



Experts building the
hydrogen future **now**

Entregable PT5

Hoja de Ruta para Alcanzar la
carbono neutralidad de la industria
marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050,
Hoja de Ruta hacia la carbono
neutralidad

Preparado para:



Impulsado por:



Brussels • Paris • Rotterdam • Washington D.C • Bogotá • Santiago

CONTENIDO

ACRÓNIMOS	4
1. Introducción	6
1.1. Objetivo general de la consultoría	6
1.2. Alcance del Paquete de Trabajo 5 (PT5)	7
2. Tendencias globales y nacionales respecto de la descarbonización de la industria marítima	8
2.1. Estado del arte de tecnologías de propulsión con H ₂ y derivados	8
2.1.1. Metas de descarbonización para el sector marítimo, principales tendencias y desafíos 8	
2.1.2. Identificación del potencial tecnológico del hidrógeno y sus derivados.....	20
2.1.3. Identificación de las tecnologías disponibles y su viabilidad técnica, económica y regulatoria para flotas existentes	38
2.2. Diagnóstico de la Industria Marítima en Territorio Nacional	52
2.3. Capacidades nacionales para la producción y consumo de H ₂ y derivados	64
3. Diagnóstico de brechas y oportunidades de la industria marítima nacional del hidrógeno y sus derivados.....	74
3.1. Sistematización brechas	74
3.2. Análisis PESTEL	77
3.3. Análisis FODA	81
3.4. Consideraciones para el desarrollo de la Hoja de Ruta	84
4. Presentación de la Hoja de Ruta para la carbono neutralidad al 2050 de la industria marítima	88
4.1. Visión y Valores de la Hoja de Ruta	88
4.2. Temporalidades de la Hoja de Ruta y objetivos estratégicos	90
4.3. Plan estratégico y táctico	91
4.4. Mensajes finales y recomendaciones para la Hoja de Ruta.....	94
5. Referencias	97
6. Anexos	106
6.1. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE PETRÓLEOS DIÉSEL PARA USO MARINO. RECUPERADO DEL DECRETO SUPREMO 103 (Ministerio de Energía, 2019).	106
6.2. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE PETRÓLEOS RESIDUALES PARA USO MARINO. RECUPERADO DEL DECRETO SUPREMO 103 (Ministerio de Energía, 2019).	107
6.3. PROYECTOS DE H ₂ Y DERIVADOS EN CHILE.....	108
6.4. SISTEMATIZACIÓN DE BRECHAS IDENTIFICADAS	112
6.5. FICHAS DE PLANES DE ACCIÓN	116
6.6. SISTEMATIZACIÓN TALLER VISIÓN Y OBJETIVOS ESTRATÉGICOS.....	155

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

6.7.	CONCEPTO DE AUTONOMÍA ENERGÉTICA	155
6.8.	INFOGRAFÍA HOJA DE RUTA	155

ACRÓNIMOS

AB	Medida adimensional que expresa el volumen total interno de un buque. Es un indicador de la capacidad volumétrica de una embarcación.
AFIR	<i>Alternative Fuels Infrastructure Regulation</i> , o Regulación de infraestructura para combustibles alternativos
AGCID	Agencia Chilena de Cooperación Internacional para el Desarrollo
ALK	Alcalino
BEM	Boletín Estadístico Marítimo
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
BMWK	Acrónimo alemán para Ministerio Federal de Economía y Protección del Clima
CAPEX	<i>Capital Expenditures</i> , o Gastos de Capital
CCAMN	Comité Coordinador de la Administración Marítima Nacional
CCS	<i>Carbon Capture and Storage</i> , o Captura y almacenamiento de carbono
CH₄	Metano
CII	Indicador de Intensidad de Carbono
CO	Monóxido de carbono
CO₂	Dióxido de carbono
COD	Comienzo de operación
CORFO	Corporación de Fomento de la Producción
CRL	<i>Commercial Readiness Level</i> , o Nivel de madurez comercial
DCS	Sistema de Recolección de Datos
DIA	Declaración de Impacto Ambiental
DIRECTEMAR	Dirección General del Territorio Marítimo y de Marina Mercante
DMA	Diésel Marino
DME	Dimetil Éter
DOE	<i>Department of Energy of the United States</i> , o Departamento de Energía de Estados Unidos
DS	Decreto Supremo
ECA	Áreas de Control de Emisiones
ECLP	Estrategia Climática de Largo Plazo
EE.UU	Estados Unidos
EEDI	Índice de Eficiencia Energética para Buques Nuevos
EEXI	Índice de Eficiencia Energética para Buques Existentes
FEED	<i>Front End Engineering Design</i>
FODA	Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas
GEI	Gases de Efecto Invernadero
GJ	Giga Julio
GLP	Gas Licuado del Petróleo
GNL	Gas Natural Licuado
H₂	Hidrógeno
H₂O	Agua
H₂V	Hidrógeno Verde
HFO	<i>Heavy Fuel Oil</i>

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

HP	<i>Horsepower</i> , o Caballos de Fuerza
I+D	Investigación y Desarrollo
ICE	<i>Internal Combustion Engine</i> , o Motores de combustión interna
IEA	<i>International Energy Agency</i> , o Agencia Internacional de Energía
IFO	<i>Intermediate Fuel Oil</i>
INGEI	Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero
IRENA	Agencia Internacional de Energía Renovable
kt	Kilotonelada
kWh	kilovatio-hora, medida de energía
kWp	kilovatio-pico, medida de potencia
LCA	<i>Lifecycle Assessment</i> , o Análisis de Ciclo de Vida
LCOH	<i>Levelized Cost Of Hydrogen</i> , o Costo Nivelado del Hidrógeno
LH₂	Hidrógeno líquido
m³	Metro cúbico
MARPOL	Convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques
MEPC	<i>Marine Environment Protection Committee</i>
MGO	<i>Marine Gas Oil</i>
MOP	Ministerio de Obras Públicas
MTT	Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones
N₂O	Óxido nitroso
NDC	Contribución Determinada a Nivel Nacional
OMI	Organización Marítima Internacional
PELP	Política Energética de Largo Plazo
PEM	Membrana de intercambio de protones
PEN	Política Energética Nacional
PSM	Plan Sectorial de Mitigación
PT	Paquete de trabajo
RED	<i>Renewable Energy Directive</i> , o Directiva de Energía Renovable
RWGS	Reacción inversa de desplazamiento del gas de agua
SAF	<i>Sustainable Aviation Fuel</i> , o Combustible de Aviación Sostenible
SEA	Servicio de Evaluación Ambiental
SEC	Superintendencia de Electricidad y Combustibles
SEIA	Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental
SSI	<i>Sustainable Shipping Initiative</i>
t	Tonelada
TDW	Medida utilizada en la industria marítima para indicar la capacidad de carga máxima de una embarcación, expresada en toneladas métricas, incluyendo carga, combustible, tripulación y provisiones, agua de lastre, etc.
TRL	<i>Technological Readiness Level</i> , o Nivel de madurez tecnológica
UE	Unión Europea
UK	<i>United Kingdom</i> , o Reino Unido
USD	Dólar Estadounidense
VLSFO	<i>Very Low Sulphur Fuel Oil</i>

1. Introducción

En el marco del objetivo estratégico del Plan de Desarrollo Productivo Sostenible - 2023 (Gobierno de Chile, 2023) para la “Descarbonización Justa” y la línea de trabajo N°2 “Descarbonización Local”, a cargo del Ministerio de Energía, se encomendó a la Armada la línea estratégica **“descarbonización marítima y naval”**. En este contexto, se contempla la concreción del **proyecto “Centro de Desarrollo Tecnológico y Coordinación Interinstitucional de Hidrógeno Verde para la Industria Marítima y Naval”**, en un período de 4 años y con 3 etapas: i) diagnóstico, ii) generación de capacidades, iii) pilotaje; orientado a **habilitar y fortalecer las condiciones para la generación de un modelo de desarrollo energético marítimo vinculado al hidrógeno desde la Armada de Chile**.

Esta iniciativa complementa y refuerza el **interés por la Armada de asegurar el suministro energético de su operativa**, en base a recursos renovables, lo que se justifica por el valor estratégico para el desarrollo productivo del país, para la defensa y la Armada, generando capacidades internas para la coordinación y liderazgo de la industria del hidrógeno renovables en sectores difíciles de descarbonizar, como lo es la industria marítima.

Adicionalmente, esta iniciativa tiene relación también con la estrategia establecida por la **Organización Marítima Internacional (IMO)**, por su acrónimo en inglés), sobre gases de efecto invernadero (GEI), procedentes del tráfico marítimo internacional, que incluye una mayor ambición común de alcanzar emisiones netas nulas al 2050, así como un compromiso de garantizar la adopción de combustibles alternativos con emisiones nulas o casi nulas de GEI al 2030, y puntos de control indicativos al 2030 y 2040.

Este estudio es desarrollado con aportes del Programa de Desarrollo Productivo Sostenible, coordinado por el Comité de Ministros(as) para el Desarrollo Productivo Sostenible.

1.1. Objetivo general de la consultoría

En referencia a la **primera etapa de “diagnóstico”** del proyecto de la Armada, surge la necesidad de levantar información técnica sobre los combustibles carbono neutrales para el transporte marítimo, objeto de contar con los antecedentes que le permitan asumir el **rol de articulador de la industria**.

OBJETIVO GENERAL DEL ESTUDIO

Proponer la Hoja de Ruta para alcanzar la carbono neutralidad de la industria marítima el año 2050, fundamentando en el análisis de las tendencias globales y nacionales de tecnologías de propulsión marítima basadas en el hidrógeno renovable y sus derivados.

Para lograr el cumplimiento del objetivo general, se desarrolla la presente consultoría **estructurada en cinco paquetes de trabajo** acorde a los Términos de Referencia. La Figura 1 muestra los paquetes de trabajo PT1, PT2 y PT3 que se desarrollan en una **primera etapa de ejecución de la consultoría** relacionada al diagnóstico sectorial, tendencias internacionales y caracterización nacional del sector marítimo. Luego, se desarrolla una **segunda etapa de ejecución de consultoría**, la cual sistematiza las brechas obtenidas (PT4) como resultados de los hallazgos, conclusiones y recomendaciones del PT1, PT2 y PT3; y las prioriza para finalmente dar paso a la consolidación de la **“Transición Energética marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la Carbono Neutralidad” (PT5)**.

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

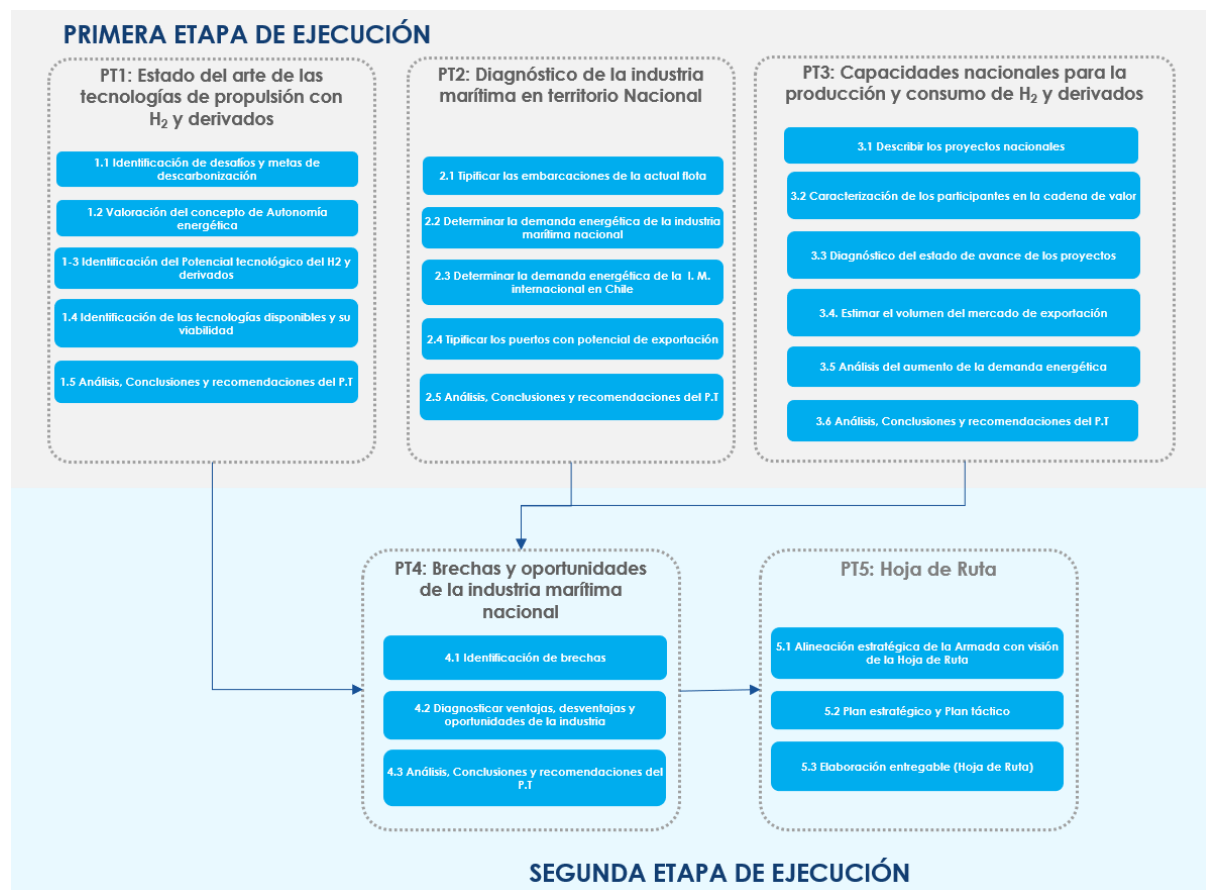


Figura 1: Diagrama general de ejecución de la consultoría. Fuente: Inicio.

1.2. Alcance del Paquete de Trabajo 5 (PT5)

El presente documento corresponde al avance del desarrollo del **Paquete de Trabajo 5 (PT5)** denominado **“Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050”** (ver Figura 1). El **objetivo del PT5** es presentar una hoja de ruta que destaque los ejes y acciones estratégicas que permitan dar foco a la Armada en su próximo rol articulador de la industria para lograr la carbono neutralidad.

