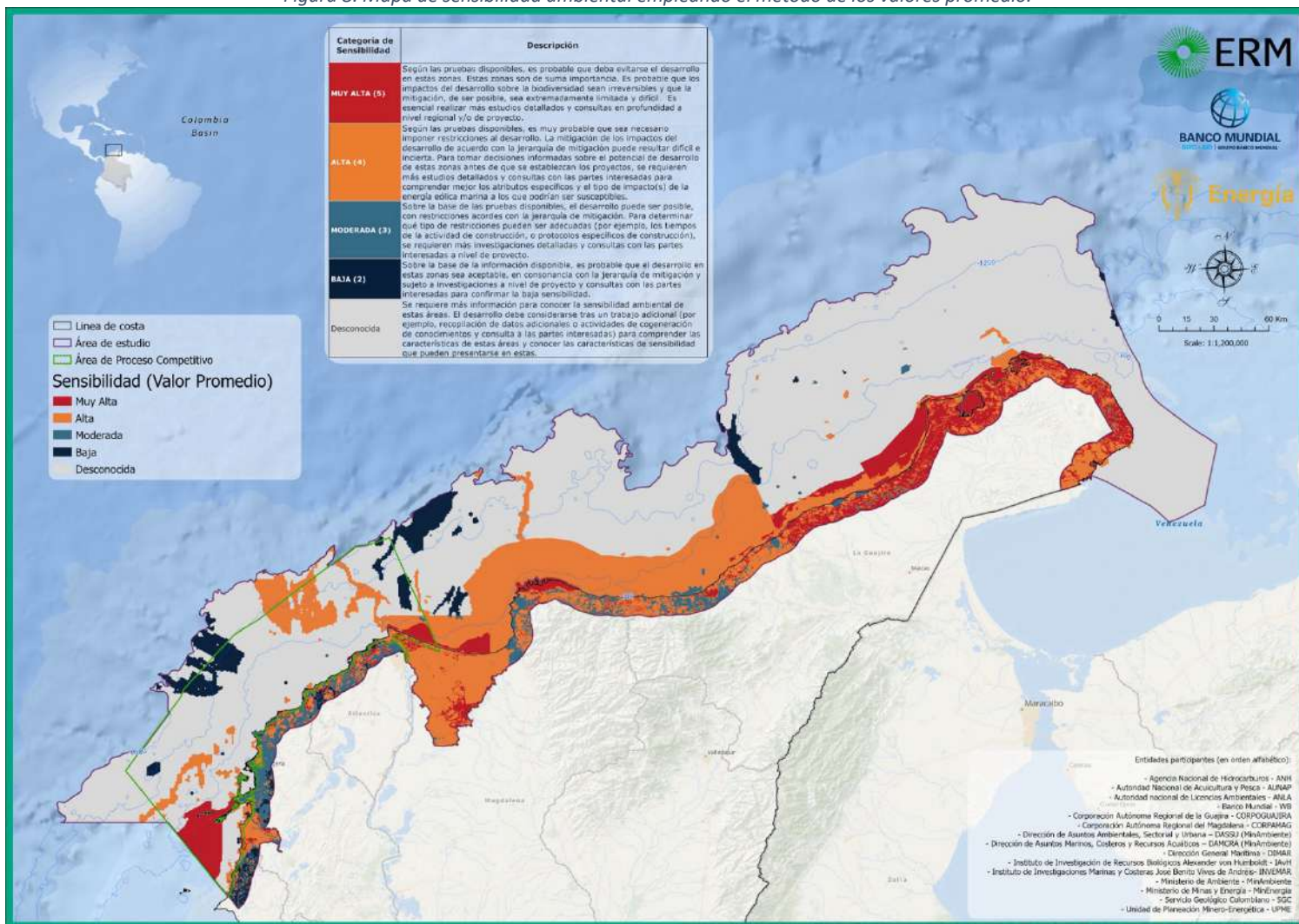
De acuerdo a lo anterior, las siguientes figuras muestran el resultado final del mapa de sensibilidad ambiental, empleando el método de valores máximos (Figura 7) y valores promedio (Figura 8) correspondientemente.

Figura 7. Mapa de sensibilidad ambiental final empleando el método de los valores máximos.



Fuente: Reporte interno de consultoría ERM (2025)

Figura 8. Mapa de sensibilidad ambiental empleando el método de los valores promedio.



Fuente: Reporte interno de consultoría ERM (2025).

A continuación, la Tabla 6 presenta el resumen de las principales actividades para la ejecución del Paso número 4: Mapeo de la Sensibilidad ambiental.

Tabla 6. Tareas y principales resultados obtenidos en el Paso 4: Mapeo de la sensibilidad ambiental.

| Paso 4. Mapeo de la Sensibilidad Ambiental | |
|--|--|
| Tarea | Principales resultados |
| 4.1 Elaboración de mapas de sensibilidad por atributo de biodiversidad | 14 mapas individuales en cuadrículas por atributo de biodiversidad, con tamaño de celda de 50m. |
| 4.2 Elaboración de mapas de sensibilidad consolidados | Integración de la información espacial de cada atributo de biodiversidad empleando dos métodos de agregación: i) método de valores máximos, y ii) método de valores promedio. Obtención de dos mapas finales de sensibilidad ambiental. |

3 Análisis de información disponible

La aplicación de la metodología presentada en la sección anterior arrojó como resultado los mapas de sensibilidad ambiental indicados en las *Figura 7* y *Figura 8*

A continuación, se desarrolla un análisis sobre la sensibilidad ambiental obtenida en el área de estudio por departamento, y posteriormente se centra el análisis en el polígono correspondiente al área de nominación para la primera ronda de asignación de permisos de ocupación temporal en el marco del despliegue de energía eólica marina costa afuera en Colombia (Resolución 40284 de 2022 y sus modificatorias).

3.1. Sensibilidad ambiental en el Área de Estudio

A nivel general, los resultados de sensibilidad ambiental obtenidos para el área de estudio muestran que las áreas con las categorías más altas de sensibilidad se ubican en las zonas marino – costeras (profundidades <-70m) y continental (10 km), mientras que las áreas con las categorías más bajas de sensibilidad se localizan en la zona marino-oceánica (profundidades > -70m).

Al realizar un análisis de las diferentes categorías de sensibilidad por departamento, se obtuvo que la Guajira y Magdalena son los departamentos con niveles de sensibilidad ambiental más altos para los dos métodos de agregación empleados; valores máximos y valores promedio (Tabla 7, Figura 7, Figura 8). Lo anterior guarda relación con una mayor presencia de áreas de alta importancia ecológica y biológica para la conservación de especies y ecosistemas clave, como lo son el Parque Insular Vía Salamanca, la Ciénaga Grande de Santa Marta, el Distrito Regional de Manejo Integrado de Pastos Marinos Sawairu, y el Parque Nacional Tayrona, entre otros, los cuales albergan ecosistemas estratégicos como Manglares, pastos marinos y corales.

Por otro lado, los departamentos de Sucre, Bolívar y Atlántico presentan niveles de sensibilidad menores con respecto a los departamentos de Magdalena y Guajira, siendo el departamento de Sucre aquel con mayor proporción de área en la categoría de sensibilidad baja para los dos métodos de agregación.

A nivel general, los resultados de sensibilidad ambiental obtenidos para el área de estudio muestran que, en el área de estudio, las áreas con las categorías más altas de sensibilidad se ubican en las zonas marino – costeras (profundidades <-70m) y continental (10 km), mientras que las áreas con las categorías más bajas de sensibilidad se localizan en la zona marino-oceánica (profundidades > -70m).

El análisis de las diferentes categorías de sensibilidad por departamento evidenció que La Guajira y Magdalena presentan los niveles más altos de sensibilidad ambiental bajo los dos métodos de agregación empleados: valores máximos y valores promedio (Tabla 7, **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Esta situación se relaciona con la alta concentración de áreas de importancia ecológica y biológica para la conservación de especies y ecosistemas clave, tales como el Parque Isla de Salamanca, la Ciénaga Grande de Santa Marta, el Distrito Regional de Manejo Integrado de Pastos Marinos Sawairu y el

Parque Nacional Natural Tayrona, entre otras, las cuales albergan ecosistemas estratégicos como manglares, pastos marinos y formaciones coralinas.

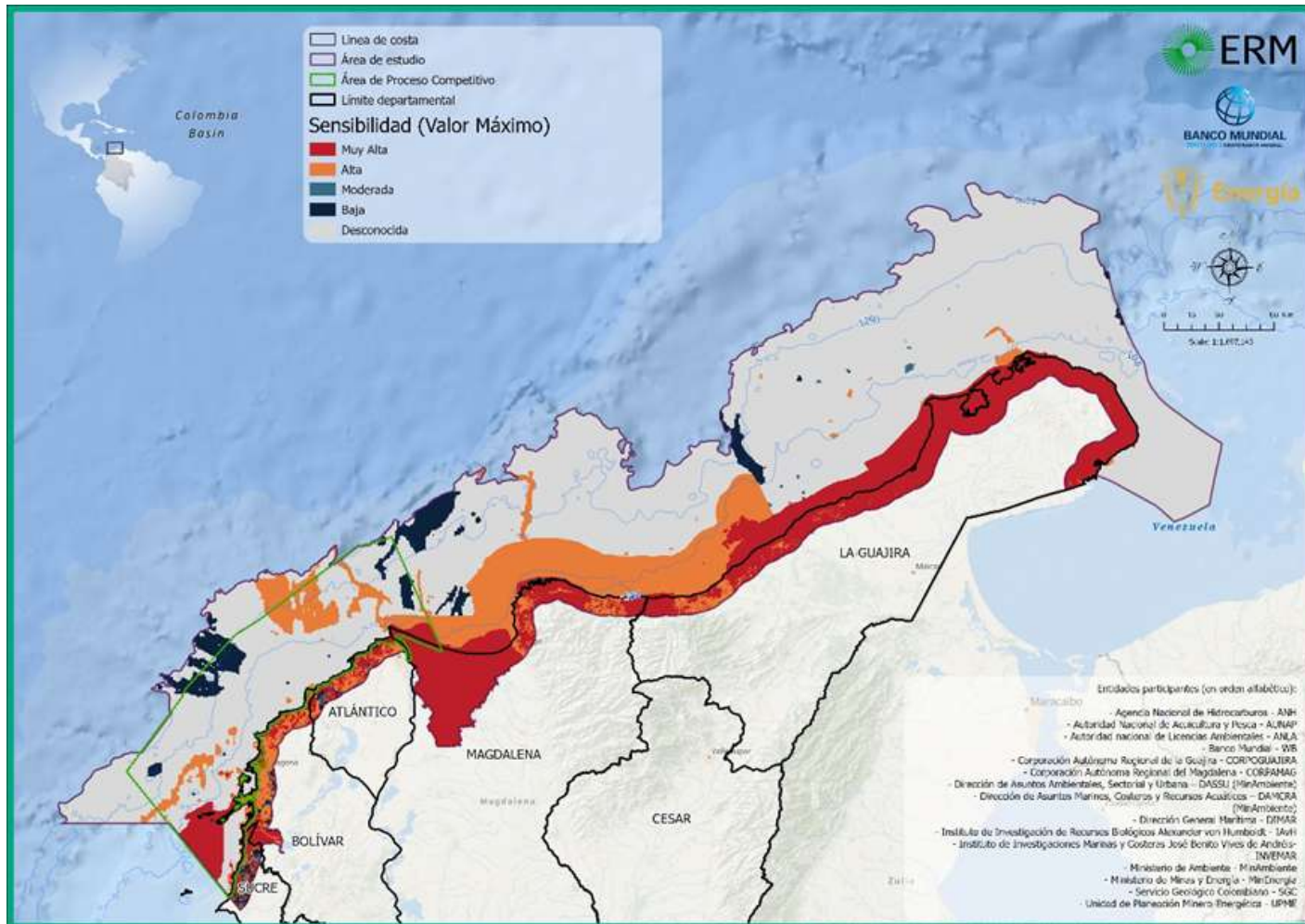
Por otro lado, los departamentos de Sucre, Bolívar y Atlántico presentan niveles de sensibilidad menores con respecto a los departamentos de Magdalena y Guajira, siendo el departamento de Sucre aquel con mayor proporción de área en la categoría de sensibilidad baja para los dos métodos de agregación.

