

Puesta en marcha de la

# HOJA DE RUTA ENERGÍA EÓLICA COSTA AFUERA

• • •  
Resumen ejecutivo



El futuro  
es de todos

Minenergía

#LaNUEVAENERGÍA

# RESUMEN EJECUTIVO

Esta hoja de ruta proporciona un análisis estratégico del potencial de desarrollo de la energía eólica marina en Colombia, considerando las oportunidades y los desafíos en diferentes escenarios hipotéticos de crecimiento. Su objetivo es proporcionar evidencia para apoyar al Gobierno de Colombia en el establecimiento de políticas, regulaciones, procesos e infraestructura para permitir el crecimiento exitoso de esta nueva industria.

Fue iniciado por el equipo de país del Banco Mundial en Colombia bajo el paraguas del Programa de Desarrollo Eólico Marino del Grupo del Banco Mundial, que tiene como objetivo acelerar el desarrollo de la energía eólica marina en los mercados emergentes, y fue financiado por el Programa de Asistencia para la Gestión del Sector Energético (ESMAP por sus siglas en inglés) en asociación con la Corporación Financiera Internacional (IFC por sus siglas en inglés).

## FUNDAMENTO DE LA ENERGÍA EÓLICA MARINA EN COLOMBIA

Colombia tiene algunas de las mejores condiciones naturales para la energía eólica marina en el mundo y ya existe un gran interés del sector privado en el desarrollo de proyectos. Colombia tiene la oportunidad de utilizar este recurso energético autóctono como parte de la transición a cero emisiones netas de carbono y para ayudar a gestionar el trilema energético del país:

- **Seguridad de suministro:** Dado que cerca del 70 por ciento de la electricidad de Colombia es suministrada por energía hidroeléctrica, el país depende en gran medida de sus reservas de agua y está expuesto a posibles impactos causados por sequías, que son cada vez más frecuentes a medida que se sienten los impactos del cambio climático. La diversificación del suministro eléctrico proporcionará una mayor seguridad de suministro. La producción alta y menos variable de la energía eólica marina, en comparación con otros recursos de energía renovable no convencional (ERNC) como la energía solar fotovoltaica y la energía eólica terrestre, la hacen adecuada para diversificar la combinación de electricidad a escala.

- **Sostenibilidad:** El Nuevo Plan Energético de Colombia<sup>1</sup> estima que se necesitarán agregar alrededor de 19 gigavatios (GW) de nuevas ERNC entre 2020 y 2050. También se han anunciado necesidades de ERNC más ambiciosas en el contexto de la estrategia de neutralidad de carbono de Colombia para 2050. De acuerdo con esta estrategia, el uso de electricidad en Colombia debe aumentar del 18 por ciento del consumo total de energía en 2020 a un 70 por ciento para 2050<sup>2</sup>. La energía eólica marina podría contribuir con parte de esta nueva capacidad de ERNC, ya que utiliza menos suelo que otras formas de energía renovable variable y puede ser más aceptable para los ciudadanos de Colombia.
- **Equidad:** El suministro de electricidad de Colombia debe ser asequible y evitar ser susceptible a aumentos de precios causados por sequías o aumentos en los costos de los combustibles fósiles importados. Si bien el costo de la energía para la energía eólica marina es mayor que el de la energía eólica solar o terrestre, puede ser competitivo a mediano y largo plazo cuando se implementa a escala y es probable que su menor variabilidad signifique que los costos de equilibrio de la electricidad serán más bajos, por lo tanto, reduciendo el costo total para los consumidores.

Más allá del trilema energético, el desarrollo de la energía eólica marina podría aportar otros beneficios a Colombia, entre ellos:

- **Beneficios Económicos:** El desarrollo de la energía eólica marina en Colombia también podría generar numerosos beneficios económicos. Bajo el escenario de desarrollo de alto crecimiento de esta hoja de ruta, por ejemplo, para 2050 la energía eólica marina podría respaldar hasta 26,000 empleos equivalentes a tiempo completo (FTE por sus siglas en inglés) y agregar alrededor de US \$ 3 mil millones a la economía de Colombia por año. El rápido desarrollo de la industria eólica marina mundial también brindará algunas oportunidades regionales de exportación para la cadena de suministro de Colombia, especialmente para proyectos en el sur de EE. UU. y en otras partes de América Latina.
- **Inversiones:** El desarrollo de 9 GW de energía eólica marina para 2050 también requeriría inversiones significativas de fuentes nacionales e internacionales, tanto para financiar la construcción de proyectos como para desarrollar la cadena de suministro y la industria local.