Este documento sintetiza el trabajo realizado en los paquetes de trabajo 1 al 4, abarcando un análisis integral del sector marítimo y energético nacional. Incluye un estado del arte de las tecnologías de propulsión basadas en hidrógeno (H₂) y sus derivados, un diagnóstico detallado de la industria marítima en territorio nacional, y una evaluación de las capacidades del país para la producción y el consumo de H₂ y sus derivados. Asimismo, se identificaron brechas y oportunidades clave en la industria marítima nacional, lo que permitió desarrollar una hoja de ruta que integra criterios e información relevante tanto del sector marítimo como del energético, ofreciendo una propuesta integral para impulsar su transición hacia tecnologías sostenibles.

A su misma vez, será un insumo técnico clave para la creación de una hoja de ruta que integre al sector marítimo chileno en torno a metas vinculantes de descarbonización en los próximos años. Aquí, se abordan y dimensionan todas las aristas necesarias para su desarrollo e implementación, asegurando un enfoque integral y coordinado que impulse la transición hacia un sector marítimo sostenible en Chile.

2. Tendencias globales y nacionales respecto de la descarbonización de la industria marítima

La descarbonización de la industria marítima es un desafío global que impacta tanto a las flotas nacionales como a las internacionales que operan en aguas chilenas. Este capítulo analiza cómo se proyecta que las regulaciones internacionales y las iniciativas tecnológicas influyan en el sector marítimo, con un enfoque particular en la conversión naval de la flota nacional.

En primer lugar, se analiza el estado del arte de las tecnologías de propulsión con hidrógeno y derivados que se encuentran en desarrollo y tomarán un rol protagonista en el futuro, enmarcados en las regulaciones nacionales e internacionales que permiten su utilización y se alinean con los objetivos de descarbonización.

En segundo lugar, se realiza un diagnóstico de la industria marítima en territorio nacional, en el cual se analizan las embarcaciones registradas en Chile para su eventual adaptación a combustibles alternativos, seguido de un análisis de puertos que podrían adquirir un papel importante como centros de bunkering y hubs de exportación de dichos combustibles.

Finalmente, se analizan las capacidades nacionales para la producción y consumo de hidrógeno y sus derivados, identificando y diagnosticando los proyectos potenciales que podrían formar parte del suministro de combustibles marítimos alternativos en cinco regiones del país y para las temporalidades planteadas en la Hoja de Ruta (2030, 2040, 2050).

2.1. Estado del arte de tecnologías de propulsión con H₂ y derivados

Esta subsección se enmarca en presentar el **estado del arte de las tecnologías de propulsión con H₂ y derivados**, por medio de un análisis integral del estado del arte asociado a la transición energética y descarbonización del sector marítimo.

Para lograrlo, en primer lugar se describen las metas, políticas y regulaciones que apuntan a la descarbonización del sector marítimo, tanto a nivel nacional como internacional.

Posteriormente, se analizó el potencial tecnológico de cinco vectores energéticos y su aplicabilidad en sistemas de propulsión marítimas: hidrógeno (H₂), metanol (MeOH), amoníaco (NH₃), dimetil éter (DME) y diésel sintético (e-Diesel).

Finalmente, se realizó un análisis de viabilidad técnica, económica y regulatoria para el contexto marítimo nacional para complementar el análisis del estado del arte.

2.1.1. Metas de descarbonización para el sector marítimo, principales tendencias y desafíos

En la presente subsección se mencionan las políticas, regulaciones y metas establecidas tanto a nivel global como nacional, enfocadas en descarbonizar el sector marítimo:

- **Entendimiento de políticas y regulaciones a nivel global**

Diversas iniciativas orientadas a la descarbonización de la industria marítima han sido propuestas y/o impulsadas por distintas entidades. Estas abarcan enfoques que van desde los operadores de buques hasta los mercados relacionados con sus operaciones. A continuación, se presenta un resumen de las principales iniciativas:

Políticas mandatorias/regulaciones

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

Organización Marítima Internacional (IMO)

La Organización Marítima Internacional (IMO) ha desempeñado un papel clave en la regulación de emisiones contaminantes del sector marítimo desde 1997, mediante enmiendas al convenio MARPOL. Estas medidas incluyen límites a emisiones de NOx y SOx, promoción de eficiencia energética y estrategias para reducir gases de efecto invernadero (IMO, 2018).

En este contexto, durante la sesión MEPC¹ 80, llevada a cabo el 2023, la IMO adoptó una estrategia revisada que evalúa medidas basadas en el mercado, como precios al carbono, con implementación programada para 2024. Este enfoque combina aspectos técnicos (reducción de intensidad de GEI en combustibles) y económicos (costos por emisiones). Asimismo, fomenta el uso seguro de combustibles alternativos, como amoníaco y metanol, mediante el código IGF y directrices en desarrollo (Figura 2) (IMO, 2023).

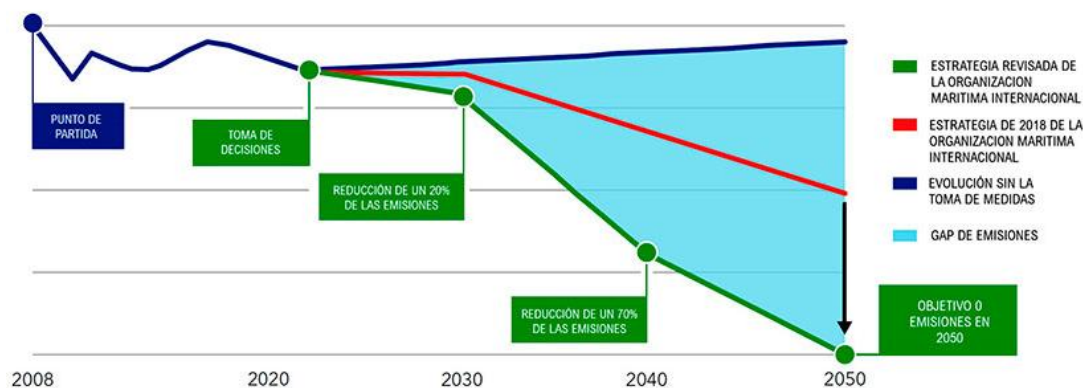


Figura 2: Metas de descarbonización Organización Marítima Internacional (Porcentajes de reducción de emisiones de GEI respecto a niveles del 2008).

Además, para asegurar que el uso de combustibles alternativos, tales como amoníaco y metanol, sea seguro, la IMO ha emitido directrices provisionales, incluyendo el Código Internacional de Seguridad para Buques que Usan Gases u Otros Combustibles de Bajo Punto de Inflamación (código IGF). Este código se encuentra en constante desarrollo y se espera que influya en la elaboración de regulaciones específicas para estos combustibles en el futuro (MMMCZCS, 2022a).

Para complementar estas iniciativas, la IMO también implementó el Sistema de Recolección de Datos (DCS) en 2019 para embarcaciones desde 5.000 GT para monitorear las emisiones de CO₂, así como **indicadores como el CII y EEXI** para medir la eficiencia energética de buques. Para el caso de las embarcaciones nuevas se creó el **Índice de Eficiencia Energética (EEDI)**², con la finalidad de promover el uso de equipos y maquinaria de mayor eficiencia energética (menos contaminantes).

De cara al futuro, la IMO planea revisar en 2025 los estándares de eficiencia energética y desarrollar directrices para la evaluación del ciclo de vida de combustibles marinos, reflejando su compromiso con la sostenibilidad y la reducción del impacto ambiental del transporte marítimo.

¹ MEPC: Marine Environment Protection Committee

² Detalles de los indicadores EEDI (Índice de eficiencia energética de proyecto), EEXI (eficiencia energética aplicable a los buques existentes), y CII (Indicador de Intensidad de Carbono), y explicación de los sistemas de evaluación disponibles en: <http://bit.ly/3BTkR3K>

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

Iniciativas de la Unión Europea

Fit for 55 package, es un paquete de medidas que tiene como objetivo que la Unión Europea (UE) reduzca sus emisiones de gases de efecto invernadero en al menos un 55% de aquí a 2030 en comparación con los niveles de 1990, y alcanzar la neutralidad climática en 2050.

De los 12 instrumentos del paquete *Fit for 55*, los siguientes son los relevantes para la industria marítima:

Tabla 1: Instrumentos relevantes para el transporte del Fit for 55 package.

Instrumentos del Fit for 55 relevantes para el sector marítimo	Objetivo
Revisión del Régimen de Comercio de Emisiones (EU Emissions Trading System - EU ETS)	• Impuesto al carbono / Esquema de comercio de emisiones • Promoción de la eficiencia energética y la transición energética
Regulación FuelEU Maritime	• Promover el uso de combustibles renovables y de bajo carbono en el transporte marítimo.
Regulación de infraestructura para combustibles alternativos (Alternative fuels infrastructure regulation - AFIR)	• Exigir a los puertos de la UE desarrollar sistemas de suministro eléctrico en puerto • Infraestructura de abastecimiento para combustibles alternativos
Renewable energy directive (RED II)	• Objetivos de energías renovables para el sector transporte • Criterios de sostenibilidad y marco de certificación para combustibles renovables.

• Revisión del EU Emissions Trading System (EU ETS)

El Régimen de Comercio de Emisiones de la UE (EU ETS) regula las emisiones de CO₂ de barcos en viajes dentro y hacia/desde la UE. Los viajes internos deben pagar la totalidad de sus emisiones, mientras que los viajes internacionales deben pagar el 50%. Todas las emisiones provenientes de estadías en puertos de la UE están incluidas, pero los barcos de menos de 5.000 GT estarán excluidos del esquema.

Al mismo tiempo, la UE ajustará el ETS según las medidas globales de la IMO y aplicará el principio "quien contamina, paga", responsabilizando a navieras, propietarios u operadores de presentar permisos, con posibilidad de transferir costos a los fletadores mediante cláusulas contractuales.

El sistema se implementará gradualmente, donde las navieras deberán registrar emisiones desde 2023 y cumplir con cuotas crecientes hasta 2025, cuando el esquema será plenamente operativo.

• FuelEU Maritime

La iniciativa FuelEU Maritime, que entra en vigor en 2025, exigirá a los barcos de más de 5.000 GT reducir progresivamente la intensidad de gases de efecto invernadero (GEI) mediante el uso de combustibles renovables y de bajo carbono, tal como se muestra en la Figura 3. A partir de 2030, los barcos en puertos de la UE deberán conectarse al suministro eléctrico en tierra.

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

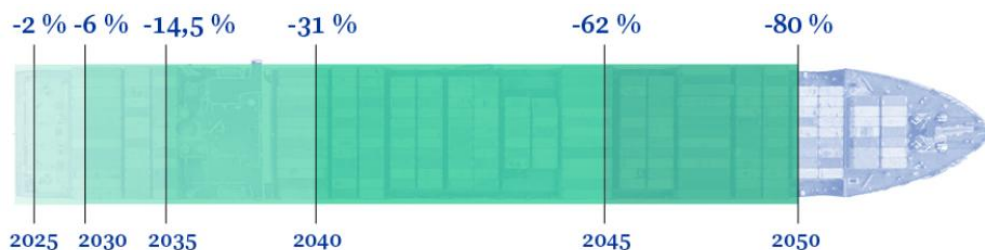


Figura 3: Medida anual de reducción de emisiones de carbono en comparación con la medida de 2020 para buques de más de 5.000 GT, exceptuando buques pesqueros. Recuperado del sitio web del Consejo de la Unión Europea (Consejo de la Unión Europea, 2023).

La regulación evalúa la intensidad de GEI de los combustibles a través de un análisis de ciclo de vida, aplicándose a la energía usada en puertos y viajes dentro y hacia/desde la UE, con un alcance similar al EU ETS (European Commission, 2024). Además, permite el agrupamiento de cumplimiento (pooling), permitiendo a buques colaborar para alcanzar objetivos combinados de intensidad de GEI.

El incumplimiento de esta regulación conlleva penalizaciones financieras, incentivando la adopción de tecnologías limpias y combustibles alternativos, incluyendo un sistema de monitoreo, reporte y verificación (EU MRV) para rastrear emisiones de CO₂, apoyado por guías para certificar combustibles basadas en la Renewable Energy Directive³ y la Gas Directive.

En paralelo, las Áreas de Control de Emisiones (ECA) en Europa han establecido límites más estrictos para contaminantes como SO_x, NO_x y PM, promoviendo el uso de combustibles de transición como el gas natural licuado (GNL).

- **Regulación de infraestructura para combustibles alternativos (AFIR)**

Tiene como objetivo aumentar la disponibilidad de combustibles alternativos y fuentes de energía eléctrica más limpias en los puertos de la UE. Esta regulación, que técnicamente ha estado en vigor desde 2014, se convierte en vinculante con la propuesta del paquete Fit For 55 y está diseñada para fomentar una red de infraestructura que permita la recarga y el reabastecimiento de combustibles alternativos a los barcos, facilitando la transición desde los combustibles fósiles.

La infraestructura en Europa ha sido limitada por temores a inversiones no rentables, y la AFIR ofrece certeza legal para superar este problema, generando confianza en los consumidores.

Las propuestas de revisión para el sector marítimo exigen que los estados miembros incrementen la disponibilidad de gas natural licuado (GNL) e hidrógeno, además de asegurar el suministro de energía en tierra para los barcos en los puertos, apoyando así la transición hacia combustibles alternativos como lo requiere la regulación FuelEU Maritime (NAPA, 2022).

- **Renewable energy directive (RED II)**

La directiva RED II busca aumentar el uso de energía renovable, mejorar la integración del sistema energético y apoyar los objetivos climáticos relacionados con el calentamiento global y la biodiversidad. En el marco del paquete Fit For 55, RED II establece una meta del 40% de energía renovable en la UE para 2030 y una reducción del 13% en la intensidad de gases de efecto invernadero en el sector del transporte, incluyendo objetivos para biocombustibles

³ Bio-combustibles, RFNBO (Renewable Fuels of Non-Biological Origin o Combustibles Renovables de Origen No-Biológico), y combustibles de carbono reciclados. Más información en: https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive-targets-and-rules/renewable-energy-directive_en

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

avanzados y combustibles renovables no biológicos.

Aunque las compañías navieras no están directamente afectadas, RED II define metas que se implementan mediante medidas como el comercio de emisiones y límites a la intensidad de GEI en combustibles.

Tanto la UE como la IMO comparten líneas temporales para estas iniciativas, con regulaciones programadas para antes de 2030, tal como se muestra en la Figura 5.