Tabla 7. Relación entre departamentos y categorías de sensibilidad ambiental (%) según la metodología de valores Máximos y valores promedio.

| Metodología de valores Máximos | | | | | |
|--|---------------------|-----------------|---------------------|-----------------|-------------------|
| Departamento | Muy Alta (%) | Alta (%) | Moderada (%) | Baja (%) | Total (ha) |
| Atlántico | 48,3% | 36,7% | 4,2% | 9,1% | 65.263 |
| Bolívar | 41,1% | 48,3% | 2,2% | 6,0% | 110.191 |
| La Guajira | 92,4% | 6,5% | 0,0% | 0,0% | 426.935 |
| Magdalena | 90,2% | 9,8% | 0,0% | 0,0% | 296.994 |
| Sucre | 36,4% | 18,2% | 8,8% | 24,9% | 38.916 |
| Metodología de valores Máximos promedio | | | | | |
| Departamento | Muy Alta (%) | Alta (%) | Moderada (%) | Baja (%) | Total (ha) |
| Atlántico | 12.6% | 32.3% | 41.5% | 13.5% | 65.163 |
| Bolívar | 6.1% | 35.2% | 50.9% | 7.9% | 110.025 |
| La Guajira | 47.3% | 43.8% | 8.9% | 0.0% | 426.467 |
| Magdalena | 13.2% | 74.6% | 12.3% | 0.0% | 296.451 |
| Sucre | 6.1% | 29.8% | 27.5% | 36.6% | 38.856 |

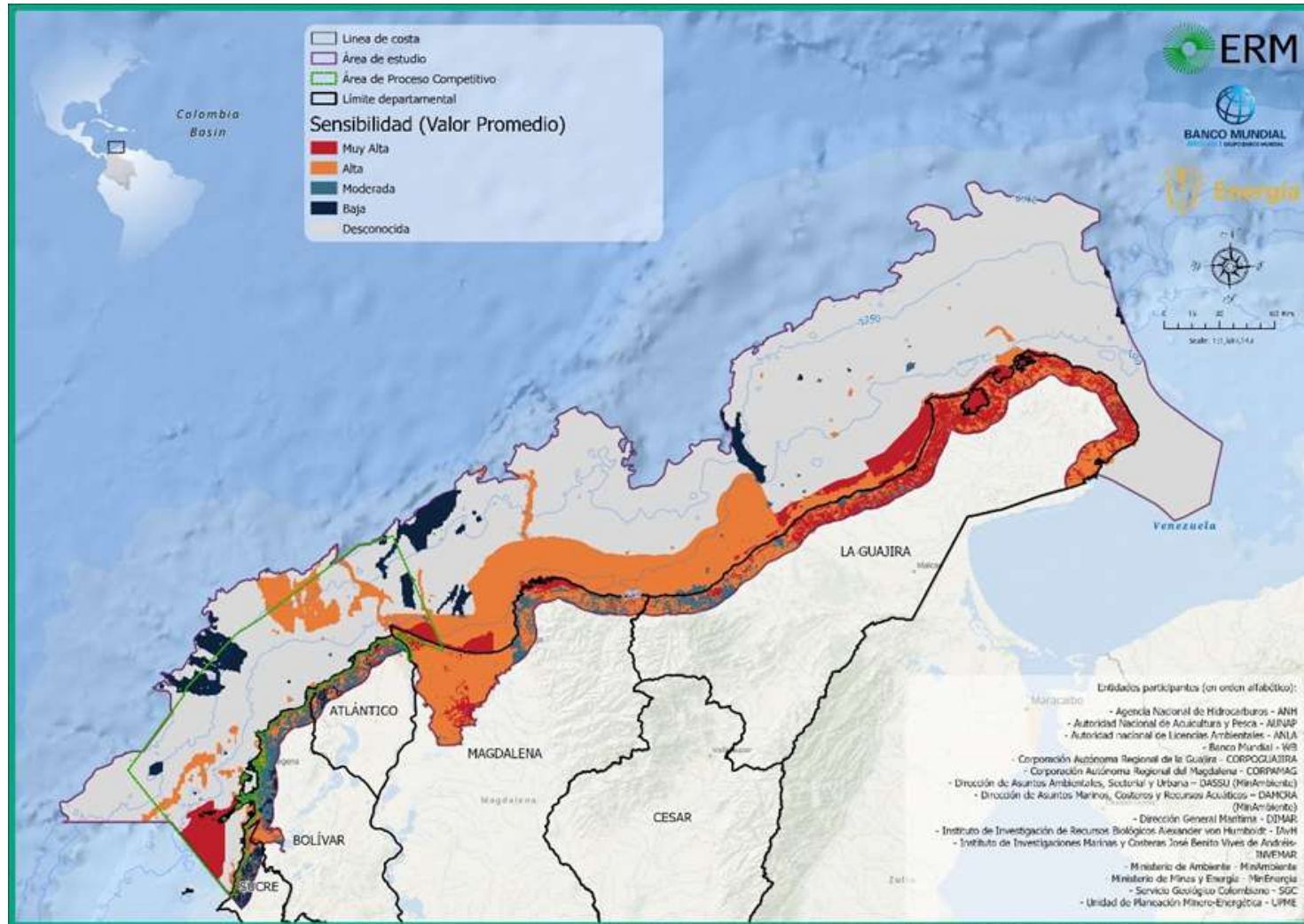
Fuente: Reporte interno de consultoría ERM (2025).

Figura 9. Sensibilidad ambiental por departamento según metodología de máximos



Fuente: Reporte interno de consultoría ERM (2025).

Figura 10. Sensibilidad ambiental por departamento según metodología de promedios.



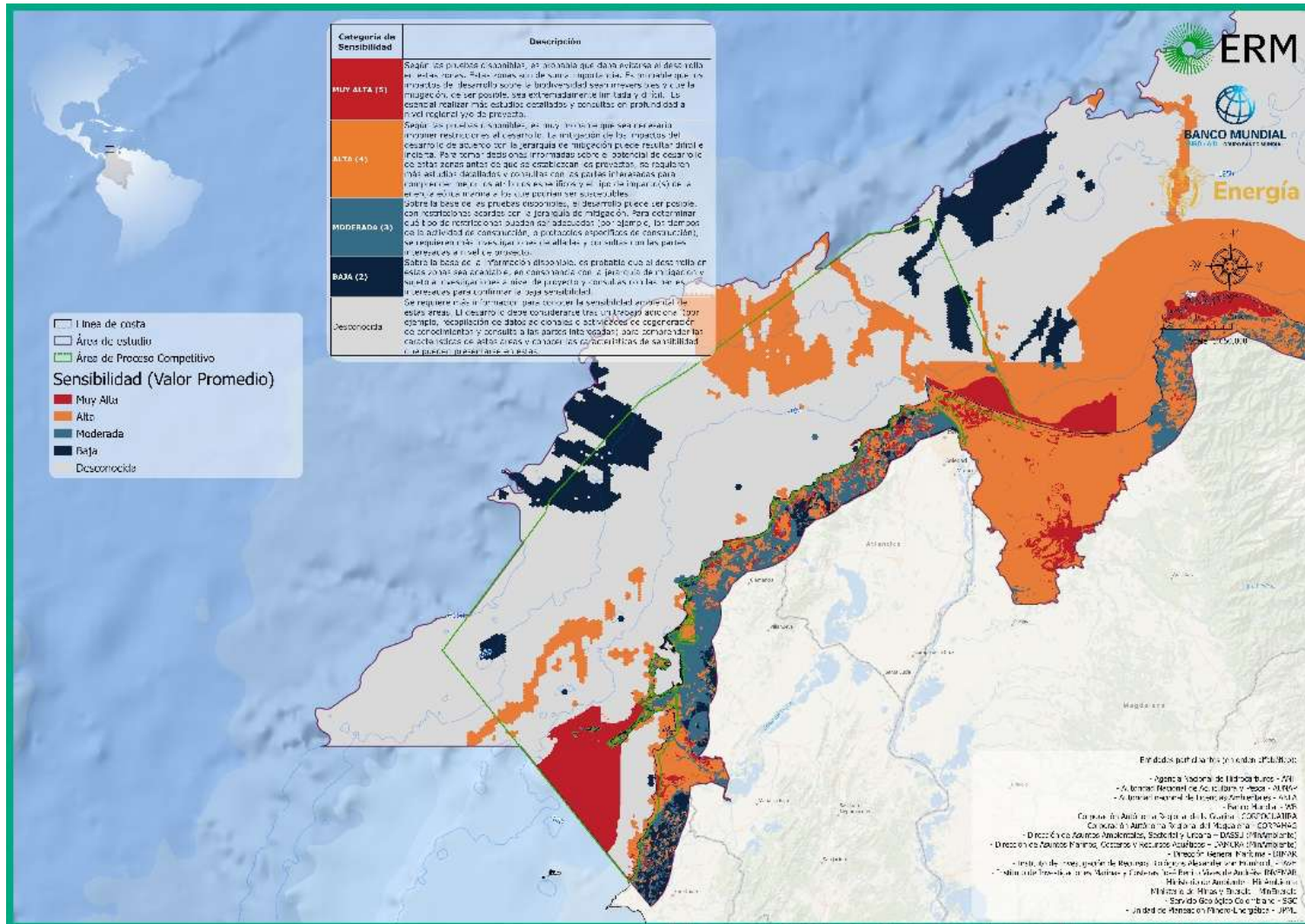
Fuente: Reporte interno de consultoría ERM (2025).

3.2 Sensibilidad ambiental en el polígono del Área de Nominación - Resolución 40284 de 2022 y sus modificatorias

El área de nominación para el primer proceso competitivo de energía eólica marina costa afuera en Colombia (Resolución 40284 de 2022 y sus modificatorias), se ubica en la zona del Caribe Central colombiano, frente a los departamentos del Atlántico, Bolívar, sur del Magdalena y el norte de Sucre; con una extensión total de aproximadamente 10 700 km².

Los mapas de sensibilidad ambiental resultantes con énfasis en el polígono del área de nominación de presentan en la Figura 11 y **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Figura 12 sensibilidad ambiental según metodología de promedios en el área de nominación.



Fuente: Reporte interno de consultoría ERM (2025).