1. Plan Energético Nacional 2020-2050, UPME & Minenergía

2. Gobierno de Colombia. (2021). Estrategia climática de largo plazo de Colombia E2050 para cumplir con el Acuerdo de París [https://unfccc.int/sites/default/files/resource/COL\\_LTS\\_Nov2021.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/resource/COL_LTS_Nov2021.pdf)



- **Mejoras de infraestructura:** El desarrollo eólico marino a gran escala catalizará la inversión en la infraestructura portuaria y de red de Colombia. Estas actualizaciones explotarán las sinergias del sector de la infraestructura, lo que tendrá un impacto positivo fuera del sector eólico marino, por ejemplo, al mejorar la solidez y la confiabilidad de la red, o respaldar la mejora de la infraestructura portuaria.
- **Descarbonización y exportaciones:** La energía eólica marina a gran escala y de bajo costo podría usarse para producir hidrógeno verde y otros vectores de energía sin carbono, como el amoníaco. Estos productos no solo podrían permitir la descarbonización de la industria local, como la agricultura y el transporte, sino que también podrían exportarse a otros consumidores. La economía de esta oportunidad deberá evaluarse a medida que madure la tecnología para producir hidrógeno verde. Además, con una mayor interconexión eléctrica futura con los sistemas vecinos, el exceso de electricidad de la energía eólica marina también podría exportarse.

## POTENCIAL EÓLICO MAR ADENTRO DE COLOMBIA

La costa caribeña de Colombia<sup>3</sup> tiene abundantes recursos eólicos marinos energéticos con un recurso potencial técnico<sup>4</sup> total estimado<sup>5</sup> en 109 GW. Las velocidades del viento, particularmente en la región de La Guajira, exceden consistentemente los 10 metros por segundo (ver Figura ES.1) y los factores de capacidad neta estimados para proyectos representativos (cuánta electricidad podrían producir en comparación con su potencial total teórico) se acercan al 70% y son entre los más altos del mundo.

Sin embargo, esta costa presenta muchas áreas protegidas, hábitats críticos y sensibilidades ambientales. Sus aguas son utilizadas por pesquerías comerciales y artesanales, y las tierras son importantes para las comunidades indígenas. Además, existen áreas asignadas para actividades hidrocarburíferas, así como rutas muy transitadas por el transporte marítimo. El análisis de esta hoja de ruta utilizó datos espaciales existentes para caracterizar aún más los recursos eólicos marinos de Colombia y estas posibles limitaciones para el desarrollo. Evaluó una amplia gama de cuestiones ambientales, sociales y técnicas para identificar áreas de exploración inicial técnicamente atractivas que, según los datos disponibles, es probable que tengan menores impactos negativos asociados con el desarrollo.

Teniendo en cuenta las limitaciones ambientales, sociales y técnicas, el desarrollo potencial se estima en alrededor de 50 GW, equivalente a 2,8 veces la capacidad de generación total existente en el país.

De las 13 áreas de exploración inicial que se muestran en la Figura ES.2, cinco se encuentran en aguas poco profundas (<70 metros) aptas para la energía eólica marina de base fija, lo que representa más de 27 GW de potencial en 6800 km<sup>2</sup>, y ocho se encuentran en aguas más profundas (+70 metros) adecuado para la energía eólica marina de base flotante, que representa más de 21 GW de potencial en 5400 km<sup>2</sup> (ver tabla ES.1). Se requerirá la participación de las partes interesadas y más datos para comprender mejor estas áreas; la hoja de ruta recomienda esto como uno de los siguientes pasos prioritarios.