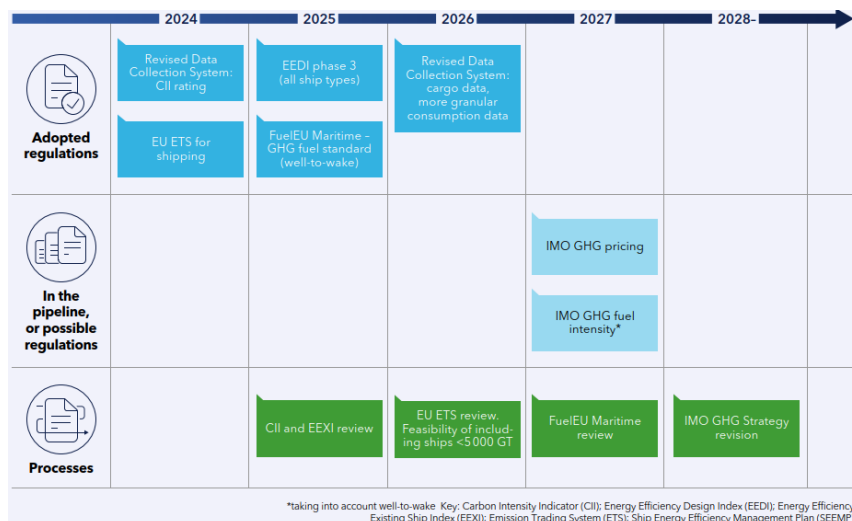


Figura 4: Temporalidad del marco regulatorio para emisiones de GEI al 2030. Recuperado del reporte Maritime Forecast 2050 (DNV, 2024a).

Iniciativas y políticas no mandatorias

Varios países están desarrollando iniciativas propias y regulaciones para descarbonizar sus operaciones marítimas que, en algunos casos, establecen metas para la descarbonización del transporte marítimo y que actualmente no son mandatorias, pero mediante las cuales demuestran su compromiso con el cambio climático:

Dinamarca planea alcanzar la neutralidad de carbono para 2050 sin compensaciones y que al menos el 5% de su flota utilice combustibles de emisión neta cero para 2030, como hidrógeno, amoníaco, metanol verdes y biocombustibles avanzados. Para ello, a partir de 2030, todos los nuevos buques deberán estar preparados para operar con combustibles cero emisiones (Danish Shipping, 2022).

Noruega busca reducir en un 50% las emisiones de embarcaciones domésticas y pesqueras para 2030 mediante electrificación híbrida, combustibles como GNL, hidrógeno y amoníaco. Asimismo, se discuten medidas regulatorias para las emisiones portuarias, prohibiendo ciertos combustibles y ofreciendo incentivos a través de fondos como Enova y el NOx Fund (Gobierno Noruega, 2019).

En el **Reino Unido**, Innovate UK y el Departamento de Transporte han respaldado proyectos como el "**Clean Maritime Demonstrator**", el cual se centra en estudiar la viabilidad del **e-Diesel** para reducir las emisiones en el transporte marítimo del país, con un potencial de replicación a nivel global (Oxford Institute for Energy Studies, 2024).

Alemania está realizando inversiones significativas en la construcción de terminales de importación de GNL, con el apoyo técnico del Fraunhofer Institute for Systems and Innovative Research. Aunque estas soluciones son planteadas como respuestas a corto plazo para el sector marítimo, se prevé su futura conversión para manejar **hidrógeno líquido (LH₂)** y

amoníaco (NH₃) como parte de la transición hacia un sistema energético climáticamente neutro (Fraunhofer, 2022).

Países Bajos, por su parte, con el puerto de Róterdam como uno de los más importantes del mundo, alinea su estrategia climática con las normas de la IMO y la regulación FuelEU Maritime, incluyendo el análisis de ciclo de vida de combustibles (LCA) (Gobierno de Países Bajos, 2022). Aunque no enfatizan en modificaciones portuarias específicas, se espera que estas estén preparadas para manejar combustibles alternativos. Su Estrategia Marítima Holandesa de 2015 busca consolidar su liderazgo mundial mediante la cooperación entre empresas, instituciones educativas y autoridades, con enfoque en innovación tecnológica, capital humano y sostenibilidad.

Singapur destaca como un importante hub de bunkering a nivel mundial, impulsando medidas y probando pilotos de combustibles alternativos, entre los que destaca el amoníaco en una embarcación de Fortescue. Su plan de descarbonización incluye objetivos como disminuir las emisiones en terminales portuarias en un 60% para 2030 y alcanzar la neutralidad en 2050, así como modernizar las embarcaciones nacionales con biocombustibles, GNL y propulsión eléctrica, adoptando combustibles neutros en carbono a largo plazo. Además, el país trabaja en la creación de infraestructura para futuros combustibles marinos, alineándose con regulaciones internacionales a través de su registro de buques y colaboraciones activas con la IMO y otras entidades (MPA, 2022).

La innovación es central en estos esfuerzos, con investigaciones sobre el ciclo de vida del hidrógeno lideradas por el Singapore Maritime Institute y proyectos internacionales como los del Centro Mærsk Mc-Kinney Møller. Este último, en colaboración con empresas como Wärtsilä, promueve el diseño de embarcaciones propulsadas por amoníaco y la creación de corredores verdes que establecen rutas marítimas sostenibles. Estas iniciativas reflejan el compromiso de Singapur con un transporte marítimo sin emisiones, basado en tecnologías limpias y prácticas sostenibles respaldadas por financiamiento verde y sistemas avanzados de contabilidad de carbono.

Asimismo, **Japón**, uno de los actores principales en el sector marítimo y de construcción naval, lanzó en 2018 el proyecto "Shipping Zero Emissions", para impulsar tecnologías y combustibles libres de emisiones, como GNL, amoníaco e hidrógeno verde. Esta iniciativa tiene como objetivo eliminar los combustibles fósiles para 2035, mejorar la eficiencia energética de los buques en un 90% respecto a 2008 y desarrollar tecnologías como la captura de carbono, cumpliendo con estándares internacionales de descarbonización (JSTRA, 2020).

Respecto a **China**, considerando que es uno de los países con más emisiones de GEI a nivel mundial, se espera que alcance su máximo de emisiones para el año 2030, por lo que sus esfuerzos de descarbonización tienen objetivos distintos respecto a otros países en cuanto a temporalidad, apuntando a la descarbonización completa de cara a 2060. Aun así, los objetivos y sistemas se alinean con los impuestos internacionalmente, utilizando sistemas de medición de emisiones similares a los de la IMO y sistemas de certificación para embarcaciones con un rendimiento energético avanzado, por ejemplo (Mao & Meng, 2022).

El Departamento de Energía (DOE) de **EE.UU.** también está promoviendo la descarbonización marítima por medio de incentivar el desarrollo y uso de combustibles bajos en emisiones, soluciones híbridas y eléctricas, optimizando los sistemas de propulsión para reducir pérdidas, de forma que se pueda aumentar la eficiencia energética, y realizando tratamiento de gases de escape y utilizando tecnologías de captura de carbono. A diferencia de los otros países, EE.UU. no demuestra un incentivo al desarrollo y utilización de combustibles libres de emisiones, como el amoníaco y metanol verdes, pero promueve la adopción de otras tecnologías como las baterías eléctricas (Office of Energy Efficiency & Renewable Energy, s.f.).

Paralelamente, el Grupo **Just Transition Task Force** trabaja en estrategias para garantizar una

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

transición justa y equitativa hacia combustibles sostenibles, protegiendo empleos y capacitando a la fuerza laboral. También promueve la inclusión de comunidades costeras e indígenas en la gobernanza portuaria (MMMCZCS, 2023).

Por otra parte, la **Sustainable Shipping Initiative (SSI)**⁴, destaca la necesidad de un sistema global de gobernanza oceánica y propone reducir emisiones de GEI progresivamente hasta eliminarlas para los 2040s, priorizando combustibles bajos y luego libres de emisiones (SSI, 2020).

La Coalición "**Getting to Zero**" busca operar buques sin emisiones para 2030, promoviendo políticas de descarbonización existentes que faciliten la adopción de tecnologías basadas en combustibles renovables y su implementación a gran escala (Wärtsilä, 2024).

Por su parte, **BIMCO** prepara términos estandarizados para contratos comerciales alineados con las regulaciones de la UE sobre emisiones, facilitando la implementación de normativas y reduciendo conflictos entre propietarios y fletadores (DNV, 2024).

• **Entendimiento de políticas y regulaciones a nivel nacional**

Chile ha desarrollado diversas políticas de descarbonización en los últimos años como parte de su compromiso con el cambio climático y la meta a nivel nacional de ser un país carbono neutral para el año 2050. Las políticas, listadas a continuación, establecen metas de descarbonización, tanto generales como particulares para distintos sectores productivos a nivel nacional:

- Política Energética Nacional (PEN) – Transición Energética de Chile del Ministerio de Energía, actualizada el año 2022.
- Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC) del Gobierno de Chile, actualizada el año 2020.
- Estrategia Climática a Largo Plazo del Ministerio del Medio Ambiente, publicada en 2021.

Para reforzar el compromiso con el cambio climático, el año 2022 se publicó la ley N° 21.455, Ley Marco de Cambio Climático. Esta tiene como principal objetivo que Chile logre la carbono neutralidad al año 2050 mediante el establecimiento de un marco jurídico para hacer frente a los desafíos que supone el cambio climático y así dar cumplimiento a sus compromisos internacionales asumidos en el Acuerdo de París. Para esto establece una meta nacional que propone alcanzar la carbono neutralidad a más tardar el 2050, y adaptarse al cambio climático, reduciendo la vulnerabilidad y aumentando la resiliencia a sus efectos adversos. Esta ley tiene implicancias sobre dos de las políticas mencionadas anteriormente:

1. Reconoce y establece como obligatoria la Estrategia Climática a Largo Plazo, comprometiéndose a elaborar, implementar y dar seguimiento a esta.
2. Reconoce al NDC como Instrumento de Gestión del Cambio Climático, regulando así su proceso de elaboración.

Por otro lado, en Chile se desarrolló la **Estrategia General de la Administración Marítima de Chile 2021 – 2025** (DIRECTEMAR, 2021), la cual tiene como propósito articular los esfuerzos y constituirse en una herramienta de planificación y gestión para asegurar que el Estado de Chile cumpla sus obligaciones y responsabilidades internacionales como Estado Ribereño, Estado de Abanderamiento y Estado Rector del Puerto, contribuyendo de esta forma a la

⁴ SSI: entidad que agrupa astilleros de construcción, reparación y reciclado de buques (Priya Blue), armadores, operadores y fletadores (Maersk, Bunge, IMC, Klaveness Combination Carriers, Rio Tinto, South 32, y Wilhelmsen Ship Management), ONGs (Forum For the Future, IHRB, The Mission to Seafarers, WWF), sociedades de clasificación (Lloyd's Register), y proveedores de equipos y servicios marinos (Jotun y Rightship) (<https://www.sustainableshipping.org/>).

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

seguridad marítima, la conservación de la biodiversidad, la preservación del medio ambiente marino y la facilitación del comercio a través del mar. Dentro de este plan se establece como Objetivo Estratégico N°2 el “Proteger la sustentabilidad de los recursos y preservar el medio ambiente marino”, donde se especifica como desafío y Plan de Acción el “Asegurar la aplicación de las medidas para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero provenientes de las naves, con miras a reducir el aporte de toneladas de CO₂ que la industria marítima hace a la atmósfera”, lo cual ratifica el compromiso del país con el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contraídas luego de ratificar los instrumentos de la Organización Marítima Internacional (IMO).

Las políticas mencionadas anteriormente establecen metas para distintos sectores productivos. Parte de ellas son transversales y podrían impactar al sector del transporte marítimo y otras tienen implicancia directa en el mismo. El detalle se encuentra en Tabla 2:

Tabla 2: Metas de descarbonización del sector del transporte marítimo establecidas en políticas nacionales. Elaboración propia en base a la Política Energética Nacional (Ministerio de Energía, Política Energética Nacional - Transición Energética de Chile, 2022), Estrategia Climática de Largo Plazo (Ministerio del Medio Ambiente, Estrategia Climática a Largo Plazo, 2021), Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC) de Chile (Gobierno de Chile, 2020) y la Ley Marco de Cambio Climático del Ministerio del Medio Ambiente (2022).

Política	Descripción	Sector	Metas		
			2030	2040	2050
Estrategia Climática a Largo Plazo	La estrategia define lineamientos generales para distintos sectores productivos del país. Establece medidas transversales que podrían impactar al sector del transporte marítimo, pero además contempla acciones específicas y establece metas directas para contribuir con la reducción de emisiones del transporte marítimo en Chile.	Sector Energía	Alcanzar un 15% de combustibles cero emisiones (tales como hidrógeno verde y sus derivados, y combustibles sintéticos) en los usos energéticos finales no eléctricos.	Reducción de un 20% de las emisiones directas de GEI provenientes del uso de combustibles en el sector transporte (incluido el transporte terrestre, marítimo y aéreo) con respecto al 2018.	Reducción de un 40% de las emisiones directas de GEI provenientes del uso de combustibles en el sector transporte (incluido el transporte terrestre, marítimo y aéreo) con respecto al 2018. Alcanzar al menos un 70% de combustibles cero emisiones (tales como hidrógeno verde y sus derivados, y combustibles sintéticos) en los usos energéticos finales no eléctricos.

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

Política	Descripción	Sector	Metas		
			2030	2040	2050
		Sector Transporte	Reducir las tasas de emisiones en Transporte marítimo de manera progresiva, partiendo de un 5% el año 2023 hasta un 11% al año 2026, reducciones estimadas sobre línea base año 2008.		
Política Energética Nacional - Transición Energética de Chile	Política que busca habilitar la transición energética en los distintos sectores del país, incluido el sector del transporte marítimo.	Energía sin emisiones		Reducción de un 20% de las emisiones directas de GEI provenientes del uso de combustibles en el sector transporte (incluido el transporte terrestre, marítimo y aéreo) con respecto al 2018.	Reducción de un 40% de las emisiones directas de GEI provenientes del uso de combustibles en el sector transporte (incluido el transporte terrestre, marítimo y aéreo) con respecto al 2018.
Contribución Determinada a Nivel Nacional	Política desarrollada en el marco del Acuerdo de París. No establece metas específicas para el transporte marítimo.				
Ley Marco de Cambio Climático	Marco jurídico que busca impulsar la adopción de medidas para enfrentar el Cambio Climático en Chile, para el cumplimiento de los acuerdos internacionales suscritos (Acuerdo de París). - Reconoce y establece como obligatoria la Estrategia Climática a Largo Plazo, comprometiéndose a elaborar, implementar y dar seguimiento a esta. - Reconoce al NDC como Instrumento de Gestión del Cambio Climático, regulando así su proceso de elaboración.				