Al analizar los resultados de la sensibilidad ambiental en el polígono correspondiente al área nominada, se observa que las zonas de mayor sensibilidad en los estratos marino y marino-costero se localizan en los costados este y oeste de dicha área. Estas zonas corresponden principalmente a tres áreas que hacen parte del Sistema Nacional de Áreas Protegidas de Colombia: i) el Parque Nacional Natural Corales del Rosario y de San Bernardo (frente a los departamentos de Sucre y Bolívar), ii) el Santuario de Fauna y Flora El Corchal 'El Mono Hernández' (Sucre y Bolívar), y iii) el Santuario de Fauna y Flora Ciénaga Grande de Santa Marta (Magdalena) (Tabla 8).

Por otra parte, en la zona central sobre la franja continental de 10km colindante con el área de nominación, se localizan otras áreas que también hacen parte del SINAP Colombia, bajo diferentes categorías de protección. Estas son: Parque Natural Regional (Bosque Seco El Ceibal Moni Tití y Parque Natural Regional Los Rosales), Distrito Regional de Manejo Integrado (Palmar del Tití), Reserva Forestal Protectora Regional (El Palomar) y Reserva Natural de la Sociedad Civil (Reserva El Tamarín).

La Tabla 8 presenta las áreas que forman parte del Sistema Nacional de Áreas Protegidas y que se ubican dentro del polígono del área de nominación, así como aquellas localizadas frente a esta, dentro de la franja continental de 10 km definida para el área de estudio. Se incluyen sus principales características de conservación y la puntuación asignada en el análisis de sensibilidad ambiental.

Tabla 8. Áreas pertenecientes al Sistema Nacional de Áreas Protegidas ubicadas dentro del polígono del área nominada y colindantes a la misma (franja continental de 10km*).

| Nombre / Categoría SINAP | Características | Sensibilidad |
|---|--|-----------------|
| <p>Los Corales del Rosario y de San Bernardo.</p> <p>-Parque Nacional Natural.</p> | <p>Se ubica frente a las costas de los departamentos de Bolívar y Sucre en el Caribe colombiano, con una extensión aproximada de 120.000 ha, principalmente marinas. Comprende la plataforma coralina más grande del Caribe continental colombiano (alrededor de 420 km²), con más de 50 especies de corales constructores¹⁰. Así mismo, Alberga un conjunto submarino de ecosistemas de alta productividad y biodiversidad como: arrecifes coralinos, manglares, praderas de pastos marinos (<i>Thalassia testudinum</i>), bosque seco tropical y litoral arenoso o rocoso.</p> <p>Actividades autorizadas y reguladas: investigación científica, educación ambiental y ecoturismo regulado 11.</p> | <p>Muy Alta</p> |

¹⁰ Los **corales constructores** son aquellas especies de corales duros (orden Scleractinia) que, gracias a su capacidad de depositar carbonato de calcio (CaCO₃), forman estructuras rígidas que contribuyen al crecimiento y consolidación de la estructura principal de los arrecifes de coral. Estas estructuras brindan hábitat y refugio a numerosas especies marinas, y son esenciales para la salud de los ecosistemas marinos.

¹¹ Acuerdo 26 del 2 de mayo de 1977, por el cual se reserva, alinda y declara como Parque Nacional Natural, un área ubicada en el departamento de Bolívar.

PNN. Dirección Territorial Caribe (2020). Plan de Manejo del Parque Nacional Natural los Corales del Rosario y de San Bernardo (2020 – 2025). Resolución 0160 de Mayo 15 de 2020.

| Nombre / Categoría SINAP | Características | Sensibilidad |
|--|--|--------------|
| | Se localiza en el estrato marino y marino-costero del área de nominación. | |
| <p>Santuario de Fauna y Flora El Corchal El Mono Hernández</p> <p>-Santuario de Fauna y Flora</p> | <p>Se localiza en los municipios de San Onofre (Sucre) y Arjona (Bolívar), con una extensión aproximada de 3.899 hectáreas en la planicie deltáica del Canal del Dique (PNN, 2025). Dentro de este santuario se conservan cerca de 1.961 ha de manglares, representando las cinco especies registradas en el Caribe colombiano (<i>Rhizophora mangle</i>, <i>Avicennia germinans</i>, <i>Laguncularia racemosa</i>, <i>Pelliciera rhizophorae</i> y <i>Conocarpus erectus</i>), y 401 ha de bosque pantanoso de corcho dominado por <i>Pterocarpus officinalis</i> (PNN, 2025).</p> <p>Se autorizan actividades relacionadas con: conservación y restauración, investigación y educación ambiental, recreación y cultura¹².</p> <p>Se localiza en el estrato marino-costero del área de nominación.</p> | Muy Alta |
| <p>Ciénaga Grande de Santa Marta</p> <p>-Santuario de Fauna y Flora</p> | <p>Se localiza en la región suroriental de la Ciénaga Grande de Santa Marta, ubicada en los municipios de Pueblo Viejo, Sitio Nuevo, Remolino, Pivijay y El Retén, departamento del Magdalena, cubriendo una extensión de aproximadamente 26.810 ha. Además de pertenecer al SINAP, funciona como zona núcleo de la Reserva de Biosfera y Humedal Ramsar del Complejo Delta Estuarino del Magdalena. La vegetación dominante son los manglares, con áreas de bosque seco tropical e inundable de vega, asociados a más de 100 ciénagas interconectadas y caños. Alberga uno de los ecosistemas de manglar más representativos del Caribe colombiano, vital para la regulación de la cuenca deltaica, así como una alta diversidad de especies de aves residentes y migratorias.</p> <p>Se permiten exclusivamente actividades de: conservación, recuperación, control, investigación y educación ambiental¹³.</p> | Muy Alta |

12 Ministerio de Medio Ambiente. Resolución No. 0763. 5 de Agosto de 2002. Por la cual se reserva, alinda y declara el Santuario de Fauna y Flora El Corchal “El Mono Hernández”.

MADS y PNN. Plan de manejo santuario de flora y fauna El Corchal “El Mono Hernández” 2018 – 2023.

13 Por la cual se aprueba el Acuerdo 29 de 02 de mayo de 1977 del INDERENA, “Por el cual se reserva, alinda y declara como Santuario de Flora y de Fauna un área ubicada en el Departamento del Magdalena” con el objeto de preservar especies vegetales y animales, con fines científicos y educativos y para conservar recursos genéticos de la Flora y la Fauna Nacional, delimitase y reservase un área de 23000 hectáreas que se denominara Santuario de Flora y Fauna de

| Nombre / Categoría SINAP | Características | Sensibilidad |
|--|---|--------------|
| | Se localiza en el estrato marino-costero del área de nominación. | |
| Bosque Seco El Ceibal Moni Tití * -Parque Natural Regional | Ubicado en Santa Catalina (Bolívar). Corresponde a un remanente de bosque seco tropical que abarca aproximadamente 421 hectáreas, y representa uno de los pocos fragmentos bien conservados de bosque seco en la región Caribe colombiana. Es especialmente significativo por ser hábitat de una población natural del tití cabeciblanco (<i>Saguinus oedipus</i>), especie endémica de Colombia y catalogada como en peligro crítico (CR) tanto a nivel nacional como por la UICN. El parque es regulado por la Corporación Autónoma Regional del Canal del Dique (<i>Cardique</i>) ¹⁴ . Actividades permitidas: investigación o monitoreo ambiental autorizado. Se localiza en la franja continental del área de estudio (10Km), que colinda con el área de nominación. | Muy Alta |
| Parque Natural Regional Los Rosales * -Parque Natural Regional | Se ubica en las Lomas de Juan Congo, municipio de Luruaco (Atlántico). Abarca aproximadamente 1.304 ha, distribuidas en tres predios protegidos por la Corporación Autónoma Regional del Atlántico - CRA. Es un remanente de bosque seco tropical en muy buen estado de conservación, y constituye un hábitat crucial para especies emblemáticas como el tití cabeciblanco (<i>Saguinus oedipus</i>) (CR), diferentes aves del bosque seco tropical y de rango de distribución restringido como la guacharaca (<i>Ortalis garrula</i>). Las actividades permitidas y reguladas se relacionan con: investigación científica, monitoreo ambiental y educación ¹⁵ . | Muy Alta |

la Ciénaga Grande de Santa Marta ubicada dentro de las jurisdicciones municipales de Pivijay y Remolino en el Departamento del Magdalena. PNN. Plan de Manejo del Santuario de Fauna y Flora Ciénaga Grande de Santa Marta. Resolución 021 de Enero de 23 de 2007.

¹⁴ Corporación Autónoma Regional del Canal de Dique- Cardique. Acuerdo No. 0004 de 2013. Por medio de la cual se declara El Parque Natural Regional Bosque Seco El Ceibal Mono Tití, ubicado en el municipio de Santa Catalina, Departamento de Bolívar y se adoptan otras determinaciones.

¹⁵ Corporación Autónoma Regional del Atlántico. Acuerdo No. 00015 de 2011. Por el cual se declara el parque natural Los Rosales, y se adoptan otras disposiciones.

| Nombre / Categoría SINAP | Características | Sensibilidad |
|--|---|--------------|
| | Se localiza en la franja continental del área de estudio (10Km) colindante con el área de nominación. | |
| Reserva El Tamarín * -Reserva Natural de la Sociedad Civil | Ubicada en el corregimiento Arroyo de Piedra, municipio de Cartagena, departamento de Bolívar, con una extensión de 51 ha. Es una zona estratégica en buen estado de conservación y de alta importancia para la continuidad y conectividad del bosque seco tropical, bosque ripario y cuerpos de agua asociados (Cardique en Resolución 067 de 2019). Es una figura de conservación privada con objetivos de conservación y manejo sostenible ¹⁶ . Se localiza en la franja continental del área de estudio (10Km) colindante con el área de nominación. | Muy Alta |
| Palmar del Tití * -Distrito Regional de Manejo Integrado | Comprende una superficie de 2.622 ha, distribuidas en 47 predios entre los municipios de Luruaco y Piojó (Atlántico), colindante con el Parque Natural Regional Los Rosales y la Ciénaga del Totumo. Esta área tiene como objetivo proteger los relictos de bosque seco tropical, el hábitat de especies en peligro de extinción (64 especies de flora y fauna con alguna categoría de amenaza), realizar un manejo sostenible de los recursos naturales, incrementando la representatividad del bosque seco tropical y la conectividad ecológica con zonas protegidas de Atlántico y Bolívar. Declarado y regulado por Corporación Autónoma Regional del Atlántico (CRA). Las actividades relacionadas con la promoción del uso sostenible del ecosistema, la restauración de suelos, la investigación científica y la educación ambiental son permitidas ¹⁷ . Se localiza en la franja continental del área de estudio (10Km) colindante con el área de nominación. | Alta |
| El Palomar * | Ubicada en el municipio de Piojó (Atlántico), cuenta con una extensión aproximada de 772 ha. Representa uno de los remanentes mejor conservados de bosque seco tropical en el Caribe colombiano, albergando especies de flora | |

16 MADS y PNN. Resolución No. 067, 29 de Abril 2019. Por medio de la cual se registra la Reserva Natural de la Sociedad Civil "Reserva El Tamarín" RNSC 031.17.