3. Por lo general, se requieren velocidades promedio del viento superiores a 7 metros por segundo para proyectos eólicos marinos económicamente viables. Los recursos eólicos marinos en otras partes de las aguas de Colombia, como a lo largo de la costa del Pacífico, no son tan energéticos como en la costa del Caribe, por lo que no se consideran en esta hoja de ruta.

4. El potencial técnico eólico marino es una estimación de la cantidad de capacidad de generación que podría ser técnicamente factible, considerando solo la velocidad del viento y la profundidad del agua. Esto pretende ser una estimación inicial de alto nivel y no considera otras limitaciones técnicas, ambientales, sociales o económicas.

5. ESMAP (2020), Potencial Técnico Eólico Marino en Colombia <https://documents1.worldbank.org/curated/en/719501586846928298/pdf/Technical-Potential-for-Offshore-Wind-in-Colombia-Map.pdf>



FIGURA ES.1: MAPA DEL POTENCIAL EÓLICO MAR ADENTRO DE COLOMBIA

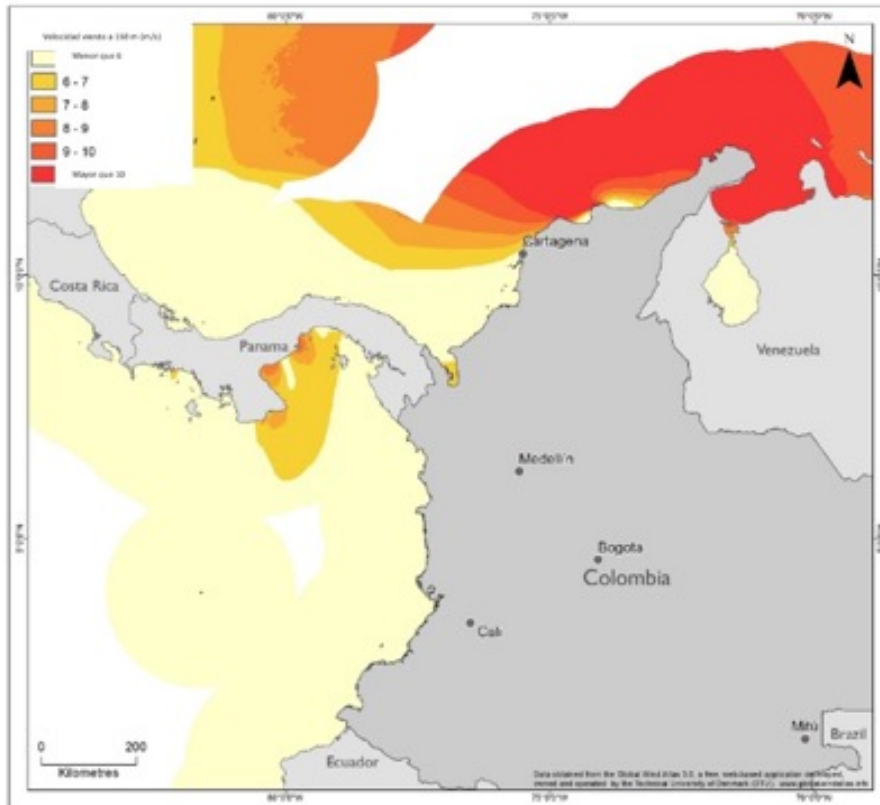


FIGURA ES.2: MAPA DE ÁREAS DE EXPLORACIÓN INICIAL PARA ENERGÍA EÓLICA MARINA



**TABLA ES. 1: POTENCIAL DE DESARROLLO DE ENERGÍA EÓLICA MARINA EN LAS ÁREAS DE EXPLORACIÓN INICIAL**

Identificación del sitio	Área (km2)	Capacidad nominal de referencia (MW)
FX-1	550	2,200
FX-3	1,150	4,600
FX-4	1,400	5,600
FX-5	1,200	4,800
FX-6	2,500	10,000
Potencial Eólico De Fundación Fija	6,800	27,200
FL-1	350	1,400
FL-2	200	800
FL-3	200	800
FL-4	800	3,200
FL-5	1,550	6,200
FL-6	1,550	6,200
FL-7	350	1,400
FL-8	400	1,600
Potencial Eólico De Fundación Flotante	5,400	21,600
<b>Referencia Capacidad Potencial (MW)</b>	<b>~50,000</b>	

Fuente: Estimación del autor. Basado en un supuesto de densidad de potencia nominal de 4MW/km2 por WBG ESMAP.