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

En términos generales, la reducción de emisiones en el transporte marítimo se puede lograr implementando medidas a lo largo de toda la cadena de valor, como el uso de energía renovable y tecnologías más eficientes en consumo energético. Sin embargo, las políticas de descarbonización de Chile se enfocan principalmente en la reducción de emisiones derivadas del uso de combustibles. En este contexto, es esencial estudiar el uso de combustibles alternativos, como hidrógeno y sus derivados (amoníaco, metanol, dimetil éter y diésel sintético), y regular su utilización como energético, ya que aunque estos compuestos son conocidos y se usan a nivel industrial, su uso como combustible no está completamente regulado en Chile.

En este sentido, en el año 2021, mediante la Ley de Eficiencia Energética, se modificó el Decreto con Fuerza de Ley N°1 y la Ley 2.224 del Ministerio de Minería, reconociendo al hidrógeno y sus derivados como fuentes energéticas. Este cambio permitió al Ministerio de Energía lanzar en 2020 la Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde, con el objetivo de desarrollar la industria del hidrógeno renovable en Chile, aprovechando sus condiciones naturales y recursos renovables.

Posteriormente, en 2024 el Ministerio de Energía lanzó el Plan de Acción del Hidrógeno Verde 2023 – 2030, que representa la materialización de los objetivos previamente establecidos en la Estrategia de Hidrógeno Verde, con el objetivo de desarrollar pasos a seguir concretos y definir responsabilidades para avanzar en el hidrógeno verde sin retrasos ni impedimentos.

Dentro de este Plan se establecieron tres acciones relacionadas con el análisis de alternativas de combustibles que pueden ser aplicados en el sector marítimo (Ministerio de Energía, 2024b):

- **Acción 52: Analizar alternativas para avanzar en la producción de combustibles renovable/sintéticos de ENAP**
Su objetivo es diversificar oferta de combustibles y aportar en las metas de carbono neutralidad que tiene Chile hacia el año 2050, desarrollando estudios técnicos en sus refinerías para comenzar a producir combustibles sintéticos y combustibles renovables.
- **Acción 72: Impulso del desarrollo tecnológico especializado a través de Centros de Desarrollo Tecnológico de Hidrógeno Verde**
Fortalecer la capacidad de desarrollar y gestionar la innovación tecnológica de hidrógeno verde, orientada a la generación de información técnica y económica local, a la transferencia de conocimiento y tecnología a niveles interinstitucionales y entre ecosistema nacional e internacional, en materias de hidrógeno verde y sus derivados; a través de la implementación de dos centros de desarrollo tecnológico, siendo uno de ellos el Centro de Desarrollo Tecnológico y Coordinación Interinstitucional de Hidrógeno Verde para la Industria Marítima y Naval, llevado a cabo por la Armada de Chile para el desarrollo tecnológico de la Industria Naval y Marítima.
- **Acción 81: Implementar corredores marítimos verdes**
El objetivo principal de esta acción es impulsar rutas marítimas que operen con combustibles bajos en emisiones, exclusivamente. El amoníaco se considera como uno de estos posibles combustibles alternativos.

Además, el Plan contempla una línea de acción de habilitación regulatoria para la industria del hidrógeno renovable, incluyendo el desarrollo e implementación del plan de trabajo de regulaciones habilitantes, el que fue lanzado por el Ministerio de Energía a mediados de 2024. (Ministerio de Energía, 2024).

En paralelo, los gobiernos regionales, como el del Biobío y Magallanes y la Antártica Chilena, han desarrollado sus Hojas de Ruta de hidrógeno verde que facilitan el despliegue de la industria de este nuevo energético y sus derivados en sus respectivos territorios, lo que incluye

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

la creación de consejos regionales que involucren a diversas partes interesadas, promoviendo la participación de sectores públicos, privados, académicos e indígenas, entre otros (Ministerio de Energía, 2024).

La articulación entre las diversas entidades nacionales relacionadas con los programas y metas de descarbonización, junto con sus respectivas iniciativas, refleja un compromiso colectivo con la sostenibilidad y la transición energética en Chile. Este compromiso se centra especialmente en el desarrollo del hidrógeno verde y sus derivados, así como en la reducción de emisiones en sectores clave, incluyendo la industria marítima.

• Resumen de metas de descarbonización para el transporte marítimo en Chile

De las políticas y regulaciones internacionales revisadas, el transporte marítimo en Chile tiene la obligación de cumplir con las siguientes:

- **Requisitos de la Organización Marítima Internacional:** Chile, como Estado miembro de la Organización Marítima Internacional (OMI) desde 1972 y miembro del consejo desde 2001, participa diplomáticamente a través del Ministerio de Relaciones Exteriores y técnicamente por la Armada de Chile. La OMI estableció el Convenio Internacional para Prevenir la Contaminación por los Buques (MARPOL) como el principal tratado global para evitar la contaminación marina causada por las operaciones o accidentes de buques. Adoptado en 1973, el convenio fue complementado por el Protocolo de 1978 en respuesta a varios accidentes de buques tanque entre 1976 y 1977. Este protocolo incorporó el convenio original, entrando en vigor en 1983. En 1997, se añadió un nuevo Anexo VI mediante un protocolo que entró en vigor en 2005, el cual Chile adoptó a través del Decreto 174 de 2008 del Ministerio de Relaciones Exteriores. Este convenio ha sido objeto de numerosas enmiendas que introducen medidas para prevenir y reducir la contaminación tanto accidental como derivada de operaciones rutinarias, y actualmente incluye seis anexos técnicos.

La Administración Marítima de Chile tiene la función de asegurar el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contraídas en la normativa internacional (como es el caso de la IMO) y nacional, con miras a alcanzar los más altos estándares de desempeño en el sector marítimo-portuario. Está conformada por diferentes instituciones y organismos del Estado con competencias en el ámbito marítimo-portuario, reunidos en un comité de coordinación (CCAMN). La Administración Marítima Sede es la Dirección General del Territorio Marítimo y Marina Mercante (DIRECTEMAR), la cual coordina las actividades del comité y gestiona la secretaría ejecutiva del mismo.

- **Revisión del EU Emissions Trading System (EU ETS):** Todos los barcos de más de 5.000 GT que entren o salgan de la Unión Europea desde Chile o hacia Chile deberán pagar por el 50% del CO₂ que emitan (independientemente de cuánto de ese viaje transcurra dentro o fuera de la UE).
- **FuelEU Maritime:** Todas las compañías navieras que entren o salgan de la Unión Europea son responsables de cumplir con la regulación FuelEU Maritime. Esta regulación tiene el mismo alcance que el UE ETS, por lo que se aplicará al 50% de la energía utilizada en los viajes entre puertos de la UE y Chile.

Las proyecciones internacionales impuestas por la IMO para la reducción de emisiones de GEI y las UE sugieren la siguiente transición en los sectores de energía, combustible y transportes (Tabla 3):

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

Tabla 3: Metas e iniciativas mandatorias para el transporte marítimo y su descarbonización en Chile.

Aplicabilidad		2030	2040	2050
IMO	Mandatorio para el transporte marítimo internacional y el cabotaje.	20% de reducción de GEI respecto a niveles del 2008.	70% de reducción de GEI respecto a niveles del 2008.	Reducción completa (100%) de emisiones de GEI respecto a niveles del 2008.
FuelEU Maritime	Mandatorio para los buques que tengan como origen o destino un puerto bajo la jurisdicción de un Estado miembro de la UE.	Reducción del 6% de las emisiones de carbono respecto a la media del 2020, para buques de más de 5.000 GT que hagan escala en puertos europeos (exceptuando los buques pesqueros). Reducción de emisiones aplica al 50% de la energía consumida cuando los viajes comienzan o terminan en un puerto no perteneciente a la EU.	Reducción del 31% de las emisiones de carbono respecto a la media del 2020, para buques de más de 5.000 GT que hagan escala en puertos europeos (exceptuando los buques pesqueros). Reducción de emisiones aplica al 50% de la energía consumida cuando los viajes comienzan o terminan en un puerto no perteneciente a la EU.	80% de reducción de emisiones de carbono respecto a la media del 2020, para buques de más de 5.000 GT que hagan escala en puertos europeos (exceptuando los buques pesqueros). Reducción de emisiones aplica al 50% de la energía consumida cuando los viajes comienzan o terminan en un puerto no perteneciente a la EU.
ETS	Mandatorio para los barcos de más de 5.000 GT que tengan como origen o destino un puerto bajo la jurisdicción de un Estado miembro de la UE.	Los operadores de buques deben pagar por el 50% de las emisiones de CO ₂ asociadas a viajes de buques que tengan como origen o destino un puerto de la Unión Europea.		

Como se revisó anteriormente, actualmente las metas establecidas en las políticas chilenas para el sector del transporte marítimo no son de carácter mandatorio, a pesar de la Ley Marco de Cambio Climático, que al ser ley obliga a una meta, pero por ahora se desconoce cómo se deberá cumplir. A pesar de esto, reflejan el fuerte compromiso del país con el cambio climático.

2.1.2. Identificación del potencial tecnológico del hidrógeno y sus derivados

En el contexto global de la transición energética, se han desarrollado varios tipos de combustibles de bajas emisiones para enfrentar el cambio climático. Los combustibles verdes, como el hidrógeno, amoníaco y metanol verde, son producidos a partir de energías renovables y fuentes sin emisiones. También se consideran alternativas los biocombustibles, que reutilizan el CO₂ de materia orgánica, y los combustibles azules, que provienen de fuentes fósiles pero emplean tecnologías de captura de carbono (CCS) para mitigar su huella de GEI (Villa Caro, Dinamo Tecnica, 2024). Además, algunas entidades internacionales sugieren priorizar ciertos combustibles para cumplir con las metas de descarbonización, particularmente las de la IMO para 2050. Según un reporte de Wärtsilä, se espera que el uso de combustibles fósiles disminuya gradualmente, dando paso a los biocombustibles inicialmente, seguidos por los combustibles azules y verdes, siendo estos últimos los predominantes a largo plazo (Figura 5).

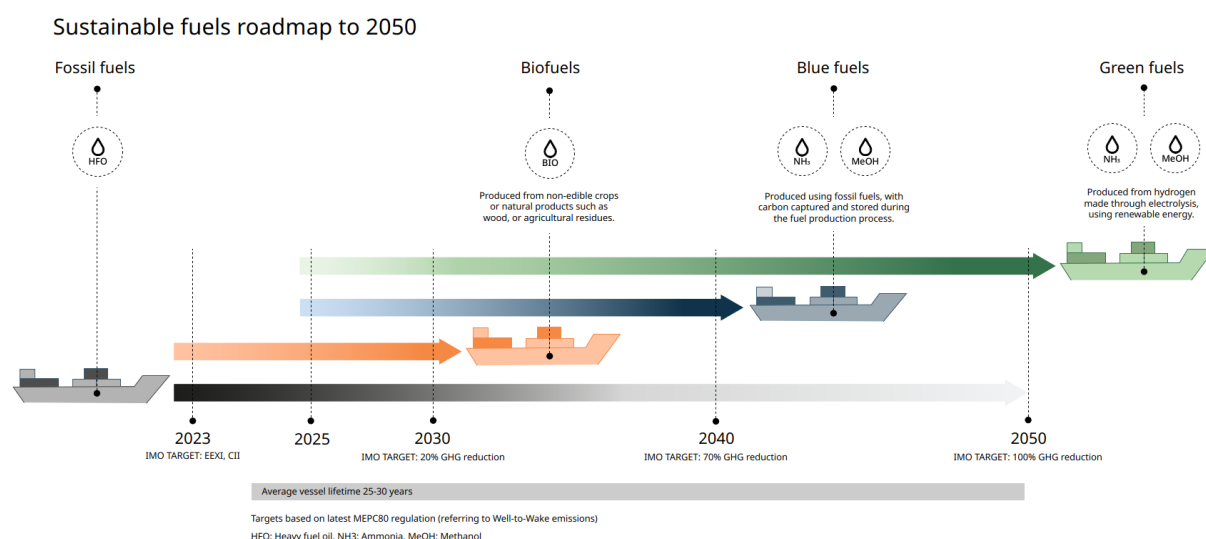


Figura 5: Hoja de ruta esperada para los combustibles alternativos y su evolución al 2050. Recuperado del reporte de Wärtsilä sobre los tres elementos para el éxito de los combustibles sustentables en el sector marítimo (Wärtsilä, 2024).

A partir de un análisis de las tendencias mundiales respecto al uso de combustibles alternativos, se ha identificado una inclinación al desarrollo tecnológico del metanol en el mediano y largo plazo, dada su versatilidad para variadas industrias, promoviendo su uso temprano en embarcaciones a pesar de que requiere de fuentes de CO₂. Por su parte, los sistemas de propulsión de hidrógeno se encuentran en desarrollo y etapa de experimentación y pruebas, mientras que los de amoníaco se encuentran en análisis y desarrollo, aunque se han mapeado pilotos que lo utilizan como combustible marítimo y se prevé que adquieran predominancia en el largo plazo (ver sección 3.6). Los otros combustibles analizados como el diésel sintético y el DME presentan beneficios al considerarse *drop-in fuels*⁵, lo que implica realizar modificaciones menores (o nulas) en sistemas existentes para poder ser utilizados. A pesar de esto, el desarrollo del diésel sintético para embarcaciones no está completamente consolidado, encontrándose pocos casos de éxito, aunque el diésel convencional (a partir de combustibles fósiles) se utiliza hace varias décadas. Por otro lado, el diésel sintético presenta sinergias con el sector de la aviación, dado que se trata de un subproducto en el

⁵ Un *drop-in fuel* es un combustible alternativo que puede utilizarse en motores convencionales sin realizar mayores modificaciones.

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

camino de producción del Combustible Sostenible para Aviación, más conocido como SAF. Por esto, se promueve la atención a la **Hoja de Ruta de SAF**, que podría apalancar un desarrollo de la industria de producción del e-diésel por su relación en la cadena de valor. Finalmente, la aplicabilidad a embarcaciones respecto al DME se encuentra menos estudiada que los otros combustibles, aunque se han mapeado proyectos que lo utilizan como combustible para otros medios de transporte (mayoritariamente terrestre).