17 Corporación Autónoma Regional del Atlántico - CRA. Acuerdo No. 0000008 por el cual se declara el Distrito Regional de Manejo Integrado (DRMI) Palmar del Tití, y se adoptan otras disposiciones.

| Nombre / Categoría SINAP | Características | Sensibilidad |
|---------------------------------------|--|--------------|
| -Reserva Forestal Protectora Regional | <p>clasificadas en listas de amenaza nacional, entre ellas <i>Aspidosperma polyneuron</i> (carreto), <i>Ceiba pentandra</i>, <i>Bursera simaruba</i>, guayacán y palma de corozo. Reserva declarada y regulada por la Corporación Autónoma Regional del Atlántico (CRA). Se permiten Actividades de educación ambiental, investigación científica, senderos ecológicos peatonales e interpretativos, y campamentos temporales debidamente autorizados por la CRA. Se prohíben expresamente la extracción de flora o fauna, ecoturismo masivo, actividades no autorizadas que alteren el bosque seco, presencia de infraestructura no compatible o uso de construcción sin permiso 18.</p> <p>Se localiza en la franja continental del área de estudio (10Km) colindante con el área de nominación.</p> | Alta |

Fuente: elaboración propia.

Como lo muestra la Tabla 8, estas diferentes figuras de conservación exhiben particulares características ecológicas de alta importancia, las cuales han sido determinantes para su declaratoria como áreas protegidas, y, en consecuencia, catalogadas dentro del mapeo de sensibilidad como áreas de muy alta y alta sensibilidad ambiental. Particularmente, en las áreas protegidas marinas y costeras que se encuentran dentro del área de nominación, se destaca la presencia de hábitats y ecosistemas altamente sensibles al desarrollo de proyectos de eólica marina, tales como praderas de pastos marinos, manglares, arrecifes de coral y humedales. Por esta razón se recomienda considerar estas áreas durante la fase de planificación y aplicar un buffer circundante a las mismas. La definición y amplitud de dichos buffers puede establecerse en conjunto con expertos, teniendo en cuenta las zonas de amortiguación establecidas para estas áreas protegidas.

En el presente análisis también se incluyen las áreas protegidas ubicadas en la franja terrestre de 10 km colindante con el área de nominación, debido a su relevancia ecológica. En su mayoría, estas áreas corresponden a relictos de bosque seco tropical, ecosistema clasificado en peligro crítico (CR) según la Lista Roja de Ecosistemas de Colombia. Estas áreas cuentan con objetivos específicos de conservación y son relevantes en la mejora y mantenimiento de la conectividad ecológica a nivel regional; por tanto, su consideración, así como aquellas coberturas con alta sensibilidad identificadas¹⁹, resultan especialmente importantes en la planificación de infraestructura terrestre asociada al desarrollo de la energía eólica costa afuera.

Por otra parte, en el costado oeste del área de nominación se encuentra también presente el Área Marina Protegida – AMP de los Archipiélagos de Rosario y San Bernardo, declarada mediante la

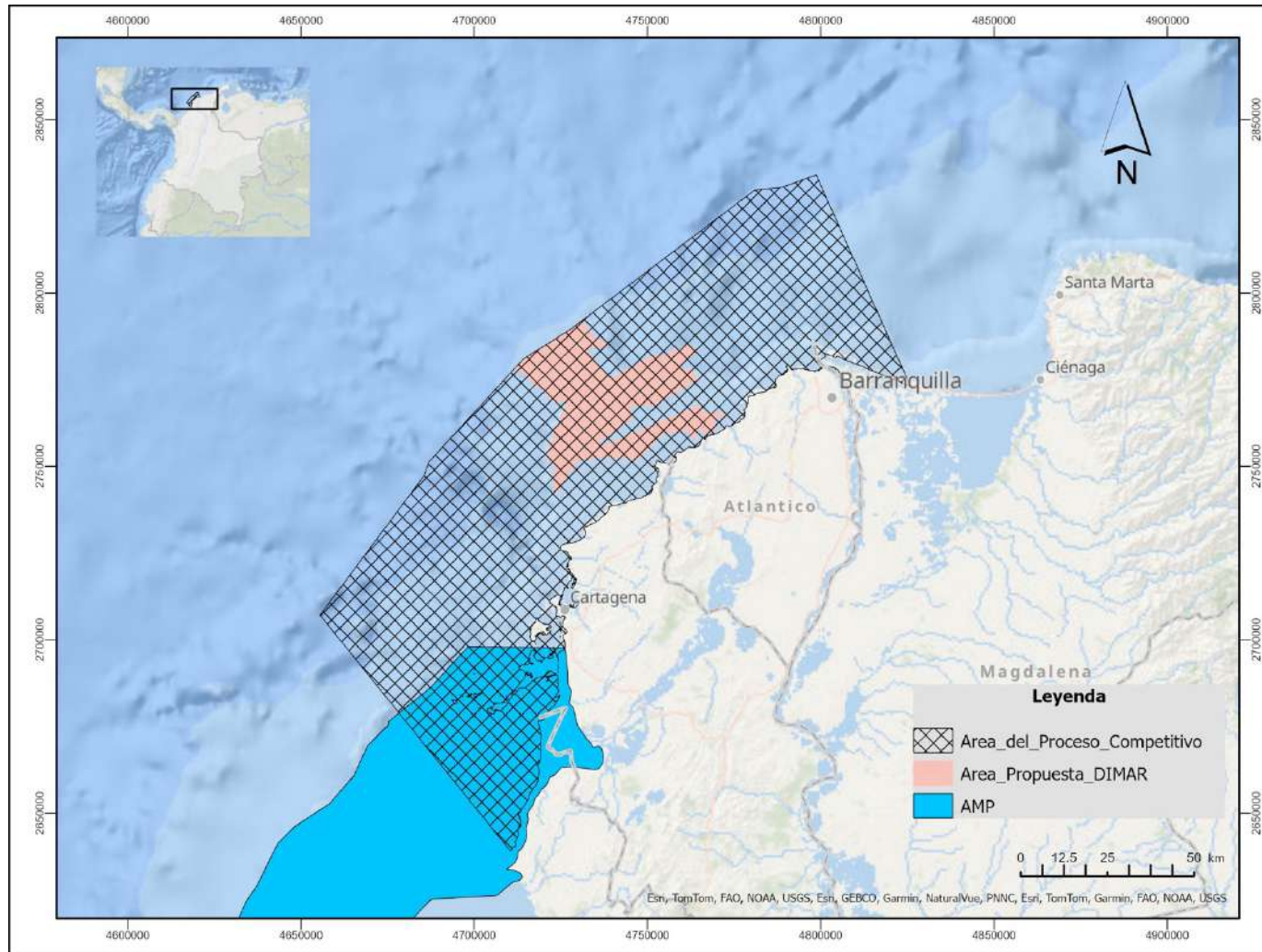
18 Corporación Autónoma Regional del Atlántico. Acuerdo No. 00019 de 2013. Por el cual se declara la Reserva Forestal Protectora Regional El Palomar y se adoptan otras disposiciones.

¹⁹ Ver Anexo 2: atributo “Coberturas de la Tierra” (IDEAM 2018).

Resolución 679 de 2005 del Ministerio de Ambiente²⁰ (Figura 13). Esta AMP incluye dentro de su zonificación el Parque Nacional Natural Corales del Rosario y de San Bernardo, el cual actúa como núcleo de conservación estricta. Mientras que el parque nacional forma parte del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP) y es administrado directamente por Parques Nacionales Naturales de Colombia, el AMP representa una figura complementaria que amplía el ámbito de conservación hacia zonas marinas adyacentes, incluyendo áreas de uso múltiple con actividades reguladas como pesca artesanal, turismo y navegación. La administración del AMP se realiza de forma interinstitucional, bajo la coordinación del Ministerio de Ambiente, e involucra a entidades como la Dirección General Marítima (DIMAR), la autoridad ambiental regional (Cardique), entes territoriales y comunidades locales, especialmente en aquellas zonas donde se reconocen prácticas tradicionales y usos sostenibles del territorio marino-costero. Aunque esta área no fue incluida como un atributo específico de biodiversidad en el mapeo de sensibilidad, su existencia y marco regulatorio resultan relevantes como elemento de referencia en la planificación espacial, dado su potencial para contribuir a la protección de ecosistemas estratégicos y orientar medidas de precaución en el desarrollo de proyectos de energía eólica costa afuera.

²⁰ Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2005). *Resolución 679 de 2005, por la cual se declara el Área Marina Protegida de los archipiélagos del Rosario y San Bernardo y se adopta su zonificación.* <https://www.minambiente.gov.co/consulta/resolucion-por-medio-de-la-cual-se-adopta-el-modelo-de-desarrollo-sostenible-y-el-plan-de-manejo-ambiental-del-area-marina-prottegida-de-los-archipelagos-del-rosario-y-de-san-bernardo-y-se-dictan-ot/>

Figura 13 . Área Marina Protegida – AMP y su ubicación espacial con respecto al polígono del área de nominación (Área del proceso competitivo).