## ESCENARIOS PARA EL DESARROLLO DE LA ENERGÍA EÓLICA MARINA

El análisis que sustenta esta hoja de ruta se basa en dos posibles escenarios de crecimiento para la industria eólica marina de Colombia. El propósito de estos escenarios es poder ilustrar el efecto potencial de la escala de la industria en el costo, el beneficio para el consumidor, los riesgos ambientales y sociales y el impacto económico. Los escenarios no se establecieron (y no han sido probados) a través de un ejercicio de expansión de generación de energía de menor costo; la hoja de ruta recomienda éste como otro de los próximos pasos prioritarios.

Los dos escenarios de desarrollo se resumen en:

- **Crecimiento bajo:** asume que la energía eólica marina se desarrolla y es adquirida en casos limitados, con tamaños de proyecto más pequeños (por ejemplo, <500MW) y sin una estrategia nacional específica de energía eólica marina o un programa de adquisición dedicado. Este escenario se puede lograr dentro del plan de expansión de transmisión del caso base, haciendo uso de la capacidad de conexión a través de refuerzos de la red de negocios habituales y concentrando el despliegue más cerca

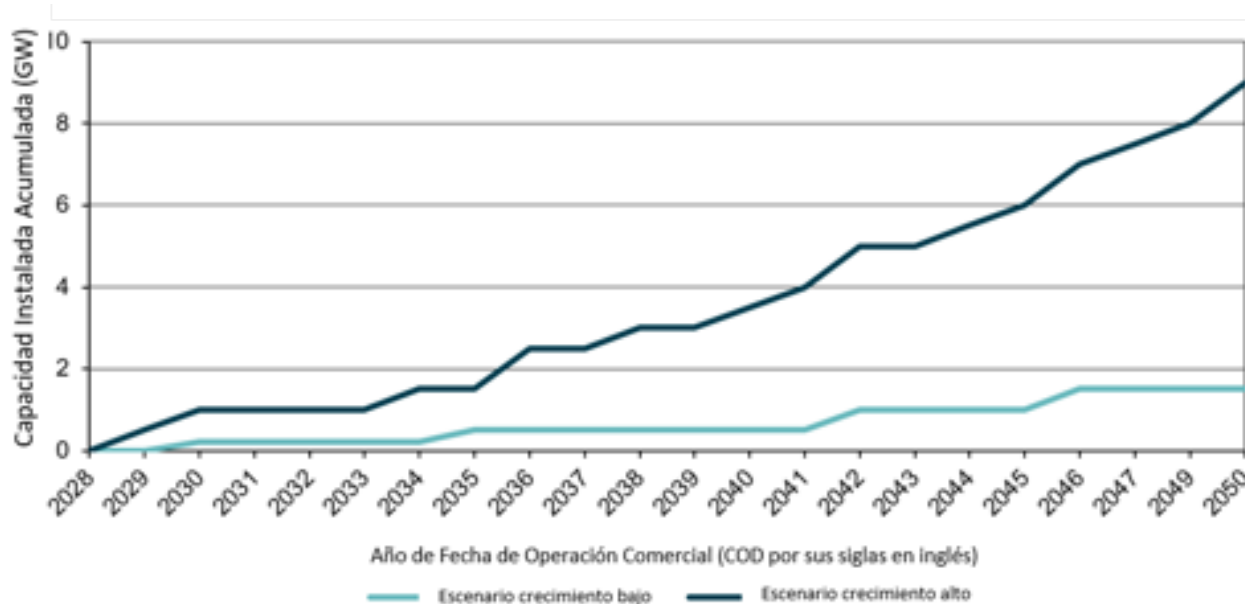
de los centros de carga de Cartagena, Barranquilla y Santa Marta. Bajo este escenario, los beneficios económicos locales serán limitados ya que no hay una escala suficiente para justificar una inversión sustancial en la cadena de suministro local. La pequeña escala de los proyectos y el requisito de importar equipos y servicios aumenta el costo de la energía y limita el potencial de reducción de costos. El despliegue acumulado de capacidad bajo este escenario se muestra en la Figura ES.3.