A continuación, se presentan las distintas vías de producción y cadenas de valor de cinco combustibles alternativos, para luego analizar su desarrollo tecnológico (TRL⁶) tanto de las vías de producción como de su desarrollo en torno al sector marítimo:

• Hidrógeno

Proceso de producción H₂

Tal como muestra la Figura 6, hay múltiples caminos para producir hidrógeno, de los cuales sólo algunos contribuyen a los objetivos de descarbonización producto de la cantidad de emisiones que se generan en cada uno de los procesos. La fuente de electricidad junto con la materia prima son los principales componentes que influyen en el color del hidrógeno y en la cantidad de emisiones generadas.

Color del hidrógeno	Fuente de energía	Materia prima	Tecnología de producción	Contribución a los objetivos de descarbonización
	Combustibles fósiles	Metano	Reformado de metano con vapor	Sin contribución.
		Carbón	Gasificación	
	Combustibles fósiles	Metano	Reformado de metano con vapor Con captura de carbono	Altos volúmenes de hidrógeno de bajo costo para probar nuevas tecnologías que demandan H ₂ . 80 - 90% de reducción de emisiones de GEI.
		Carbón	Carbón	
	Energía renovable o neutra en carbono	Metano o biometano	Pirólisis	Se espera que produzca altos volúmenes de H ₂ . Sin emisiones de gases de efecto invernadero, pero carbón negro sólido como subproducto.
	Energía nuclear	Agua	Electrólisis acoplada a sistemas de refrigeración de reactores nucleares	Se esperan volúmenes medios de hidrógeno. Sin emisiones de GEI, pero residuos nucleares como subproducto.
	Energía renovable	Agua	Electrólisis	Se esperan volúmenes medios de producción de hidrógeno. Sin emisiones de GEI o residuos químicos peligrosos.

Figura 6: Colores del hidrógeno en función de la energía, materia prima, y tecnología de producción. Elaboración propia con información obtenida de The National Hydrogen Strategy (BMWK, 2023).

A partir de la figura anterior, se tienen los siguientes procesos de producción:

Reformado de metano con vapor

En este proceso se hace reaccionar gas metano (CH₄) con vapor de agua (H₂O) en un medio catalítico para producir monóxido de carbono (CO) e hidrógeno. El monóxido de carbono puede hacerse reaccionar en una segunda etapa con agua para producir más hidrógeno y dióxido de carbono.

El hidrógeno proveniente de esta tecnología es llamado hidrógeno gris debido a que su

⁶ TRL: Technology Readiness Level

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

producción emite gases de efecto invernadero. Sin embargo, esta tecnología podría ser vista como una etapa de transición ya que estos gases de carbono podrían ser capturados para minimizar sus emisiones asociadas.

Esta es la tecnología más utilizada para la producción de hidrógeno al día de hoy, y se utiliza hace varias décadas, lo que le otorga un TRL de 9. El proceso contempla dos reacciones químicas. En primer lugar, se encuentra la reacción de metano-vapor (#1), que consume gas natural (CH_4), y en segundo lugar la de intercambio de gas-agua (#2), que produce CO_2 contaminante.



El proceso se puede ver gráficamente en la Figura 7 a continuación.

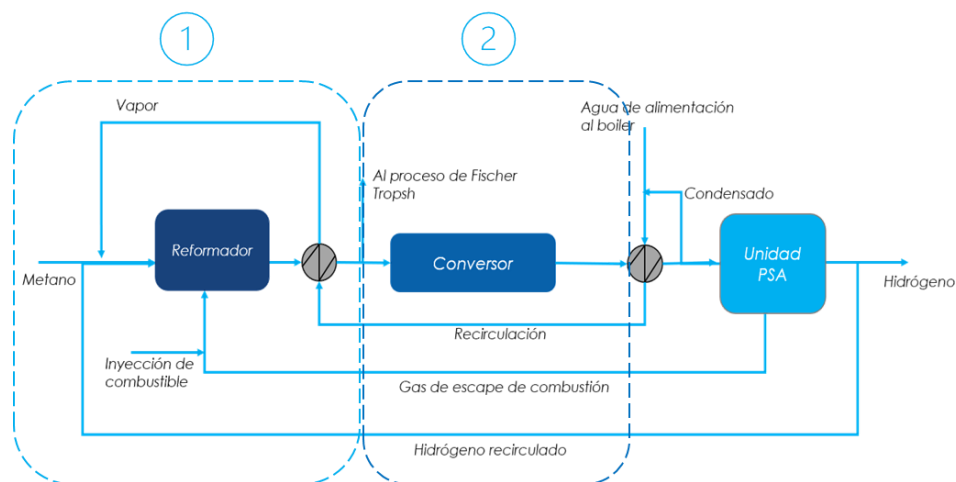


Figura 7: Proceso de reformado de metano por vapor de agua. Elaboración propia.

Típicamente se utiliza para la producción de amoníaco, inyección en hornos, materia prima química, hidrogenación, desulfuración, tratamientos térmicos, siderurgia, y la industria petroquímica.

Gasificación

La gasificación de carbón es un proceso químicamente muy parecido al reformado de metano, donde se utiliza una fuente fósil y agua para producir hidrógeno. Además, se puede utilizar carbón proveniente de biomasa para reducir el impacto ambiental del proceso.

Este proceso se lleva a cabo por medio de dos reacciones químicas. La primera es la reacción de gasificación (#3), y la segunda es la de intercambio de gas-agua (#2), que también se utiliza en el proceso de reformado de metano con vapor.



Como se puede apreciar, el procedimiento es similar al del reformado de metano con vapor, donde sólo cambia la fuente de carbono. En el caso del reformado con vapor se trata de metano, y en el caso de la gasificación se trata de carbón sólido.

Gráficamente, el proceso de producción se puede visualizar en la Figura 8.

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

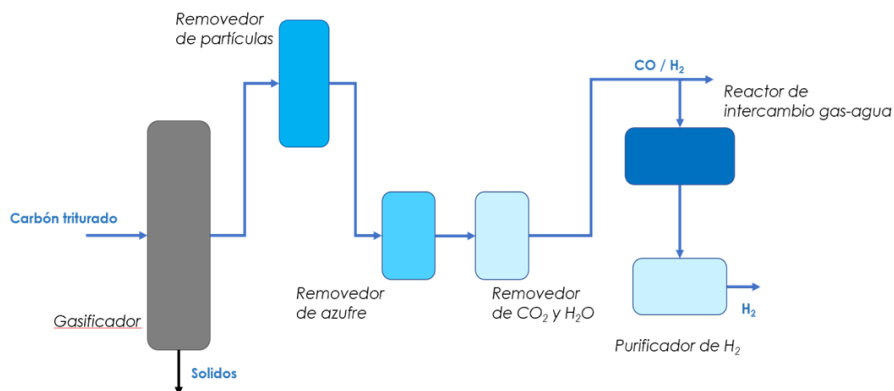


Figura 8: Esquema del proceso de gasificación para la producción de hidrógeno. Elaboración propia.

Esta tecnología es ampliamente utilizada, por lo que se considera que tiene un TRL de 9. Típicamente esta tecnología, se utiliza como gas de síntesis, transporte y movilidad.

Pirólisis de metano

Este proceso permite producir hidrógeno turquesa, siendo una alternativa para la producción de hidrógeno bajo en emisiones. La fuente de energía es renovable o neutra en carbono, y el proceso utiliza metano como materia prima. Durante el proceso se obtiene carbón negro sólido como subproducto, el que dado su estado evita la emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera. Este proceso requiere de relativamente poca energía comparado con otros, y empresas como Mitsubishi con Monolith (conjuntamente) están actualmente desarrollando primer proyecto de escala comercial (MHI, 2020), por lo que se asume un TRL entre 7 y 8. Gráficamente, el proceso de pirólisis de metano se puede apreciar en la Figura 10.

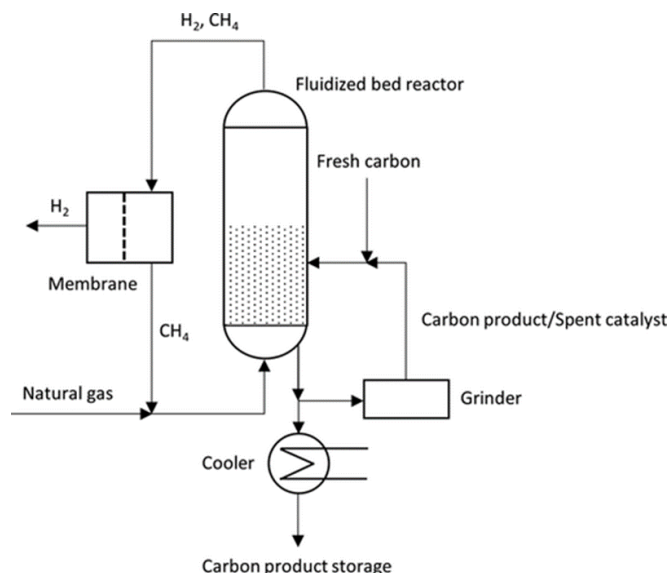


Figura 9: Diagrama del proceso de pirólisis de metano. Recuperado de la Wiley Online Library (Sánchez-Bastardo, Schlogl, & Ruland, 2020)

Electrólisis

El proceso de electrólisis consiste en separar la molécula de agua en H₂ y O₂ utilizando electricidad. En general, el oxígeno producido se libera al ambiente mientras que el

hidrógeno es capturado y almacenado.

Existen varias tecnologías de electrolizadores, entre los que destacan la alcalina (AWE o ALK), la de membrana de intercambio de protones (PEM), y la de alta temperatura (SOEC), cuyos principios de operación se muestran en la Figura 10.

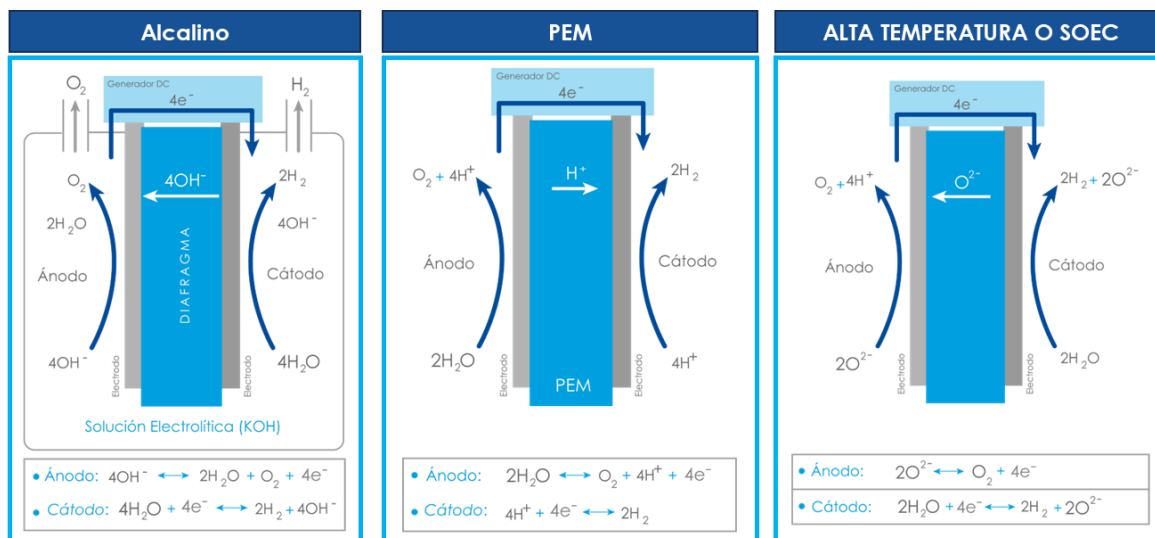


Figura 10: Principales tecnologías y funcionamiento de electrolizadores. Elaboración propia.

La **electrólisis alcalina** consiste en dos electrodos: uno positivo llamado ánodo y otro negativo llamado cátodo, ambos sumergidos en una solución de líquido electrolítico alcalino. Los electrodos están separados por una membrana semipermeable que permite el paso de agua e iones, pero no el paso de los gases hidrógeno y oxígeno. Tiene un avanzado desarrollo, obteniendo un **TRL de 9**.

La electrólisis de electrolito polimérico o de membrana intercambio protónico (**PEM**) funciona bajo un principio similar al de la electrólisis alcalina, pero bajo un mecanismo completamente diferente. En este tipo de electrólisis un polímero sólido es usado para conducir iones, en vez de un líquido electrolítico. Este polímero es altamente conductivo a los iones positivos mientras que es resistivo a los iones negativos. Este tipo de electrolizadores, al igual que los alcalinos, tienen un avanzado grado de desarrollo, por lo que alcanza un **TRL de 9**. Por otro lado, al incluir catalizadores de metales preciosos como platino, iridio y rutenio adheridos a ambos lados de la membrana, se forma el ensamble membrana – electrodos (MEA).

Los electrolizadores PEM son óptimos para proyectos con demandas variables e impredecibles, espacio restringido y/o operando varios modelos de negocio en paralelo (como una conexión directa a energía solar/eólica), mientras que los electrolizadores alcalinos son óptimos para producción de H_2 verde a gran escala y con demandas constantes/predecibles (como el sector industrial de gran escala).

La electrólisis a alta temperatura (High Temperature) es un proceso electroquímico que se lleva a cabo en dispositivos llamados electrolizadores de óxidos sólidos (SOEC) los cuales pueden operar a temperaturas de entre 500 y 1000°C haciendo así que el agua de alimentación esté en estado de vapor. Tiene una alta eficiencia de conversión, por lo que reduce la cantidad de energía eléctrica requerida. La principal desventaja de este tipo de electrolizador es que requiere una fuente constante de potencia, lo que lo hace menos compatible con energías renovables. A diferencia de los electrolizadores alcalinos o PEM, los **SOEC** se encuentran aún en etapas de desarrollo, alcanzando un **TRL de 7**.

Aplicabilidad a embarcaciones

Para producir energía a partir de hidrógeno, es necesario combustionar el hidrógeno o contar con celdas de combustible, que realizan el proceso inverso a la electrólisis. Estas convierten la energía química de la molécula en energía eléctrica, calor, y vapor de agua. Esta electricidad se suele almacenar en baterías, de donde se puede alimentar un motor eléctrico, que se utiliza para mover las ruedas de vehículos terrestres, y para mover las hélices en el caso de las embarcaciones.