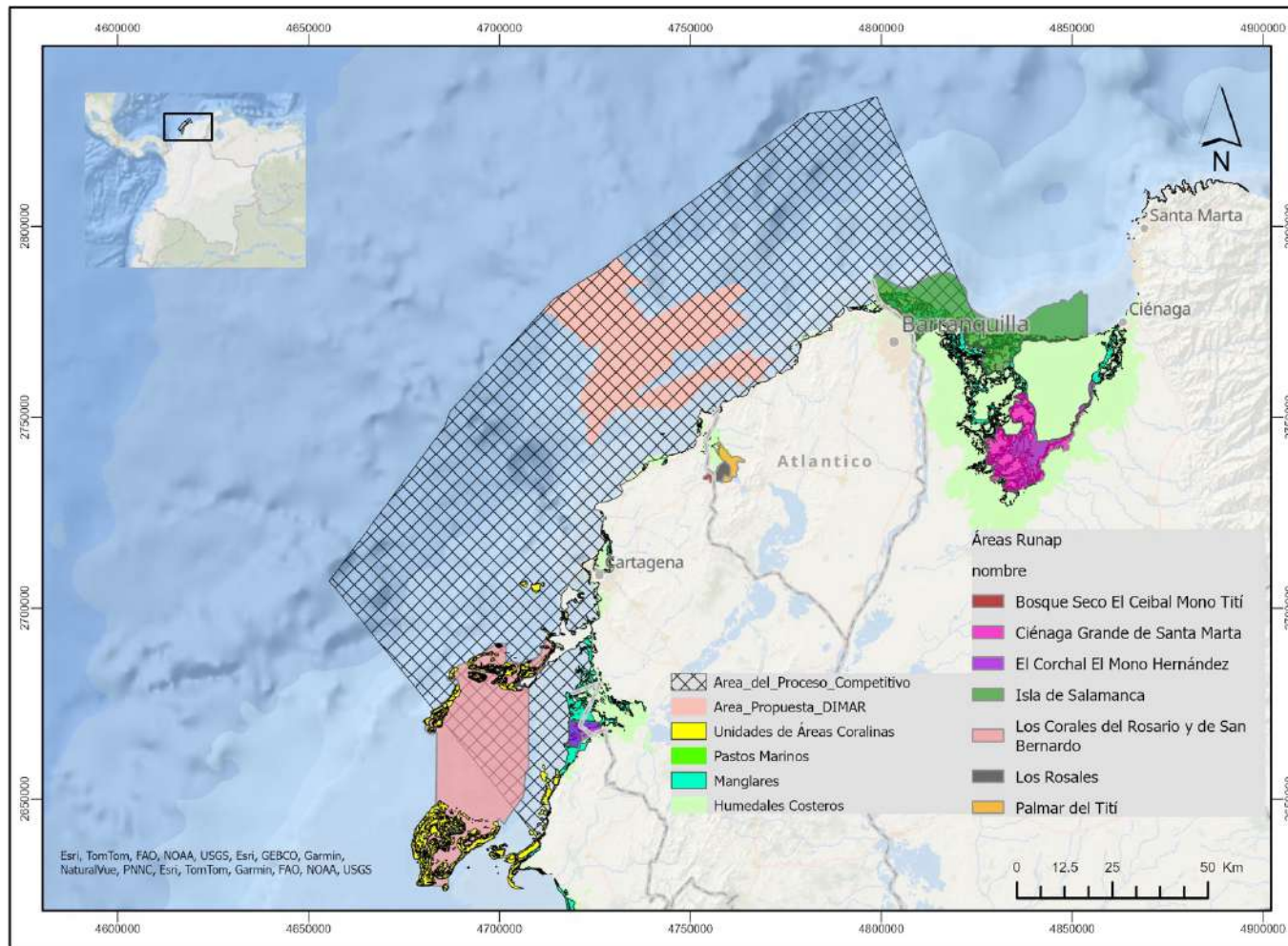


Fuente: elaboración propia

Dentro del polígono del área de nominación para el desarrollo de energía eólica costa afuera en Colombia, se encuentra también parte del Sitio Ramsar Ciénaga Grande de Santa Marta, designado como humedal de importancia internacional (1998) bajo la Convención Ramsar (Servicio de Información Ramsar, 1998) (Anexo 2). Este complejo estuarino-lagunar, considerado el más extenso e importante del Caribe colombiano, abarca más de 400.000 hectáreas e integra una diversidad de ecosistemas como manglares, ciénagas, lagunas costeras, canales y áreas de transición entre ambientes dulceacuícolas y marinos. Estos ecosistemas sostienen una elevada biodiversidad y ofrecen hábitats esenciales para peces, crustáceos, mamíferos acuáticos, reptiles y numerosas especies de aves acuáticas, tanto residentes como migratorias, varias de ellas incluidas en categorías de amenaza (INVEMAR 2022).

Así mismo, es importante tener en cuenta que dentro del área de nominación se presentan zonas de praderas de pastos marinos, manglares, arrecifes de coral y humedales, que, aunque no se encuentran incluidas como tal dentro de alguna de las figuras de protección mencionadas previamente, su consideración (junto con la aplicación de los respectivos buffers) resulta fundamental, dada su alta sensibilidad ambiental. Como se observa en la Figura 14, estos hábitats se ubican de manera colindante a las áreas protegidas, y hacia el centro oeste y este de la franja continental y estrato marino costero del área de nominación.

Figura 14 . Ecosistemas estratégicos y áreas pertenecientes al Registro Único de Áreas Protegidas de Colombia - RUNAP y su ubicación espacial con respecto al polígono del área de nominación (Área del proceso competitivo).



Fuente: elaboración propia

En el estrato marino del área de nominación, se ubica el atributo de biodiversidad denominado Áreas Significativas para la Biodiversidad, el cual fue considerado en el análisis de sensibilidad ambiental; presentando áreas de sensibilidad baja, moderada y alta. Las Áreas Significativas para la Biodiversidad (ASB) identificadas por INVEMAR (2010) (Anexo 2), son unidades espaciales priorizadas en el Caribe colombiano por su valor ecológico, estructural o funcional en ambientes marinos, particularmente en zonas del talud continental entre los 170 y 3.000 metros de profundidad. Estas áreas fueron definidas con base en 32 Objetos de Conservación (OdC), incluyendo cañones submarinos, montes, zonas de afloramiento y corales de profundidad, que cumplen funciones clave como hábitats de especies vulnerables, áreas de reproducción o refugio, y conectividad ecológica en el medio marino (INVEMAR y ANH, 2010).

Si bien la mayoría de los atributos de biodiversidad seleccionados para este estudio corresponden a ambientes someros y costeros, las Áreas Significativas de Biodiversidad (ASB) constituyen el único atributo que aporta información ambiental en zonas de mayor profundidad. La incorporación de este atributo es importante, ya que evidencia la relevancia ecológica de estos sistemas profundos ante posibles desarrollos futuros de infraestructura eólica en áreas más alejadas de la costa o que requieran tecnologías como plataformas flotantes. En este sentido, la inclusión de las ASB en el análisis del área de nominación, permite anticipar zonas más idóneas en el talud continental en el proceso de planificación espacial para el desarrollo de la energía eólica costa afuera.

En el marco del despliegue de la energía eólica costa afuera, es fundamental contar con herramientas que permitan orientar la ubicación de los proyectos hacia zonas de menor sensibilidad ambiental, minimizando así el riesgo de impactos irreversibles o cuya mitigación resulte técnica o económicamente inviable. En este sentido, la aplicación del enfoque de la guía SenMap y subsecuentes resultados aquí presentados, son útiles como herramienta estratégica de planificación, evitando las áreas de mayor sensibilidad ambiental, y dirigiendo el desarrollo de energía eólica costa afuera hacia zonas con menor sensibilidad; reduciendo así la probabilidad de impactos que no puedan compensarse o cuya mitigación sea técnica o económicamente inviable.

Cabe resaltar que los resultados aquí presentados son de carácter orientativo y pretenden brindar información útil para el despliegue sostenible y efectivo de la energía eólica en Colombia. Es importante tener presente que el estudio de la sensibilidad ambiental es un ejercicio dinámico, que puede cambiar y completarse gradualmente en el tiempo, a partir de la integración de nueva información espacial pertinente. Asimismo, la sensibilidad reflejada podría confirmarse como menor a nivel de proyecto, cuando se realicen estudios y consultas más detallados. Es por esta razón que, la metodología SenMap y correspondientes resultados, podrían también utilizarse como una herramienta para definir el alcance de los Estudios de Impacto Ambiental - EIAs específicos para cada proyecto, cuyos resultados a su vez pueden confirmar o refinar la sensibilidad a una menor escala.

Finalmente, como parte del proceso de la consultoría la información espacial resultante fue dispuesta en un geovisor que permitiera su visualización de manera adecuada y donde los 14 criterios de biodiversidad y mapas finales de sensibilidad se encuentran disponibles.

4. Recomendaciones

A continuación, como resultado de los aportes obtenidos a lo largo de los encuentros con actores de interés, y del análisis desarrollado a lo largo del ejercicio del mapeo ambiental, se presentan una serie de recomendaciones a tener en cuenta tanto para estudios de sensibilidad ambiental venideros en el Caribe colombiano, como para procesos a futuro en la ruta del desarrollo eólico matino costa afuera.

Recomendaciones generales

A continuación, se brinda una serie de recomendaciones generales enfocadas en fortalecer la planificación estratégica del desarrollo eólico costa afuera en Colombia con enfoque preventivo y contemplando las particularidades de los ecosistemas del Caribe colombiano.

- Para avanzar de manera sostenible en el desarrollo de la energía eólica costa afuera en Colombia, se recomienda adoptar un enfoque de planificación temprana, sustentado en información científica y en el principio de precaución. Es fundamental identificar con claridad aquellas áreas de alta sensibilidad y establecer zonas de amortiguación alrededor de las mismas, así como de los ecosistemas más vulnerables, tales como arrecifes de coral, praderas de pastos marinos, manglares y humedales.
- Dado su carácter estratégico para la conservación y la conectividad ecológica costera, la Ciénaga Grande de Santa Marta fue incluida expresamente como atributo de biodiversidad en el mapeo de sensibilidad ambiental. Su presencia en el área de estudio responde a varios de los criterios establecidos en la Guía SenMap (World Bank et al., 2024), incluyendo su importancia funcional, irremplazabilidad y vulnerabilidad a los impactos antrópicos. El reconocimiento de este sitio Ramsar dentro del área de estudio refuerza la necesidad de aplicar enfoques de precaución, jerarquización y evaluación detallada en las fases de planificación, diseño e implementación de proyectos de energía eólica costa afuera, especialmente cuando se proyectan infraestructuras cercanas a zonas costeras o corredores ecológicos clave.
- Se recomienda avanzar en la ejecución y adopción de los Planes de Ordenación y Manejo Integrado de las Unidades Ambientales Costeras (POMIUAC) en el Caribe colombiano, al constituir un elemento valioso para la planificación espacial marina. Establecidos mediante el Decreto 1120 de 2013, estos planes se conciben como un instrumento clave de planificación ambiental y territorial para las zonas costeras y marino-costeras del país, ya que definen lineamientos para la gestión sostenible de las Unidades Ambientales Costeras (UAC); espacios delimitados con base en criterios biofísicos y funcionales, en los cuales se reconocen y regulan actividades como la pesca, el turismo, la navegación, la conservación y el desarrollo de infraestructura^[1]. En términos de futuros análisis de sensibilidad ambiental y la planificación de la eólica marina, estos instrumentos pueden ser una herramienta fundamental para identificar oportunidades, guiar procesos de evaluación ambiental estratégica y evitar conflictos de uso. No obstante, se recomienda la consulta de la Guía Técnica Ordenación y Manejo Integrado de la

Zona Costera (2017)^[2], ya que puede brindar lineamientos importantes a tener en cuenta en la gestión y planificación de las zonas marino costeras.

- Teniendo en cuenta que el estudio de la sensibilidad ambiental es un proceso dinámico que puede cambiar en el tiempo de acuerdo con la integración de nueva información disponible, es crucial continuar con el fortalecimiento y la coordinación intra e interinstitucional para reportar, administrar e integrar información novedosa pertinente para el estudio de la sensibilidad ambiental y la planificación espacial en el marco del desarrollo de la eólica marina en el Caribe colombiano. En este sentido, la interoperabilidad entre diferentes sistemas de gestión y almacenamiento de datos por parte de las instituciones representa un rol crucial, y que requiere de fuentes de financiamiento estables para cubrir los requerimientos necesarios tanto tecnológicos como de personal. Asimismo, se recomienda implementar y mantener estrategias efectivas de divulgación y acceso a la información generada, garantizando que los datos relevantes estén disponibles para tomadores de decisión, investigadores, comunidades locales y demás actores involucrados en el despliegue de la energía eólica costa afuera.
- Fortalecer y articular las capacidades técnicas y científicas de las entidades gubernamentales, centros de investigación e instituciones académicas, con el fin de incrementar la generación de información y cerrar los vacíos relacionados con el desconocimiento del medio marino-costero y continental. Este trabajo colaborativo debe orientarse a desarrollar bases de datos robustas y actualizadas que faciliten la toma de decisiones, permitiendo encontrar un equilibrio entre el desarrollo de proyectos eólicos costa afuera y la conservación y manejo sostenible de los recursos naturales.

Recomendaciones técnicas para fortalecer futuros estudios de sensibilidad ambiental en el Caribe colombiano.

A continuación, se mencionan aspectos clave a considerar orientados a robustecer estudios de sensibilidad ambiental futuros, e información ambiental complementaria a tener en cuenta en el marco del despliegue de la energía eólica marina, con base en los vacíos de información identificados.