- **Crecimiento alto:** asume que la energía eólica marina se desarrolla a gran escala, con grandes proyectos de más de 1 GW, a través de un programa de adquisición específico de tecnología. Se requerirán mejoras de transmisión significativas y proactivas para que las conexiones a la red de gran capacidad estén disponibles, particularmente en la región de La Guajira. En este escenario, los beneficios económicos locales serán mayores que en el escenario de bajo crecimiento, ya que la mayor escala de la industria impulsa la inversión en la cadena de suministro local. La mayor escala de los proyectos y el uso de contenido local ayuda a reducir el costo de la energía y reduce los costos a medida que se desarrolla la industria.





**FIGURA ES. 3: CAPACIDAD OPERATIVA ACUMULADA BAJO LOS DOS ESCENARIOS**



El escenario de crecimiento bajo podría lograrse con poca acción por parte del gobierno, aparte de realizar modificaciones menores a las regulaciones existentes para permitir la construcción y operación de energía eólica marina en las aguas de Colombia. Bajo este escenario, la energía eólica marina solo haría una contribución relativamente menor a la combinación energética futura de Colombia. Por lo tanto, se requeriría un desarrollo eólico y solar terrestre a gran escala (+17 GW) para lograr estos objetivos.

El escenario de crecimiento alto requeriría una acción gubernamental sustancial para priorizar el desarrollo eólico marino y establecer un plan de desarrollo de transmisión para conectar la capacidad objetivo. Estas acciones brindarían al sector privado la certeza necesaria para invertir y entregar grandes volúmenes de energía eólica marina, mejorando posteriormente la competitividad de costos de la electricidad y generando beneficios económicos locales sustanciales. Se proporcionan más detalles sobre las acciones recomendadas en las secciones correspondientes a continuación.

Estos dos escenarios son hipotéticos y fueron ideados para demostrar los impactos de las políticas y acciones del gobierno. Por lo tanto, los volúmenes reales de energía eólica marina instalada en Colombia probablemente diferirán de estos escenarios, tanto en términos de volumen general como de instalación por etapas. El escenario de alto crecimiento no debe verse como un techo; Si el gobierno y otros actores siguen las recomendaciones de esta hoja de ruta, existe la posibilidad de que la energía eólica marina supere con creces este escenario.

### RETOS PARA EL DESARROLLO DE LA ENERGÍA EÓLICA MARINA

Esta hoja de ruta demuestra que la energía eólica marina podría brindar un valor sustancial a Colombia, pero que se enfrentan muchos desafíos para establecer una industria exitosa a gran escala. Algunos de los principales retos incluyen:

- **Costo de la energía** – simplemente sobre una base de costo nivelado de energía, la energía eólica marina es más costosa que las ERNC, como la energía eólica terrestre y la energía solar fotovoltaica, pero puede ser competitiva con el costo de la generación térmica convencional. Podría requerirse un tratamiento especial, idealmente mediante el lanzamiento de una subasta de tecnología específica.
- **Escala** – Para reducir el costo de la energía, se requieren proyectos de gran capacidad para lograr economías de escala. La gran escala de estos proyectos puede plantear numerosos desafíos asociados, incluidos los dos puntos siguientes.
- **Transmisión** – Los recursos eólicos marinos más energéticos de Colombia están lejos de los principales centros de demanda y requerirán líneas de transmisión y actualizaciones nuevas y largas. En ciertas áreas, cerca de algunos de los principales centros de demanda en la costa del Caribe, las distancias cortas y la transmisión existente ya pueden permitir la conexión de proyectos y podrían brindar oportunidades para entregar capacidad a corto y mediano plazo.