El hidrógeno presenta desafíos para su almacenamiento puesto que para aprovechar al máximo su capacidad en estado gaseoso, se debe almacenar en tanques especializados a altas presiones. Por otro lado, al ser más energéticamente denso en estado líquido, existen alternativas para su utilización en dicho estado, pero para almacenarlo de esta forma, se presentan desafíos considerables dado que es necesario conservarlo a muy bajas temperaturas (-253°C).

A pesar de los desafíos de utilizar hidrógeno como combustible para aplicaciones marítimas, se han desarrollado embarcaciones propulsadas por hidrógeno, aunque las que existen al día de hoy son principalmente prototipos, ferries, cruceros y algunos submarinos, y de ellos, sólo los pequeños utilizan hidrógeno gaseoso. De forma adicional, se han realizado experimentos utilizando metal hidruros como sistema de almacenamiento o “carrier”, que implica re- obtener el hidrógeno antes de utilizarlo en la celda de combustible (Villa Caro, Fundación Exponav, 2022).

La empresa LH2 Europe junto con C-Job Naval Architects, diseñaron un prototipo para un buque cisterna de hidrógeno líquido diseñada para operar propulsada por celdas de combustible, con una capacidad de almacenamiento de 37.500 m³, lo que es suficiente para suministrar combustible a 400.000 vehículos de tamaño medio, o 20.000 camiones pesados (Figura 11). Esta embarcación, conocida como Gaia, se mantiene como un concepto, aunque se espera comience a operar durante el 2027 (Villa Caro, Fundación Exponav, 2022).



Figura 11: Embarcación Gaia propulsada por hidrógeno (izquierda) y concepto de ferry impulsado por celdas de combustible (derecha). Recuperado de Exponav (Villa Caro, Fundación Exponav, 2022).

Numerosas empresas, como Global Energy Ventures y Korean Shipbuilding and Engineering, han decidido iniciar el desarrollo de alternativas para la descarbonización del transporte marítimo usando hidrógeno como combustible, y además, varios puertos están colaborando en la transición hacia una economía del hidrógeno bajo la iniciativa Hydroports, incluyendo el Puerto de Den Helder, y el puerto de Groningen, ambos en Países Bajos (Marine and Naval Engineering, 2021).

Asimismo, el Puerto de Ámsterdam planea establecer una planta de hidrógeno azul en Den Helder, mientras que el Puerto de Bilbao cuenta con un terreno destinado a la construcción de una planta de combustible a partir de hidrógeno verde (Marine and Naval Engineering, 2021), lo que se espera impulse el desarrollo para aplicaciones marítimas.

Como caso de éxito adicional, la empresa noruega MOEN Verft estuvo construyendo durante

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

el 2023 el primer catamarán eléctrico a hidrógeno para acuicultura. Esta embarcación de 15 metros cuenta con una celda de combustible de 145 kW y una capacidad de batería de 276 kW/h y se espera que sea un punto de partida en la industria del transporte marítimo con hidrógeno (Salmonexpert, 2023).

Por último, un caso más avanzado es el del Suiso Frontier, que se convirtió en la primera embarcación transportadora de hidrógeno licuado a granel del mundo (Figura 12), y realizó su primer viaje, entre Australia y Japón, en Febrero del 2022. Esta nave, que tiene una capacidad de 1,250 m³ de hidrógeno líquido, fue fabricada por Kawasaki Heavy Industries y es operado por Shell en el marco del proyecto de la Asociación de Investigación de Tecnología de la Cadena de Suministro de Energía de Hidrógeno libre de CO₂ (HySTRA) (Gonzalez, 2023).



Figura 12: Suiso Frontier, la primera embarcación transportadora de hidrógeno líquido del mundo.
Fuente: (Gonzalez, 2023).

El gran desafío de los barcos a hidrógeno es más bien el transporte y almacenamiento del combustible, lo que ha impedido un desarrollo acelerado. Por otro lado, considerando el estado actual en embarcaciones y dado los casos de éxito recientemente nombrados, se considera un desarrollo tecnológico avanzado y por lo tanto se asume un **TRL de 6-7**.

• Amoníaco

Proceso de producción NH₃

El proceso más utilizado para la obtención de amoníaco a nivel mundial es el proceso Haber-Bosch, ampliamente reconocido por su aplicación a gran escala y su consolidación en la industria. No obstante, también existen otras vías de producción no convencionales que se encuentran en etapas de laboratorio y piloto contando con TRL comparativamente bajos al proceso Haber-Bosch convencional. Estos son los procesos termocíclicos, electroquímicos, fotoquímicos, basados en plasma, la síntesis homogénea, los procesos biológicos y la purificación de amoníaco a partir de residuos animales o aguas residuales (International PtX Hub, 2024). A pesar de la existencia de estas alternativas, el presente análisis se centrará en el proceso Haber-Bosch, por ser la vía de producción predominante en la actualidad.

El proceso Haber-Bosch es una reacción química utilizada para producir amoníaco a partir de nitrógeno e hidrógeno según la siguiente reacción (#4):



El proceso en el reactor (ver Figura 13) implica los siguientes pasos:

1. El nitrógeno y el hidrógeno se introducen en el reactor.

2. La mezcla se calienta y se somete a alta presión. Se añade un catalizador, normalmente hierro, al reactor para facilitar la reacción. En condiciones de funcionamiento típicas, sólo una parte del hidrógeno se convierte en amoníaco en cada ciclo del reactor, por lo que los gases sin reaccionar se recirculan hasta que se convierte aproximadamente el 98% del hidrógeno.
3. La reacción produce amoníaco y calor como subproducto. La energía liberada en el reactor puede integrarse en otras etapas del proceso, como la generación de vapor a alta presión (esta integración energética no siempre se lleva a cabo en los proyectos piloto).
4. A continuación, la solución de amoníaco se enfría en un condensador, de modo de poder almacenarlo en estado líquido.
5. Generalmente se almacena como líquido en recipientes de acero, por debajo de -33°C y presión ambiente.

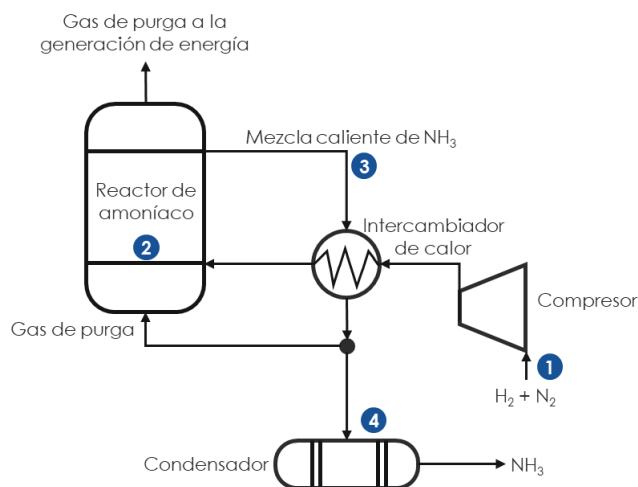


Figura 13: Proceso de reactor Haber-Bosch para la producción de amoníaco. Fuente: Elaboración propia.

El reactor **Haber-Bosch** actualmente tiene una escala industrial y un **TRL de 9** puesto que está disponible para su comercialización y producción disponible para la sociedad.

Aplicabilidad a embarcaciones

Las embarcaciones impulsadas por amoníaco se encuentran en una etapa de desarrollo anterior a las embarcaciones impulsadas por metanol, ya que aún no se han establecido las regulaciones de seguridad para el uso del amoníaco como combustible para barcos. Aunque diversas sociedades de clasificación han publicado directrices sobre el diseño y la construcción de embarcaciones de amoníaco, el Código Internacional de Seguridad para Buques que Utilizan Gases u Otros Combustibles de Bajo Punto de Inflamación (Código IGF) de la IMO aún no cubre el uso del amoníaco como combustible, aunque se están finalizando directrices provisionales. No obstante, se han probado motores de amoníaco para aplicaciones marítimas, y ya se están llevando a cabo ensayos de embarcaciones o se están planificando (IEA, 2024).

Los motores de amoníaco, que presentan el desafío adicional de su toxicidad, se encuentran actualmente en desarrollo, con un **TRL entre 5 y 6**. Aunque ya existen algunos buques operativos que los utilizan, se anticipa que el próximo año se producirá un avance significativo en la adopción de buques que utilicen este combustible, el cual se plantea como una alternativa de menor demanda de energía renovable para su producción de manera sostenible (Villa Caro, Amoníaco: ¿combustible marítimo del futuro?, 2024).

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

En esta línea de desarrollo, la empresa Wärtsilä ya hizo el lanzamiento del primer motor de amoníaco comercial de 4 tiempos para la industria naviera, mientras que el fabricante de motores MAN Energy Solutions espera que las ventas comerciales de sus motores de amoníaco de 2 y 4 tiempos comiencen en 2027. En marzo de 2024, se cargó amoníaco líquido en un buque con doble notación, y en Japón, un remolcador alimentado por GNL ha sido adaptado para funcionar con amoníaco, y las pruebas de combustión indican una emisión mínima de óxido nitroso (N_2O) y fuga de amoníaco. Otro diseño que se está explorando es la descomposición del amoníaco a bordo para su uso en pilas de combustible de membrana de intercambio de protones, lo que podría permitir el uso directo de hidrógeno en el futuro (IEA, 2024).

Dado que el amoníaco ya es una mercancía comercializada, al igual que el metanol, varios puertos cuentan con infraestructura de almacenamiento y transferencia existente. Se están realizando transferencias de amoníaco de buque a buque, y en Noruega se han otorgado permisos de seguridad para la construcción de una instalación de abastecimiento de amoníaco. El puerto de Rotterdam también espera comenzar a abastecer amoníaco en 2027. Sin embargo, se necesita realizar un trabajo adicional en el desarrollo de normas para el abastecimiento seguro y el uso del amoníaco como combustible para barcos. La innovación en los métodos de abastecimiento también continúa, incluyendo un sistema de abastecimiento de camión a barco (IEA, 2024).

Como caso de éxito, la empresa Fortescue, con apoyo de la Autoridad Marítima de Singapur y otros socios, realizó con éxito la primera prueba mundial del uso de amoníaco como combustible marino en un buque de combustible dual (que combina amoníaco con metanol), el Fortescue Green Pioneer, en Singapur. La prueba incluyó estrictos protocolos de seguridad y demostró que el amoníaco puede ser una opción viable para reducir las emisiones en el transporte marítimo (Fortescue, 2024).



Figura 14: Fortescue Green Pioneer, navío que utiliza amoníaco como combustible marítimo. Recuperado de Portal Portuario (Portal Portuario, 2024)

Para el caso de Chile, considerando la disponibilidad de recurso renovable en el territorio, se espera que se desarrollen proyectos de producción de amoníaco verde. Junto con esto, se han mostrado iniciativas para establecer corredores verdes marítimos, que son rutas de exportación con embarcaciones que utilicen exclusivamente combustibles alternativos. En particular, se espera utilizar amoníaco como combustible principal para estos corredores (MMMCZCS, 2022b). La Tabla 4 muestra las rutas y productos principales que se esperan exportar por medio de los corredores verdes.

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

Tabla 4: Corredores verdes relacionados a Chile. Elaboración propia con información obtenida de (MMMCZCS, 2022b)

	Corredor verde 1	Corredor verde 2	Corredor verde 3
Productos de Agricultura	EEUU	Europa	Asia
Productos forestales	China, Japón, Corea del Sur	EEUU, México, Perú	Europa
Cobre	China, Japón, Corea del Sur	EEUU, Brasil	Europa
Hierro	China, Japón, Corea del Sur		
Amoníaco	Perú, Japón	Europa	EEUU
Salmón	EEUU, Brasil, Canadá		

• Metanol

Proceso de producción MeOH

Actualmente, existen 3 vías para la producción de e-metanol con diferentes niveles de madurez, que difieren principalmente en las etapas de producción e hidrogenación del gas de síntesis:

Hidrogenación indirecta a través de la reacción inversa de desplazamiento del gas de agua (RWGS)

Las principales reacciones químicas del proceso son la reacción del RWGS⁷ (#5), y la Hidrogenación de CO (#6):



El **RWGS** es un proceso que consume mucha energía y calor, que requiere altas temperaturas (~900°C) y presiones de hasta 30 bar, lo cual lo convierte en un proceso poco eficiente. Sin embargo, ya existen empresas que lo utilizan, por lo que tiene un **TRL estimado de 8**.

Hidrogenación indirecta mediante co-electrólisis

El proceso tiene 3 reacciones químicas principales. La primera (#7) corresponde a las reacciones de co-electrólisis (electrólisis H₂O), la segunda (#8) a las reacciones de co-electrólisis (electrólisis de CO₂), y la tercera a la del reactor de metanol, que corresponde a la de hidrogenación de CO (#6).



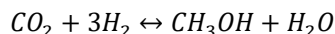
Esta ruta podría lograr una mayor eficiencia de síntesis, pero la co-electrólisis (**SOEC**) aún está en desarrollo con un **TRL de 7** (con una operación demostrativa del proyecto de planta en 2024).

Si bien la tecnología es prometedora, el proceso SOEC requiere de un alto consumo energético, lo cual puede incrementar los costos.

⁷ RWGS: Reverse Water Gas Shifting

Hydrogenación directa de CO₂

La **hidrogenación directa** cuenta sólo con una reacción (#9).



9

La tecnología no ha alcanzado la plena disponibilidad técnica (**TRL 9**). Sin embargo, ya han comenzado a funcionar plantas de gran capacidad.

La hidrogenación directa convencional funciona a carga base, sin embargo, los últimos avances en el diseño del reactor deberían permitir una mayor flexibilidad.

Comparación de los procesos

La producción de metanol mediante co-electrólisis es la vía que consume menor masa de H₂ por tonelada de metanol, pero todavía no se ha construido una planta de demostración a escala piloto.

En cuanto al consumo energético, las vías de síntesis de metanol mediante la hidrogenación indirecta y co-electrólisis incluyen el equipo de RWGS el cual tiene un alto consumo energético debido a que requiere temperaturas de reacción cercanas a los 900°C. Esto se compone como una desventaja para ambas tecnologías disminuyendo la eficiencia del proceso, requiriendo además una fuente de calor externa.

En relación al avance tecnológico, la hidrogenación indirecta ha sido el proceso utilizado para la síntesis de metanol a gran escala. El proceso de hidrogenación directa en cambio se diseñó especialmente para la síntesis de metanol con hidrógeno y se posiciona como el proceso más eficiente y con proyecciones prometedoras al corto plazo con un TRL entre 8 y 9. Por último, la co-electrólisis todavía tiene un TRL bajo en el corto y mediano plazo.