- Profundizar en la caracterización de grupos biológicos sensibles, como lo son las aves migratorias, mamíferos marinos, tortugas marinas, peces y murciélagos, con énfasis en patrones de uso de hábitat, ciclos reproductivos y rutas de movilidad. Las poblaciones más vulnerables son aquellas que ya se encuentran amenazadas por otras presiones, aquellas que presentan una alta exposición al desarrollo de energía eólica marina, y aquellas cuyos comportamientos las exponen a un mayor riesgo.
- Se recomienda realizar caracterizaciones actualizadas para evaluar el estado de conservación y el nivel de intervención en las áreas que se superponen con zonas de protección y conservación ambiental, dado que en varios casos la información disponible tiene más de cinco años. Estas caracterizaciones deberían enfocarse especialmente en comunidades de flora, fauna y paisajes

de alto valor para la conservación; incluyendo estudios poblacionales, identificación de caladeros, y registro de especies amenazadas, endémicas y/o migratorias presentes en el área nominada.

- En las áreas que interfieran o tengan influencia sobre la línea de costa, se recomienda la recopilación de información detallada sobre las especies de reptiles marinos presentes, en particular tortugas marinas, así como sobre sus hábitos de anidación y alimentación. Esta información es clave para identificar zonas críticas y orientar medidas de manejo que eviten o minimicen impactos. Para las prospecciones en playas de anidación y de arribo, se sugiere emplear metodologías descritas por Schroeder y Murphy (2000) y Valverde y Gates (2000), incluidas en el documento *Técnicas de Investigación y Manejo para la Conservación de las Tortugas Marinas* (Eckert et al., 2000). Adicionalmente, el estudio de hábitats de alimentación puede desarrollarse mediante avistamientos aéreos, técnica que resulta adecuada para estimar la abundancia y distribución de estas especies en las áreas de influencia del proyecto.
- Se recomienda priorizar en los estudios en alta mar aquellos grupos taxonómicos que comprendan especies conocidas por su sensibilidad a la energía eólica marina, aquellas para las cuales existe una alta incertidumbre sobre los posibles impactos, y aquellas cuya evaluación aporta significativamente al fortalecimiento de la línea base de conocimiento y a la toma de decisiones en materia de gestión ambiental.
- Fortalecer la generación de información espacial sobre rutas de aves migratorias, especialmente aquellas que utilizan los humedales del Caribe colombiano como sitios de descanso y alimentación. Esta información resulta esencial para identificar corredores ecológicos clave y prevenir interferencias con infraestructuras eólicas en fase de operación, y la aplicación de medidas precautorias en la fase de construcción.
- Desarrollar investigaciones orientadas a la caracterización de las rutas migratorias y patrones de desplazamiento de mamíferos marinos en el Caribe colombiano. Actualmente existen registros de presencia y avistamientos, más no se cuenta con información precisa sobre sus trayectorias o zonas críticas de tránsito. Este conocimiento es fundamental para complementar los estudios de sensibilidad ambiental y evaluar riesgos asociados a colisiones, alteración acústica o desplazamiento inducido en las fases de construcción y operación de proyectos eólicos costa afuera.
- Diseñar e implementar estrategias metodológicas para el uso de información proveniente de puntos de avistamiento de fauna marina, con el fin de convertir estos registros dispersos en insumos útiles para el análisis de sensibilidad ambiental y su integración en procesos de planificación espacial marina de cara al desarrollo de la industria eólica costa afuera. Algunas opciones pueden ser, por ejemplo, el uso de mapas de calor para grupos como mamíferos marinos, con el objetivo de identificar patrones espaciales de ocurrencia más allá de solo la localización de puntos. Estas iniciativas deben ir acompañadas de una curaduría rigurosa de los datos, para evitar errores o registros potencialmente inexactos, y contar con el acompañamiento de expertos que revisen y validen la información antes de su incorporación al análisis.

- Identificar, generar e incorporar información espacial sobre corredores ecológicos marinos y terrestres que conecten hábitats críticos entre sí o con áreas protegidas en el área de influencia las áreas con potencial de desarrollo eólico costa afuera en el país, particularmente en el polígono del área de nominación. La delimitación y análisis de estos corredores, como rutas migratorias, franjas costeras de conectividad funcional, flujos de nutrientes y zonas de tránsito de especies, es fundamental para el análisis de la sensibilidad ambiental y la consideración de potenciales impactos fragmentadores del paisaje marino costero. Su incorporación explícita en los estudios de sensibilidad ambiental y en la planificación espacial, permite una toma de decisiones más integral, que considera no solo la presencia puntual de biodiversidad, si no también sus dinámicas espaciales y procesos ecológicos esenciales.
- Se recomienda profundizar esfuerzos de investigación en el área de Reserva de la biosfera. Teniendo en cuenta que el polígono de ésta reserva es de gran extensión, realizar muestreos por subzonas al interior de la Reserva aportaría a la estimación de sensibilidad ambiental más detallada y establecer si se podrían adjudicar diferentes categorías de sensibilidad dentro de la misma, aportando así al desarrollo de medidas de manejo y gestión para la reserva más informadas.
- Se recomienda considerar el uso de tecnologías combinadas para el levantamiento de información ambiental, tales como dispositivos de captura de datos e imágenes en aguas profundas (*deep-sea drop cams*) y vehículos operados a distancia (ROV). Estas herramientas, combinadas con el aprovechamiento de iniciativas de datos abiertos; por ejemplo la plataforma *Global Fishing Watch*, constituyen alternativas viables y asequibles para la exploración marina. Este enfoque ya ha sido implementado tanto en la industria como en el país, demostrando su eficacia para complementar estudios de campo y optimizar recursos.
- Si bien es fundamental contar con información detallada en el área de interés —y, en este caso, particularmente dentro del polígono del área de nominación—, la recopilación de datos a escala más amplia también resulta importante y estratégica para comenzar a llenar vacíos de información. Este tipo de levantamientos puede proporcionar insumos orientativos que faciliten la planificación y optimización de estudios posteriores a escalas más detalladas. En este sentido, los estudios de gran escala ofrecen ventajas como:
 - o La posibilidad de realizar una confirmación más amplia de la presencia o ausencia de diferentes tipos o grupos de atributos de biodiversidad.
 - o La posibilidad de registrar atributos de biodiversidad que no se han registrado, o que son inesperados en el área de interés.
 - o La posibilidad de obtener una cobertura de datos más amplia, que a su vez podría indicar que otros atributos de la biodiversidad podrían ser potencialmente sensibles al desarrollo de la energía eólica marina.

Disponer de una línea base de información a gran escala puede resultar especialmente útil para las autoridades ambientales, ya que les permite definir y solicitar con mayor precisión el tipo de estudios requeridos, por ejemplo, para la obtención de un permiso de ocupación temporal en el área nominada.

- Considerando las diferentes variables que requieren investigación para apoyar la consolidación de una línea base de información ambiental para el área de estudio en el marco del despliegue de la energía eólica en el país, es recomendable abordar un esquema de muestro combinado y flexible, a ser ajustado en equipo con el aporte de expertos, entidades de gobierno, institutos de investigación y autoridades ambientales, buscando el costo efectividad del mismo.

Por ejemplo, los estudios aéreos digitales ofrecen una importante oportunidad para obtener información a gran escala. Idealmente, estos podrían complementarse y retroalimentarse con muestreos desde embarcaciones, los cuales, además de ampliar la cobertura de observaciones, permitirían la recolección de datos de monitoreo acústico pasivo (PAM) y ADN ambiental (eDNA). Este enfoque combinado ofrece la ventaja adicional de que los muestreos en embarcación facilitan la identificación de aves que no pueden ser determinadas con precisión a través de estudios aéreos digitales.

Otros enfoques como el análisis satelital y los modelos predictivos son recomendables como alternativa secundaria complementaria a los estudios con embarcaciones y a los estudios aéreos digitales. Sin bien, el costo de estos métodos es menor y, si los recursos lo permiten, pueden proporcionar detalles complementarios adicionales.

A continuación, la Tabla 9 presenta las técnicas de muestreo que pueden emplearse para recopilar datos sobre los atributos de biodiversidad, con el fin de complementar estudios de sensibilidad e información ambiental de línea base útil en el marco del desarrollo de la energía eólica marina. La selección y aplicación de los métodos debe alinearse siempre con las Buenas Prácticas Internacionales de la Industria (GIIP, por sus siglas en inglés) y ejecutarse con la participación de personal debidamente calificado.

Tabla 9. Resumen de métodos clave de monitoreo, correspondientes atributos de biodiversidad focales, e indicación cualitativa del costo relativo por unidad de esfuerzo de muestreo.

| Método de muestreo | Grupos focales / Hábitats | Costo relativo por unidad de esfuerzo de muestreo | ¿Costo-efectivo para cobertura a gran escala? (Si, No) |
|--|--|--|---|
| Levantamiento aéreo digital (por ejemplo, conjunto de cámaras: imágenes fijas o video continuo) o vehículos aéreos no tripulados | Aves, mamíferos marinos, peces y tortugas. Hábitats naturales | Moderado: Mayor cobertura espacial y menor costo en menos tiempo que con embarcaciones. Posibilidad de observaciones simultáneas de mamíferos marinos, tortugas y peces grandes. Costos de equipo potencialmente más altos en comparación con otros métodos, con requisitos de procesamiento que requieren mucho tiempo. | Si |
| Observaciones visuales directas desde embarcaciones | Aves, mamíferos marinos, peces y tortugas | Alto: Costo elevado por unidad de estudio debido a la baja velocidad de las embarcaciones. Sin embargo, existe potencial para observaciones simultáneas de mamíferos marinos, tortugas y peces grandes, así como para el despliegue y remolque de sistemas | No |

| Método de muestreo | Grupos focales / Hábitats | Costo relativo por unidad de esfuerzo de muestreo | ¿Costo-efectivo para cobertura a gran escala? (Si, No) |
|--|--|--|--|
| | | hidroacústicos para la detección de cetáceos que no se puedan detectar visualmente. | |
| Exploración visual desde un punto estratégico (costa, zona cercana a la costa, punto de conexión terrestre, torre meteorológica marina, entre otros) | Aves, murciélagos, mamíferos marinos, tortugas | Bajo: Relativamente económico. Ideal para combinar con métodos de radar y cámara. Su aplicación está restringida a zonas costeras. | No |
| Observaciones directas en sitios clave en tierra y en zonas de descanso | Aves y tortugas marinas. Hábitats naturales | Bajo: Relativamente económico. Su aplicación está restringida a zonas costeras. Podría combinarse con marcaje y/o muestreo de tejido. | No |
| Observaciones submarinas (mediante cámara subacuática —de descenso, remolcada, operada remotamente— o mediante buzos | Peces y mamíferos marinos. Hábitats naturales. | Bajo a moderado: Las observaciones mediante buzos son relativamente económicas. Los costos del equipo de cámaras subacuáticas pueden variar. Esta técnica puede combinarse con observaciones visuales desde embarcaciones (por ejemplo, para aves) y con muestreo de ADN ambiental (eDNA). | No |
| Radar, cámaras e imagen térmica (por ejemplo, muestreo continuo desde una ubicación fija en tierra o en el mar) | Aves y murciélagos. | Bajo: Equipos relativamente económicos. Es posible cubrir áreas extensas y realizar muestreos nocturnos. Se pueden instalar junto con equipos de monitoreo acústico remoto. Son especialmente útiles para monitorear la intensidad de la migración (incluyendo aves cantoras pequeñas). El mismo equipo puede utilizarse tanto para aves como para murciélagos. El radar debe complementarse con observaciones visuales, ya que es difícil diferenciar murciélagos de aves pequeñas y de insectos grandes; se requiere confirmación visual. No permite la identificación de especies ni la estimación de abundancia. | Si |
| Imágenes infrarrojas (por ejemplo, binoculares y visores de visión nocturna, cámaras de video en infrarrojo cercano y | Murciélagos | Alto: Costoso tanto en términos de adquisición de equipos como de análisis de datos. Puede complementarse con radar para identificar y rastrear objetivos en movimiento, pero no permite la identificación de especies y solo cubre | No |