- **Impactos ambientales y sociales** – a mayor escala, aumentan los riesgos de impactos ambientales y sociales adversos, especialmente cuando se consideran los impactos acumulativos de múltiples proyectos. Se requerirán datos, participación de las partes interesadas y una planificación espacial marina cuidadosa para minimizar los impactos ambientales y sociales.
- **Cadena de suministro local limitada** – aunque la escala comparativa de la industria es grande en el contexto colombiano, no es lo suficientemente grande como para establecer una cadena de suministro local completa. Por lo tanto, será necesario importar muchos componentes. El tamaño del mercado determinará la proporción de contenido local; con un tamaño de mercado más grande que atrae una mayor inversión en la cadena de suministro local y la infraestructura asociada (por ejemplo, puertos).
- **Financiamiento y bancabilidad** – Si bien Colombia tiene experiencia en la atracción de financiamiento internacional a gran escala para proyectos de infraestructura, los altos riesgos asociados con la energía eólica marina requerirán medidas cuidadosas de gestión y mitigación de riesgos para garantizar la bancabilidad y minimizar el costo de capital.

## ACCIONES RECOMENDADAS

A partir del análisis y los hallazgos de este estudio de hoja de ruta, recomendamos 34 acciones necesarias para lograr el escenario de alto crecimiento. Cada una de estas recomendaciones se describe con más detalle en la Sección 3 del informe completo de la hoja de ruta y se proporciona evidencia en la Información de apoyo que se encuentra en las Secciones 4 a 12 de la hoja de ruta.

Los siguientes puntos resumen las 34 acciones recomendadas de la hoja de ruta, incluidas 6 acciones prioritarias:

### Objetivos De Visión Y Volumen

1. El MME establecerá objetivos de capacidad y visión eólica marina para 2030 y 2040 informados por la planificación de generación indicativa de la UPME. [Acción prioritaria]
2. El MME se involucrará con la comunidad eólica marina internacional para brindar orientación sobre las prácticas locales y fomentar el interés en el mercado. [Acción prioritaria]

## Planificación, Arrendamiento y Permisos

3. El MinInterior iniciará la participación de las partes interesadas para establecer diálogos abiertos con las comunidades que se verán afectadas por el desarrollo de la industria eólica marina en Colombia.
4. DIMAR liderará la revisión del Plan de Ordenamiento Marino Costero, planificación espacial marina (MSP) liderada por el gobierno, para analizar la compatibilidad del despliegue comercial de energía eólica marina con otros usuarios del mar. [Acción prioritaria]
5. Identificar áreas prioritarias para el despliegue comercial de energía eólica marina en Colombia.
6. La ANLA incluirá las áreas prioritarias identificadas para el despliegue comercial de energía eólica marina en el ejercicio de Regionalización.
7. El MinCultura y el MADS mapearán paisajes protegidos para ayudar a evaluar el impacto visual.
8. La ANLA y el MADS publicarán términos de referencia generales para la elaboración de los estudios de impacto ambiental y social (ESIA) para proyectos eólicos marinos.
9. El MME y la DIMAR desarrollarán un estándar de precalificación antes del inicio de una competencia de Arrendamiento de Fondos Marinos para los desarrolladores interesados.
10. La DIMAR definirá y administrará el proceso de arriendo de fondos marinos, el cual se coordinará con el MME y la UPME y adjudicará los arriendos mediante un proceso competitivo. [Acción prioritaria]
11. La DIMAR reevaluará el reglamento de Concesiones Marítimas para energías renovables no convencionales.
12. El MME liderará el trabajo sobre el marco regulatorio a nivel de Decreto/Ley que abarque el proceso de arrendamiento de energía eólica marina, permisos, conexión a la red y mecanismos de apoyo en Colombia. [Acción prioritaria]
13. Se desarrollará un portal de datos centralizado para agilizar el acceso y disponibilidad del público a la información de dominio público existente en poder de las diferentes entidades gubernamentales.
14. Se fomentarán los esfuerzos conjuntos de colaboración entre el gobierno y la industria para apuntar a la recopilación de datos estratégicos en alta mar, incluidas encuestas de referencia



ambientales, de biodiversidad y sociales, mediciones de fondos marinos y meteorológicos-Oceánicos, incluido el recurso eólico.