La cadena de valor simplificada de los procesos de producción de metanol se puede ver en la Figura 15.

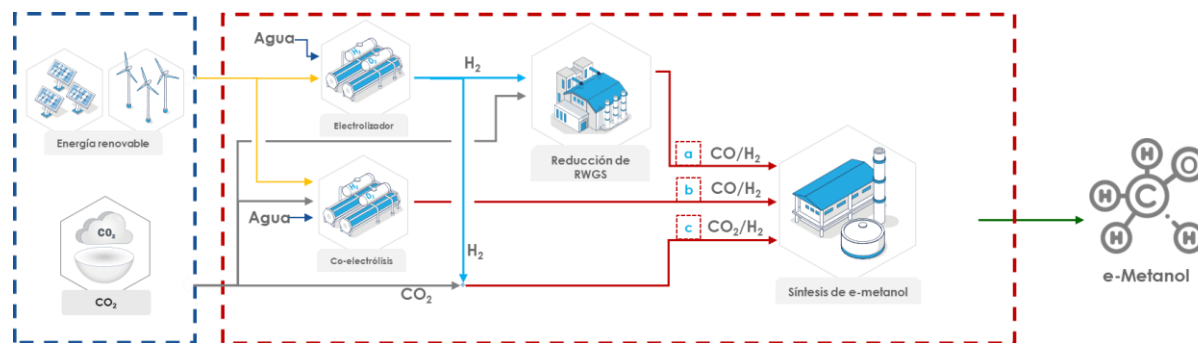


Figura 15: Procesos de producción de metanol bajo en emisiones por 3 vías distintas. Elaboración propia.

Por otro lado, comparando con el proceso de producción del amoníaco, la planta de amoníaco tiene mayor facilidad de accesibilidad a feedstock (directo del aire), un alto TRL (máximo), la posibilidad de producción verde y baja (o libre) de emisiones, y no produce subproductos. Pero cuenta con un alto consumo de electricidad.

Las tecnologías de metanol tienen la posibilidad de producción carbono negativa (usando sistemas de captura de carbono), pero su obtención de feedstock⁸ no es directa, a diferencia del Haber-Bosch. La tecnología indirecta con RWGS tiene un bajo costo mientras que la indirecta por co-electrólisis y la directa tienen bajos consumos eléctricos, pero estas dos

⁸ Palabra en inglés para referirse a materia prima utilizada en un proceso para obtener un producto final.

Últimas tienen costos desconocidos y altos respectivamente.

Aplicabilidad a embarcaciones

La utilización de metanol en motores de combustión interna no es novedosa. Este tipo de tecnología se utiliza hace tiempo para varios tipos de vehículos, y particularmente con un avanzado (y creciente) uso en el sector marítimo, lo que le otorga un **TRL de 9** (Ricardo, 2023).

La expansión del metanol verde como combustible alternativo a los derivados fósiles resulta particularmente atractiva para la industria marítima. Al ser un líquido a temperatura ambiente, su almacenamiento y transporte son significativamente menos costosos en comparación con los combustibles gaseosos, y además presenta la huella de carbono más baja entre todos los combustibles líquidos. Este compuesto puede ser utilizado tanto en motores de combustión interna como para alimentar pilas de combustible, lo que ofrece flexibilidad en función de las necesidades específicas (Iberdrola, s.f.).

La utilización de metanol como combustible en la industria marítima presenta varias ventajas significativas. En primer lugar, permite evitar impuestos sobre el carbono, que se estiman entre 250 y 450 dólares por tonelada de CO₂. Las empresas del sector que opten por la conversión a metanol u otros combustibles alternativos podrán eludir estas tasas, lo que representa un beneficio económico considerable (Cryospain, 2021).

En términos de sostenibilidad, la incorporación de buques impulsados por metanol, como ha anunciado la naviera Maersk, generará un ahorro anual de emisiones de CO₂ de aproximadamente un millón de toneladas. Es esencial realizar un análisis de ciclo de vida para asegurar que el metanol se produzca de manera neutral en carbono, utilizando fuentes renovables como la biomasa o dióxido de carbono reciclado. Adicionalmente, el metanol es biodegradable y se disuelve en agua, lo que contribuye a su perfil ecológico favorable (Cryospain, 2021).

El metanol es una de las sustancias químicas más comúnmente utilizadas a nivel mundial, y está disponible para bunkering en 88 de los 100 puertos más importantes del mundo, lo que facilita su adopción en la industria marítima (Cryospain, 2021).

Un buque propulsado por metanol puede operar durante más de 60,000 horas utilizando únicamente este combustible. Aunque se trata de una tecnología en desarrollo, los avances en el sistema de tuberías y válvulas de inyección están contribuyendo a la creación de soluciones cada vez más eficientes (Cryospain, 2021).

Además, estos buques cumplen con la norma IMO 2020, establecida por la Organización Marítima Internacional para reducir en un 0.5% el contenido de azufre en los combustibles marítimos. El sistema de buques de metanol permite cumplir con el Nivel III de dicha normativa sin necesidad de aplicar tecnologías de tratamiento de gases de escape (Cryospain, 2021).

Finalmente, los motores diseñados para estos buques son versátiles, ya que las soluciones actuales incluyen motores de dos tiempos que pueden funcionar tanto con metanol como con combustibles convencionales, lo que ofrece una mayor flexibilidad operativa (Cryospain, 2021).

Empresas como Maersk, Cosco Shipping, y CMA CGM, ya han ordenado la compra de alrededor de 100 buques capaces de quemar metanol, para lo que será necesario contar con un incremento considerable en la producción mundial del combustible durante los primeros años de funcionamiento (Mundo Marítimo, 2023), aunque la fuente no explicita para qué horizonte temporal se espera su entrega. Por otro lado, es importante considerar la inversión requerida para las barcazas que bombearán metanol, cuyo costo de reconvertir una barcaza petrolera a metanol rondará los 1.6 millones de dólares principalmente debido a las adaptaciones de las bombas y las mangueras de repostaje (Mundo Marítimo, 2023).

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

Finalmente, ya hay embarcaciones que utilizan el metanol como combustible, siendo un caso de éxito el de *Stena Germanica*, el primer buque comercial en el mundo que opera con este combustible, que realiza rutas desde Alemania (Kiel) a Suecia (Gotemburgo) (Stena Line, s.f.). Este navío es también el ferry más grande de la región nórdica (Direct Ferries, s.f.) (Figura 16).



Figura 16: Imagen del *Stena Germanica*, el primer ferry que utiliza metanol como combustible. Recuperado de VesselFinder (VesselFinder, s.f.)

En cuanto a Chile, considerando los recursos renovables disponibles en el país, al igual que para el caso del amoníaco, el establecimiento de corredores verdes en Chile podría apalancar la utilización de metanol como combustible de propulsión para las rutas nombradas en la Tabla 4, aunque en menor cantidad que el amoníaco (MMMCZCS, 2022b).

• Diésel Sintético

Proceso de producción e-Diésel

Este tipo de combustibles se pueden elaborar de forma sintética y amigable para el medio ambiente combinando dióxido de carbono (CO_2) capturado desde la atmósfera o directamente desde procesos con estas emisiones e hidrógeno (H_2) renovable.

Para producir combustibles líquidos a partir de CO_2 y H_2 producido a partir de energías renovables (Power-to-X), existen dos vías principales de producción:

- mediante el proceso Fischer-Tropsch (FT)
- mediante el proceso Methanol-to-Liquids (MTL)

Para producir estos combustibles utilizando Fischer-Tropsch (FT), el hidrógeno y dióxido de carbono son utilizados en el proceso RWGS, generando un gas de síntesis que se alimenta al proceso Fischer-Tropsch. A partir de este, se produce un crudo sintético que posteriormente se refina para obtener productos como gasolina, diésel y SAF, entre otros. El proceso FT es utilizado industrialmente desde hace décadas, utilizando carbón y/o gas natural como alimentación al sistema en vez de CO_2 y H_2 .

La segunda vía de producción de es a través del proceso Metanol-to-Liquids, que utiliza metanol como producto intermedio. Para esto, en una planta de síntesis se mezcla H_2 con el CO_2 para generar metanol, el que luego es utilizado para producir los combustibles sintéticos antes mencionados (como gasolina, diésel, combustible de aviación, etc).

La Figura 17 muestra la cadena de valor simplificada de los procesos productivos mencionados anteriormente.

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

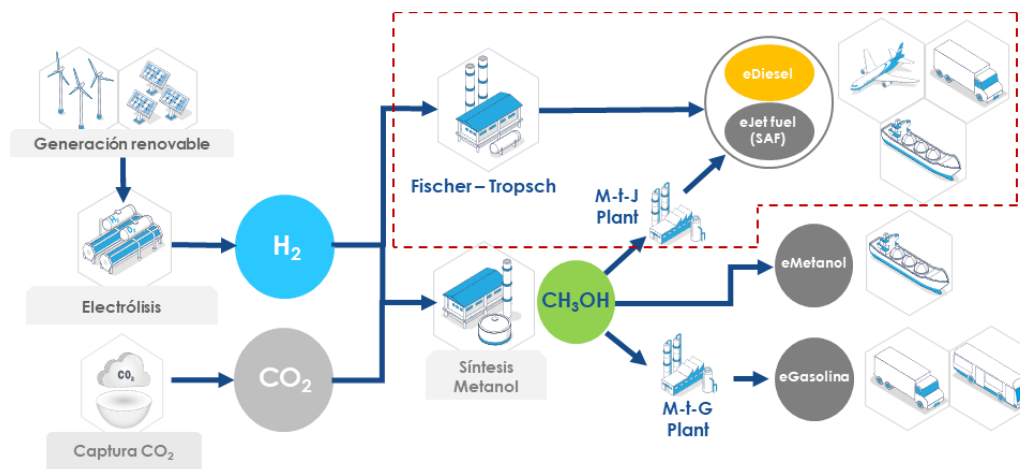


Figura 17: Diagrama de producción de diésel sintético. Elaboración propia.

Fischer-Tropsch (FT)

La ruta de **síntesis FT** fue introducida en 1923 por Franz Fischer y Hans Tropsch. Patentado en 1929 (Alemania) y en 1930 (Estados Unidos).

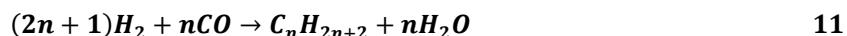
La primera planta se puso en marcha en Ruhrchemie (Alemania) en 1933. A principios de la década de 1940, las instalaciones alemanas producían 0,6 Mt/año de combustibles líquidos.

La planta a gran escala de Fischer-Tropsch era una alternativa para producir combustibles líquidos para el transporte utilizando gas de síntesis de la gasificación del carbón como materia prima en lugar de petróleo crudo.

La primera planta comercial a gran escala fue la Sasol-I 1950 (Sasolburg, Sudáfrica), y en 1980 y 1982 respectivamente, se pusieron en marcha dos plantas más en Secunda (Sudáfrica).

Considerando lo anterior, se considera que la tecnología de producción Fischer-Tropsch tiene un **TRL de 9** (máximo).

Como se mencionó anteriormente, el proceso FT se basa en la conversión catalítica de gas sintético (mezcla de H₂ con CO) en productos de hidrocarburos por dos reacciones principales. La primera es la formación de alquenos (olefinas) (#10), y la segunda es la formación de alcanos (parafinas) (#11).



El valor de n de las fórmulas varía según el producto que se busque generar en mayor cantidad, y la selectividad de estos productos depende de la temperatura, el catalizador, la relación H₂/CO y la presión. Durante la reacción, la probabilidad (o índice) de crecimiento de la cadena de carbonos, también conocida como α , se relaciona con n de forma directa. En particular, el aumento de la temperatura del reactor dará como resultado valores de α más bajos, lo que mejorará la producción de hidrocarburos más ligeros (como el GLP). Otra forma de aumentar la producción de hidrocarburos más ligeros es aumentando la relación de alimentación H₂/CO.

En palabras simples, variando los parámetros de las ecuaciones 10 y 11, se obtendrán distintos porcentajes de los productos (gasolina, diésel, jet fuel, etc). Por ejemplo, la selectividad más alta para los hidrocarburos de las series de gasolina y diésel es del 48% ($\alpha = 0.76$) y del 30% ($\alpha = 0.88$), respectivamente (Mazurova, y otros, 2023). La Figura 18 muestra las condiciones necesarias dependiendo del largo de la cadena que se requiere para la selectividad de los

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

productos en el proceso Fischer-Tropsch.

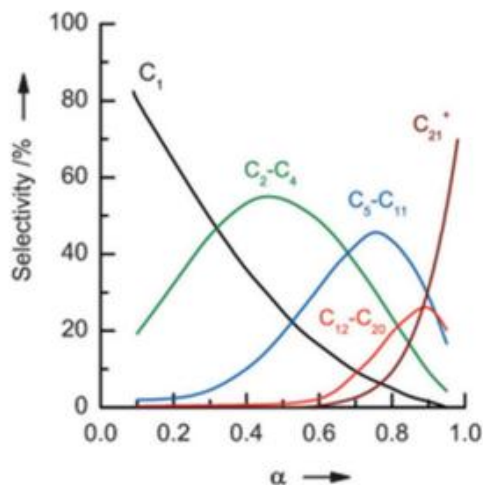


Figura 18: Selectividad del proceso Fischer Tropsch a partir del índice de crecimiento de la cadena.

Fuente: Recuperado de un estudio de Catalysts (Mazurova, y otros, 2023).

Methanol-to-Liquids (MtL)

El proceso MtL consiste en una serie de reacciones catalíticas en las que el metanol se convierte primero en olefinas ligeras (proceso MtO), luego las olefinas producidas se oligomerizan para formar hidrocarburos parafínicos de cadena lineal (Figura 19).

Dependiendo de la selectividad de la etapa de oligomerización, puede ser necesaria la hidrogenación y/o isomerización para alcanzar las especificaciones del combustible que se desea producir.

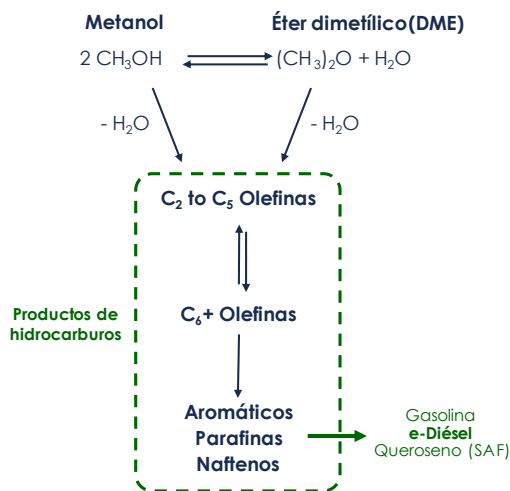


Figura 19: Proceso de producción Metanol-to-Liquids (MtL). Elaboración propia.