| Método de muestreo | Grupos focales / Hábitats | Costo relativo por unidad de esfuerzo de muestreo | ¿Costo-efectivo para cobertura a gran escala? (Si, No) |
|--|---------------------------|--|--|
| cámaras de video térmicas) | | áreas de muestreo reducidas. Puede requerir una fuente de luz adicional. | |
| Marcaje, telemetría y seguimiento | Aves y mamíferos marinos. | Moderado: Costos de equipo variables, pero con potencial para una cobertura a gran escala y a largo plazo. El muestreo remoto de especies permite identificar áreas clave de uso y algunos aspectos del comportamiento. Se puede realizar en todas las condiciones climáticas. Existe la posibilidad de combinarlo con seguimiento visual y muestreo de tejidos. Sin embargo, requiere un alto esfuerzo de implementación y el muestreo suele limitarse a pocos individuos. El uso de marcas puede tener efectos negativos (por ejemplo, impactos en el bienestar animal o sesgos en los datos). Algunos sistemas GPS requieren la recaptura del individuo (por ejemplo, en el caso de murciélagos) para recuperar la información. | Potencialmente, dependiendo de la especie |
| Monitoreo acústico (manual o estático) | Murciélagos | Bajo: Relativamente económico. Ofrece opciones de implementación flexibles. Puede realizarse durante la noche desde la misma embarcación utilizada para los monitoreos visuales diurnos de aves y mamíferos marinos. Sin embargo, presenta un alcance de detección limitado (<100 m) y no permite estimar la abundancia. | No |
| Métodos hidroacústicos (por ejemplo, ecosonda, conjunto de hidrófonos remolcados, monitoreo acústico pasivo, sonar de barrido lateral) | Peces y mamíferos marinos | Moderado-Alto: Los costos del equipo son variables. Costoso por unidad de muestreo debido a la baja velocidad de navegación. Sin embargo, permite la observación visual simultánea de aves, mamíferos marinos, tortugas y peces de gran tamaño. | Potencialmente, dependiendo del equipo y del método utilizado. |
| Captura activa de peces (pesca de arrastre — múltiples tipos de artes de pesca) | Peces | Bajo a Moderado: Costos de equipo variables. Puede realizarse durante la noche. La velocidad de la embarcación y el tipo de arte utilizado pueden influir en el costo por unidad de esfuerzo de muestreo. No puede combinarse con observaciones simultáneas (por ejemplo, de mamíferos marinos o aves) debido a | No |

| Método de muestreo | Grupos focales / Hábitats | Costo relativo por unidad de esfuerzo de muestreo | ¿Costo-efectivo para cobertura a gran escala? (Si, No) |
|--|---|--|--|
| | | la posible atracción generada por la actividad pesquera | |
| Captura pasiva de peces (redes agalleras, trampas, nasas, línea y anzuelo, etc.) | Peces | Bajo a Moderado: Costos de equipo variables. Puede realizarse durante la noche. Existe el riesgo de pérdida del equipo. La instalación y recuperación del equipo puede afectar el costo por unidad de esfuerzo de muestreo. No puede combinarse con observaciones simultáneas (por ejemplo, de mamíferos marinos o aves) debido a la posible atracción generada por la actividad pesquera. | No |
| ADN ambiental (eDNA) | Aves, mamíferos marinos, murciélagos, tortugas marinas, peces. Hábitats naturales (comunidades características asociadas) | Moderado a Alto: Particularmente útil para especies acuáticas. Permite determinar rápidamente la presencia de especies y complementa los métodos tradicionales de muestreo. Sin embargo, puede resultar costoso por unidad de muestreo dependiendo de la ubicación del muestreo y la baja velocidad de navegación requerida, así como por los costos variables del análisis de laboratorio, los cuales dependen de: (i) la sensibilidad requerida (por ejemplo, identificación de grupos amplios de especies vs identificación de familias); y (ii) el grado en que las secuencias genéticas de las especies muestreadas ya estén registradas en bases de datos de referencia genética. No permite determinar abundancia. Existe el riesgo de que la muestra no se origine en el área de muestreo (el riesgo es mayor en áreas de estudio más pequeñas). | Si |
| Muestreo físico (por ejemplo, muestreo aleatorio). | Hábitats naturales | Bajo-Moderado: Útil para confirmar o verificar tipos de hábitat, como por ejemplo aquellos observados con cámara o en datos geofísicos. Relativamente económico en cuanto a equipo y recolección de muestras. Costos variables para el análisis de muestras, si es necesario. Puede combinarse con otros estudios realizados desde embarcaciones. | No |
| Estudios bentónicos de alta resolución (ROV - vehículo | Hábitats bentónicos | Moderado a Alto: Los estudios bentónicos de alta resolución son más apropiados para investigaciones más | No |

| Método de muestreo | Grupos focales / Hábitats | Costo relativo por unidad de esfuerzo de muestreo | ¿Costo-efectivo para cobertura a gran escala? (Si, No) |
|--|--|---|--|
| operado remotamente, muestras tomadas al azar) | | <p>detalladas. Sus costos dependen del método empleado (ROV, muestreo directo, o ambos), la profundidad y las condiciones oceanográficas del área. Estos pueden incluir diversas técnicas como el video submarino remoto con cebo (BRUV), cámaras desplegadas, la recolección de muestras de sedimentos mediante muestreo manual o la observación directa de buzos. El uso de ROV implica una inversión inicial elevada en equipos y personal especializado, pero tiene la ventaja de ofrecer un registro visual continuo. El muestreo directo requiere menos tecnología, pero puede ser más limitado en cobertura y resolución espacial.</p> | |
| Análisis de imágenes satelitales | Hábitats naturales marino-costeros, mamíferos marinos. | <p>-Hábitats naturales/ Bajo-Moderado para : en general no es muy costoso teniendo en cuenta que es un método de escritorio. Dependiendo de la resolución espacial y temporal, el acceso a imágenes satelitales puede ser relativamente económico si se utilizan datos gratuitos (p. ej., Landsat o Sentinel), aunque las imágenes comerciales de alta resolución pueden ser costosas. Permite obtener información sobre hábitats naturales como manglares, humedales, arrecifes de coral y praderas de pastos marinos, así como registrar la ocurrencia y extensión de eventos ambientales (por ejemplo, floraciones de fitoplancton).</p> <p>Mamíferos marinos/Moderado-alto : El análisis de imágenes satelitales es un método emergente e innovador para el estudio de mamíferos marinos a gran escala, con apoyo de herramientas de aprendizaje automático e inteligencia artificial que mejoran la detección (p. ej., método SPACEWHALE para mamíferos marinos en imágenes de muy alta resolución). Puede también aplicarse para localizar y monitorear playas de anidación de tortugas en áreas remotas.</p> | Si |

| Método de muestreo | Grupos focales / Hábitats | Costo relativo por unidad de esfuerzo de muestreo | ¿Costo-efectivo para cobertura a gran escala? (Si, No) |
|--------------------|---------------------------|---|--|
| | | No obstante, aún presenta algunas limitaciones como la necesidad de entrenar los sistemas de detección automatizada, estandarizar el procesamiento de datos, mejorar el conocimiento sobre detectabilidad en diferentes condiciones marinas y minimizar factores como nubosidad o espuma en la superficie. Los costos están disminuyendo, pero la mayor parte se incurre en la etapa de compra de las imágenes, actualmente a través de una empresa privada. En general, este enfoque es significativamente más económico que los muestreos con prospecciones aéreas o marítimas. | |

Fuente: Adaptado de la guía SenMap, Banco Mundial, 2024. *Guía para la Planificación Espacial Temprana de la Energía Eólica Marina Costa Afuera*

- Algunos tipos de información que no se encuentra directamente relacionada con la biodiversidad pueden ser potencialmente útiles para comprender de mejor manera la sensibilidad ambiental y las diversas relaciones ecológicas que la determinan. En éste sentido, incorporar información física y oceanográfica; incluyendo batimetría, régimen de corrientes, oleaje, mareas, frentes oceánicos, descargas fluviales y dinámica de transporte de sedimentos, como capa de análisis complementaria en el mapeo de sensibilidad ambiental. Esta información, integrada con los atributos biológicos, permitirá identificar áreas donde los procesos físicos sostienen una alta productividad o biodiversidad, así como zonas potencialmente vulnerables a cambios inducidos por el desarrollo eólico marino. La inclusión de estas variables debe realizarse con base en fuentes actualizadas y en coordinación con especialistas en oceanografía y dinámica costera, asegurando que los resultados sean considerados desde las fases tempranas de planificación y diseño de proyectos.

Recomendaciones para próximos pasos

- Se recomienda usar los mapas de sensibilidad aquí generados a través de la aplicación de la guía SenMap de manera indicativa, teniendo en cuenta que la sensibilidad en un área determinada podría confirmarse como menor una vez se realicen estudios más detallados y procesos de consulta a nivel de proyecto. En este sentido, los resultados de sensibilidad aquí aportados pueden emplearse en siguientes fases, para orientar los Estudios de Impacto Ambiental (EIAs) particulares a nivel de proyecto.
- Se recomienda realizar estudios específicos en zonas con potencial presencia de especies de interés, particularmente aquellas amenazadas, endémicas y/o migratorias, con el fin de confirmar su presencia, patrones de uso del hábitat y rutas de distribución. Este tipo de estudios

permitiría comprender mejor su comportamiento, características ecológicas y su relación con impactos potenciales. Asimismo, identificar de forma temprana las especies y ecosistemas sobre los que la autoridad ambiental podría solicitar información adicional facilitaría una planificación más eficiente del proyecto y su solicitud de licenciamiento. De acuerdo con la información disponible en las herramientas Tremarctos Colombia 3.0 (Sistema de Información de Alertas Tempranas) y el geovisor SIAM del INVEMAR (actualización julio 2024), en el área nominada se estima el potencial de presencia de 833 especies en la zona costera y 37 especies en el área marina. Esto refuerza la necesidad de estudios de campo que confirmen la presencia o ausencia de dichas especies y su relación con los ecosistemas presentes.