### **Conexión a la red y planificación de la transmisión**

15. La UPME formulará planes de expansión de la red alineados con la visión y los objetivos de capacidad anunciados para la energía eólica marina y las áreas prioritarias identificadas para esta tecnología en los MSP.
16. Las solicitudes de conexión a la red se convertirán en una parte integral del proceso de autorización de proyectos eólicos marinos, lo que también ayudará a prevenir la especulación.

### **Infraestructura Portuaria**

17. La DIMAR y el MinTransporte, a través de la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), evaluará las necesidades de desarrollo e inversión de la infraestructura portuaria local.
18. Se evaluará la idoneidad de los astilleros existentes para; actividades de puesta en escena y montaje; la fabricación de topsides y cimientos de subestaciones marinas; y el servicio a buques de suministro y construcción en alta mar.
19. Se desarrollarán políticas para fomentar la creación y evolución de clústeres industriales de energía eólica marina en torno a puertos seleccionados.

### **Desarrollo de la cadena de suministro**

20. El MME mejorará el desarrollo de la cadena de suministro local mediante mecanismos como incentivos fiscales.
21. El MME se comprometerá con agencias de crédito a la exportación (ECA), como Eksport Kredit Fonden de Dinamarca, Export Finance del Reino Unido y Euler-Hermes de Alemania, que pueden ofrecer financiamiento comercial y otros servicios.
22. El MinTrabajo y el MME evaluarán la transferibilidad potencial de las industrias locales a la energía eólica marina.
23. Se crearán oportunidades de trabajo en red para la cadena de suministro local para identificar sinergias y establecer alianzas para ayudar a promover el desarrollo de la cadena de suministro local para la industria eólica marina.
24. Se realizará una evaluación de la preparación de la cadena de suministro y se creará una base de datos de la cadena de suministro para ayudar a

comprender las habilidades de los proveedores actuales y futuros potenciales.

### **Financiamiento**

25. Se iniciarán contactos con financiadores internacionales experimentados para ayudar al gobierno a comprender los requisitos de los prestamistas para la energía eólica marina.
26. Se crearán incentivos para aumentar la participación del sector bancario colombiano en el financiamiento de proyectos eólicos marinos.
27. Se aprovecharán los programas de financiación en condiciones concesionarias y las asociaciones para reducir el costo de la financiación.

### **Extracción e Ingresos**

28. El MME analizará los posibles mecanismos de apoyo a la extracción y los ingresos más adecuados para los proyectos eólicos marinos a fin de brindar visibilidad a largo plazo y certeza sobre los ingresos. [Acción prioritaria]
29. El MME decidirá sobre el proceso de adjudicación de acuerdos de extracción, el cual deberá incluir el tipo de mecanismo de apoyo elegido y en qué momento del proceso de desarrollo de un proyecto se llevará a cabo.
30. El MME evaluará las sinergias entre la energía eólica marina y la generación de hidrógeno verde guiada por la Hoja de Ruta del Hidrógeno de Colombia.
31. la CREG evaluará la viabilidad de otorgar Obligaciones de Energía Firme (OEF) a futuros proyectos eólicos marinos bajo el mecanismo de Cargo por Confiabilidad existente.

### **Salud, Seguridad y Capacitación**

32. El MinTrabajo y el MME desarrollarán lineamientos y capacitación en salud y seguridad (H&S) para promover el inicio seguro de la industria eólica marina.
33. Se revisará la legislación nacional de seguridad y se realizará un análisis de brechas para integrar otros estándares internacionales ampliamente adoptados para la salud y seguridad de la energía eólica marina.
34. El MME facilitará la capacitación en el desarrollo de proyectos de energía eólica marina para el personal de las agencias gubernamentales responsables de desarrollar el marco regulatorio requerido para la energía eólica marina.