- A partir de las etapas iniciales de planificación, se recomienda identificar posibles restricciones temporales asociadas a la historia natural de especies y ecosistemas, como los períodos críticos para la biodiversidad (por ejemplo, temporadas de anidación y desove de tortugas marinas y peces). Asimismo, es clave prever medidas técnicas de diseño y operación, tales como el enrutamiento de cables para evitar zonas de alta sensibilidad o la implementación de límites de velocidad para embarcaciones, con el fin de reducir el riesgo de colisión con mamíferos marinos. Estas medidas deberán refinarse y ajustarse en fases posteriores, a partir de estudios más detallados liderados por los desarrolladores durante etapas avanzadas de planificación.
- Es importante realizar una identificación preliminar de los potenciales impactos asociados al despliegue de la energía eólica marina, y su relación con la fauna y ecosistemas presentes en el Caribe Colombiano, así como la consideración de posibles impactos acumulativos asociados al sector, con el fin de reconocer en etapas tempranas posibles interacciones entre múltiples proyectos e infraestructuras marinas y costeras, así como otros usos existentes del territorio marino (p. ej., pesca, transporte marítimo, turismo, exploración sísmica). Incorporar esta visión desde las fases iniciales facilitará el diseño de estrategias de mitigación, previniendo la superposición de presiones sobre ecosistemas sensibles.
- Teniendo en cuenta que las perturbaciones por ruido constituyen uno de los impactos principales en la fase de construcción de la energía eólica marina, se recomienda realizar un análisis preliminar específico en las zonas determinadas para la ocupación temporal, con relación a la propagación del ruido submarino durante la fase de construcción, considerando variables oceanográficas locales (profundidad, tipo de fondo, salinidad, temperatura) y su interacción con especies sensibles al sonido, como mamíferos marinos y peces. Aunque el ruido submarino generado durante la fase operativa de los aerogeneradores suele considerarse de bajo impacto, la fase de instalación (particularmente el hincado de pilotes y otras actividades mecánicas intensas) puede generar perturbaciones acústicas significativas que deben ser evaluadas mediante modelos predictivos de propagación acústica y datos de campo. Así, los estudios de propagación del ruido pueden generar información clave para definir medidas de mitigación, tiempos de obra y posibles exclusiones temporales en zonas de alta sensibilidad durante la fase de construcción. Por lo general, el ruido submarino en la fase operativa, no se considera un problema relevante, no obstante, debe mantenerse bajo vigilancia en caso de presentarse condiciones atípicas (Nedwell et al., 2007; Southall et al., 2019; European Commission, 2021).

- Es importante impulsar la elaboración de una Evaluación Ambiental Estratégica -EAE para el despliegue del sector de energía eólica costa afuera en el Caribe colombiano, como instrumento de planificación a escala sectorial. En Colombia, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible ha liderado el avance de EAEs, con el objeto de incorporar consideraciones ambientales en los procesos de toma de decisiones en el ámbito de políticas, planes y programas sectoriales. Aunque no siempre es obligatoria, su aplicación es promovida por el Minambiente, con el fin de orientar las decisiones sectoriales hacia la sostenibilidad y la reducción de riesgos ambientales y sociales. En el marco del despliegue del sector de energía eólica costa marina en Colombia, este instrumento contribuiría a:
 - o Fortalecer la coordinación interinstitucional (MADS, DIMAR, ANLA, autoridades ambientales y sector privado).
 - o Optimizar tiempos y costos en las EIAs de proyectos individuales.
 - o Prevenir conflictos socioambientales y mejorar la aceptación social.

5. Referencias

- Allinson, T., Jobson, B., Crowe, O., Lammerant, J., Van Den Bossche, W., & Badoz, L. (2020). The Wildlife Sensitivity Mapping Manual: Practical guidance for renewable energy planning in the European Union. European Commission.
- Banco Mundial. (2024). Guía SenMap para la identificación de atributos E&S sensibles para proyectos de energía renovable. Banco Mundial, Washington D.C.
- Bennun, L., van Bochove, J., Fletcher, C., Wilson, D., Phair, N., & Carbone, G. (2021a). Industry guidance for early screening of biodiversity risk – offshore wind. IUCN and The Biodiversity Consultancy.
- Bennun, L., van Bochove, J., Ng, C., Fletcher, C., Wilson, D., Phair, N., & Carbone, G. (2021b). Mitigating biodiversity impacts associated with solar and wind energy development. Guidelines for project developers. IUCN and The Biodiversity Consultancy.
- Cifuentes Sarmiento, Y, Y & C. Ruíz Guerra (EDS.). 2022. Programa AICA en Colombia. Asociación Calidris. Santiago de Cali, Colombia.
- Comisión Europea. (2021). *Guidance document on underwater noise: A common understanding on monitoring, assessment and mitigation of underwater noise in European seas*. Bruselas: Oficina de Publicaciones de la UE.
- Díaz, J.M., et al. (2000). Biodiversidad Marina y Costera de Colombia. INVEMAR. Santa Marta. 83p.
- ECOPETROL (2018). Guía para la elaboración de Estudios Ambientales. Anexo 3. Metodología para la Zonificación Ambiental en áreas de interés petrolero. Ecopetrol S.A.
- IDEAM, 2010. Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000.
- IDEAM, IAvH, INVEMAR e IGAC. (2017). Memoria técnica. Mapa de ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia (MEC), escala 1:100.000. 170 pp.
- INVEMAR (2022). Informe del Estado de los Ambientes Marinos y Costeros de Colombia. Serie de Publicaciones Periódicas No. 3. Santa Marta. 313 p
- INVEMAR (2024). SAMP Subsistema de áreas marinas protegidas. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras "José Benito Vives de Andrèis" - INVEMAR.
- INVEMAR. Rojas Giraldo, X., Sierra-Correa P.C., Lozano-Rivera P., López Rodríguez A. (2010) Guía metodológica para el manejo integrado de las zonas costeras en Colombia, manual 2: planificación de la zona costera. Serie de Documentos Generales INVEMAR No.44, 74 p.
- MADS (2014). Guía Técnica para la Formulación de los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Bogotá, D.C.: Colombia.

MADS (2015). DECRETO 1076 del 26 de mayo de 2015. Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

MADS (2015) Plan Nacional de Restauración: restauración ecológica, rehabilitación y recuperación de áreas disturbadas. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Grupo de Divulgación de Conocimiento y Cultura Ambiental

MADS (2021). Programa nacional para la conservación y restauración del bosque seco tropical en Colombia. PNCBST Plan de Acción 2020-2030 / Ministerio de Ambiente Desarrollo Sostenible. Dirección de Bosques, Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos: Bogotá D.C.: Colombia.

MADS (2024). Reservas de la Biósfera. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

MAVDT (2010). Documento CONPES 3680 Lineamientos para la consolidación del Sistema Nacional de Áreas Protegidas. Consejo Nacional de Política Económica y Social República de Colombia Departamento Nacional de Planeación.

MADS y . Rodrigo Jiliberto Herrera, Marcela Bonilla Madriñán, Editores. Guía Práctica para la Formulación de Evaluaciones Ambientales Estratégicas en Colombia. Bogotá, D.C., Colombia.

MER. Netherlands Commission for Environmental Assessment. (2024). Views and Experiences. Environmental Assessment for wind Energy.

Nedwell, J. R., Turnpenny, A. W. H., Langworthy, J., & Edwards, B. (2007). *Measurement and interpretation of underwater noise during construction and operation of offshore windfarms in UK waters*. Subacoustech Report No. 544R0738.

Noguera-Urbano, E. A., & Suarez-Castro, A. F. 2022. Los Sitios Ramsar en Colombia: Recomendaciones para su gestión frente al cambio climático. En: Moreno, L. A., & Andrade, G. I. (Eds.). Biodiversidad y Cambio Climático: estado y tendencias de la biodiversidad continental de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt

Pizano, C., González-M, Lopez-Camacho, R., Darío-Jurado, R., Cuadros, H., Castaño-Naranjo, A., Rojas, A., Perez, K., Vergara-Varela, H., Idárraga, V., Isaacs-Cubides, P. y García, H.

(2016). El bosque seco tropical en Colombia: Distribución y estado de conservación. En Gómez, M.F., Moreno, L.A., Andrade, G.I. y Rueda, C. (Eds.). Biodiversidad 2015. Estado y tendencias de la biodiversidad continental de Colombia. Instituto Alexander von Humboldt. Bogotá, D.C., Colombia.

PNN (2024). Prioridades de conservación. Parques Nacionales Naturales de Colombia.

PNN (2024). Sistema Nacional de Parques Nacionales Naturales. Parques Nacionales Naturales de Colombia.

Ramsar. (1998). *Sistema Delta Estuarino del Río Magdalena – Ciénaga Grande de Santa Marta (Sitio Ramsar No. 951, 400 000 ha)*. Ramsar Sites Information Service.

RUNAP (2024). Registro único de áreas protegidas RUNAP. Parques Nacionales Naturales de Colombia.

Southall, B. L., Finneran, J. J., Reichmuth, C., Nachtigall, P. E., Ketten, D. R., Bowles, A. E., . & Tyack, P. L. (2019). Marine mammal noise exposure criteria: Updated scientific recommendations for

residual hearing effects. Aquatic Mammals, 45(2), 125–232.
<https://doi.org/10.1578/AM.45.2.2019.125>

IUCN, & The Biodiversity Consultancy (TBC). (2021). Mitigating biodiversity impacts associated with solar and wind energy development: Guidelines for project developers. International Union for Conservation of Nature (IUCN).

The Renewables Consulting Group & ERM (2022). Hoja de ruta para el despliegue de la energía eólica costa afuera en Colombia.

Anexo 1.

Entidades de Gobierno y Universidades identificados como actores clave, y a los cuales se realizó solicitud de información ambiental y convocatoria para participar de los encuentros en el marco del estudio de sensibilidad ambiental.

| | Nombre de la Institución | Acrónimo |
|-----------|---|-----------------|
| 1 | Agencia Nacional de Hidrocarburos | ANH |
| 2 | Dirección General Marítima | DIMAR |
| 3 | Servicio Geológico Colombiano | SGC |
| 4 | Universidad del Atlántico | Uniatlántico |
| 5 | Universidad de Cartagena | Unicartagena |
| 6 | Universidad de la Guajira | Uniguajira |
| 7 | Universidad del Magdalena | Unimagdalena |
| 8 | Universidad Jorge Tadeo Lozano | Utadeo |
| 9 | Asociación de Energías Renovables Colombia | SER Colombia |
| 10 | Instituto Geográfico Agustín Codazzi | IGAC |
| 11 | Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt | Humboldt |
| 12 | Parques Naturales Nacionales de Colombia | PNN |
| 13 | Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José bendito de Andrés | INVEMAR |
| 14 | Fondo de Energías no Convencionales y Gestión Eficiente de la Energía | FENOGE |
| 15 | Comisión Colombiana del Océano | CCO |
| 16 | Corporación para el Desarrollo Sostenible del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina | CORALINA |
| 17 | Corporación Autónoma Regional del Canal del Dique | CARDIQUE |
| 18 | Corporación Autónoma Regional del Atlántico | CRA |
| 19 | Corporación Autónoma Regional del Magdalena | CORPAMAG |
| 20 | Corporación Autónoma Regional de La Guajira | CORPOGUAJIRA |
| 21 | Corporación Autónoma Regional de Sucre | CARSUCRE |
| 22 | Ministerios de Ambiente y Desarrollo Sostenible - Dirección de Bosques, Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos | Minambiente |
| 23 | Agencia Nacional de Minería | ANM |
| 24 | Autoridad Nacional de Licencias Ambientales | ANLA |
| 25 | Agencia nacional de Infraestructura | ANI |
| 26 | Unidad de Planeación Minero-Energética | UPME |
| 27 | Asociación Red Colombiana de Reservas Naturales de la Sociedad Civil | RESNATUR |
| 28 | Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca | AUNAP |
| 29 | Ministerios de Ambiente y Desarrollo Sostenible - Dirección de Asuntos Ambientales Sectorial y urbana | Minambiente |
| 30 | Ministerios de Ambiente y Desarrollo Sostenible - Dirección Asuntos Marinos Costeros y recursos Acuáticos | Minambiente |