De forma similar al proceso de Fischer-Tropsch, MtL produce varios productos distintos, siendo diésel uno de ellos. Por lo tanto, regulando los parámetros o componentes de entrada en el proceso MtL de una forma u otra, se obtendrán combinaciones y cantidades distintas de los productos deseados.

A diferencia del proceso Fischer-Tropsch, el proceso **MtL** aún no se encuentra comercialmente

disponible a gran escala, puesto que todavía está en etapas intermedias de diseño. Por ello, se asume un **TRL entre 5 y 6**.

Aplicabilidad a embarcaciones

La historia de los motores de combustión interna del ciclo diésel comenzó en 1892, teniendo 20 años después su primera aplicación en el sector marítimo e incluso siendo el principal medio de propulsión marítimo durante la década de los 60s. Los motores han sufrido variaciones durante los años, siendo mezclados con combustibles residuales, por ejemplo (Vermeire, 2021).

La producción de diésel sintético a gran escala se mantiene en desarrollo, aunque un alto interés desde las industrias automotriz y de la aviación podrían acelerar el proceso. A pesar de ello, las altas cantidades de energía requeridas en el proceso de producción y el uso de tecnologías relativamente nuevas implican altos costos, limitando su utilización en el sector marítimo (Ricardo, 2023).

A pesar de lo anterior, la utilización de otras alternativas sustentables como el biodiesel ha sido implementada en varios medios de transporte, incluyendo el sector marítimo. A pesar de este avance, su uso es limitado y generalmente se combina con combustibles fósiles. Por otro lado, la tecnología para utilizar este combustible ya existe y está comercialmente disponible, por lo que se considera que tiene un **TRL de 9** (Ricardo, 2023).

Por otro lado, considerando que las rutas de producción de SAF son prácticamente iguales a las de producción de diésel sintético (Fischer-Tropsch y Methanol-to-Liquids), donde SAF y diésel son coproducidos (junto con otros combustibles líquidos), una oportunidad de generar sinergias entre las industrias de aviación y marítima viables en el corto a mediano plazo, donde la producción de SAF podría apalancar la producción de e-diésel dado que son ambos coproductos del mismo proceso (ver Figura 18). A modo de ejemplo, se estima que un proceso de síntesis de SAF por la vía Fischer-Tropsch, cuenta con una selectividad de SAF del 80%, donde el 20% restante se reparte entre diésel, gasolina y gas licuado sintéticos, donde aproximadamente la mitad de estos subproductos correspondería a diésel. En esta línea, un proyecto que busque producir anualmente 100 kt de SAF, podría co-producir alrededor de 10 kt de diésel.

En cuanto a Chile, y considerando los recursos renovables disponibles en el país, de igual forma que para el caso del amoníaco y el metanol, el establecimiento de corredores verdes en Chile podría apalancar la utilización de diésel sintético como combustible de propulsión para las rutas nombradas en la Tabla 4, aunque en menor cantidad que el amoníaco (MMMCZCS, 2022b).

• Dimetil Éter (DME)

Proceso de producción DME

El DME solía ser un subproducto de la síntesis de metanol a alta presión, pero la sustitución del proceso a alta presión por un proceso a baja presión, junto con el aumento de la demanda de DME, dio lugar a la creación de plantas de síntesis específicas para este compuesto. Actualmente, el DME se produce exclusivamente mediante un proceso de dos etapas (o indirecto) que consiste en la producción de metanol a partir de gas de síntesis, seguida de la deshidratación del metanol, de acuerdo con la reacción (#12):



Sin embargo, el DME también puede producirse directamente a partir de gas de síntesis (ruta directa). En este caso, las reacciones de síntesis de metanol (#6), cambio de gas de agua

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

(#2) y deshidratación del metanol (#12) ocurren simultáneamente, formando un sistema sinérgico. Por un lado, la deshidratación o consumo de metanol alivia las restricciones de equilibrio en la síntesis de metanol. Por otro lado, el agua formada en la reacción (#12) es consumida en cierta medida por la reacción de cambio de gas de agua (#2), lo que genera hidrógeno y aumenta la tasa de síntesis de metanol. Además, el consumo de agua protege al catalizador de la degradación causada por la acumulación de agua (Dieterich, Buttler, Hanel, Spliethoff, & Fendt, 2020).

Aplicabilidad a embarcaciones

El DME se encuentra menos estudiado que los combustibles alternativos anteriores, por lo que se identificó menor cantidad de bibliografía relacionada a su aplicación en medios de transporte. En este ámbito, se han realizado pruebas en vehículos y se han confeccionado motores para transporte terrestre que sean impulsados por este combustible hace más de 10 años (Ricardo, 2023).

De hecho, en Chile se está llevando a cabo el proyecto Power-to-MEDME de la mano de Fraunhofer, que busca producir metanol y DME para utilizarlos en la industria minera y pesada en el norte del país (Fraunhofer, s.f.).

Por otro lado, en cuanto a la aplicabilidad al sector marítimo, no se encontró un proyecto o embarcación específica que utilice el DME de forma directa, aunque ciertos reportes afirman que se han realizado pruebas en embarcaciones pequeñas (EERA, 2024). Por otro lado, se mapeó el proyecto SPIRETH ("Alcohol (espíritus) y éteres como combustible marino"), que tiene como objetivo probar un combustible a base de metanol y DME a bordo de un barco. Iniciado en 2012, el proyecto busca alimentar un motor diésel auxiliar en una embarcación ropax sueca con una mezcla de metanol y DME. Además, se llevará a cabo una segunda fase de pruebas en un motor diésel en laboratorio, utilizando tanto metanol puro como crudo (SPIRETH, s.f.).

Debido a lo anterior, y dado que ha sido demostrada su aplicabilidad en vehículos terrestres y pequeñas embarcaciones, se considera que alcanza un **TRL de 6** (Ricardo, 2023).

Proyección de adopción de los combustibles alternativos al largo plazo

Considerando las características previamente mencionadas de cada combustible y el estado actual de la tecnología en su aplicación a embarcaciones, **se prevé que a largo plazo (hacia 2040-2050) los principales combustibles utilizados en el sector marítimo serán el metanol y el amoníaco**. Aunque las proyecciones de diversas fuentes varían en el corto y mediano plazo en relación a la demanda respectiva para estos combustibles, la mayoría coincide en que a partir de 2040 jugarán un papel predominante como combustibles para embarcaciones, tal como se ilustra en las Figuras 21 y 23.

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

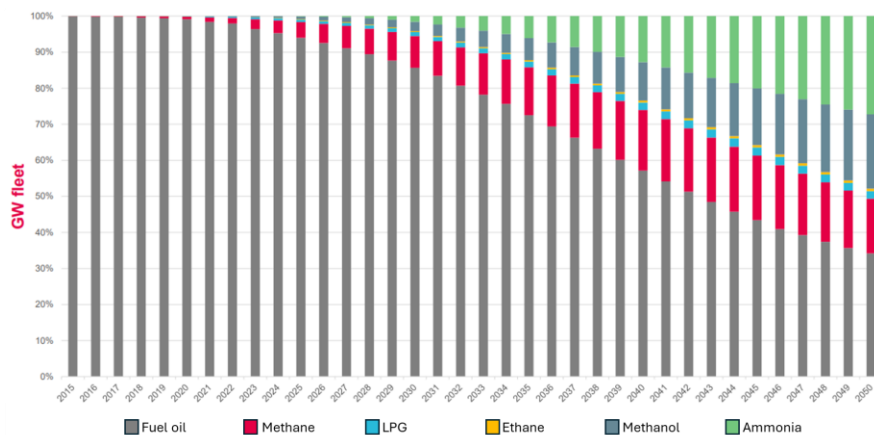


Figura 20: Proyección de embarcaciones con motor de dos tiempos para distintos combustibles.
Recuperado de MAN Energy Solutions (MAN Energy Solutions, 2023).

Es importante destacar que esta renovación podría verse alterada en el futuro considerando que la producción de combustibles como el metanol verde, e-diésel o e-DME requieren de CO₂ biogénico o tecnologías de captura (CCS), lo que podría incrementar los costos del combustible. Por lo anterior, para lograr una carbono neutralidad al 2050, las entidades internacionales recomiendan la utilización de combustibles carbono neutrales de la mano de medidas de eficiencia energética, tal como muestra la Figura 21.

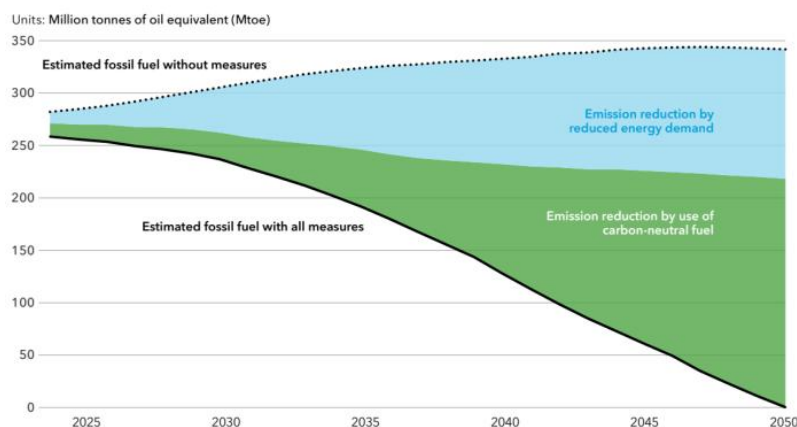


Figura 21: Demanda esperada para combustibles carbono neutrales en el sector marítimo.
Recuperado de un webinar realizado por DNV (DNV, 2024)

Tal como se presenta en las Figuras 20 y 22, existe incertidumbre de las proyecciones a corto plazo, en el que se espera se presenten y adopten variadas alternativas para descarbonización antes de alcanzar la estabilidad al largo plazo, como los combustibles de origen biológico, azules, y combustibles sintéticos a partir de hidrógeno renovable, de los cuales algunos pueden presentar beneficios por ser *drop-in fuels*. La Figura 22 muestra la proyección de demanda energética en el sector marítimo considerando una serie de combustibles alternativos, de lo que se puede apreciar la amplia variabilidad que se espera tener en cuanto a la selección de combustibles en la industria hacia el futuro.

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

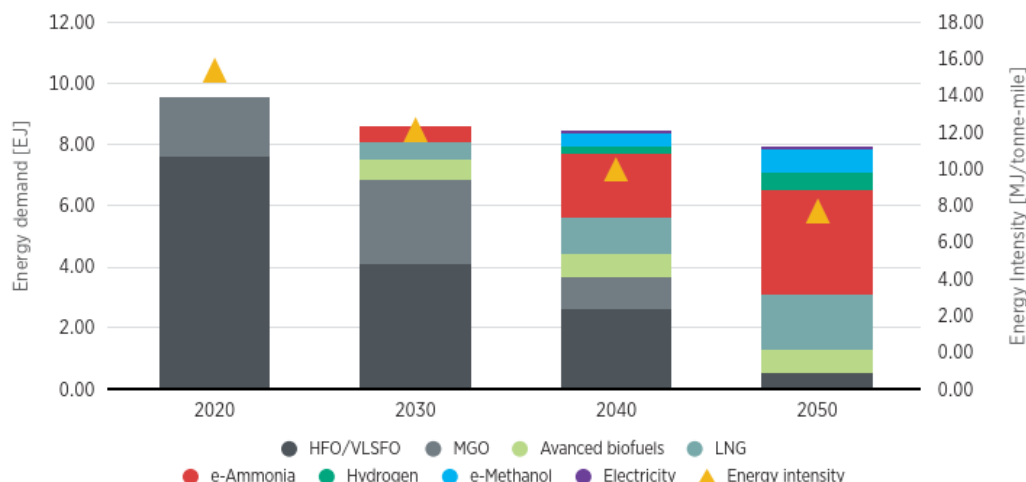


Figura 22: Demanda energética en el sector marítimo al 2050. Recuperado de IRENA (IRENA, 2021).

2.1.3. Identificación de las tecnologías disponibles y su viabilidad técnica, económica y regulatoria para flotas existentes

El objetivo de la presente subsección es proporcionar una visión integral que combine el análisis técnico, económico y regulatorio para establecer un **marco de referencia que permita entender la viabilidad en Chile de las distintas alternativas de combustibles marítimos** analizados en el marco de la consultoría: hidrógeno verde, amoníaco verde, metanol verde, e-Diesel y DME.

Los factores que inciden en la selección de un combustible marítimo alternativo son múltiples y su priorización no tiene una respuesta única, muy por el contrario, dependerá caso a caso según el tipo de servicio, rutas operadas que incidirán en las autonomías, características y propiedades energéticas de los distintos combustibles alternativos, logística de suministro energético y aseguramiento del mismo, contribución en la reducción de emisiones de GEI, costos, regulaciones, aspectos geopolíticos, entre otros (MOL Group, 2024) (Bureau Veritas, 2022).

En este contexto, para la industria nacional marítima se orientará el análisis de viabilidad teniendo presente **dos premisas** que enmarcan el propósito de la **Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad al 2050**:

- Habilitar y fortalecer las condiciones para la generación de un modelo de desarrollo energético marítimo vinculado al hidrógeno desde la Armada de Chile.
- Contribuir a la visión de la Armada de asegurar el suministro energético de su operativa, en base a recursos renovables, lo que se justifica por el valor estratégico para el desarrollo productivo del país y para la defensa

Dichas premisas permiten priorizar los criterios técnicos, económicos y regulatorios que habiliten ciertas rutas o *pathways* de transición energética por sobre otras en el contexto chileno.

• Viabilidad técnica

El análisis de viabilidad técnica considerará como criterios relevantes el de tecnologías de producción de combustibles alternativos marítimos (TRL, logística y suministro a nivel local), TRL de los sistemas de propulsión, características energéticas de los combustibles alternativos e

incidencia para reacondicionamiento, y el potencial de reducción de emisiones de GEI.

Tecnologías de producción

Desde el análisis presentado en la subsección 2.1.2 respecto de las **tecnologías de producción** de combustibles en base a hidrógeno verde y sus derivados, se destaca que las cadenas de valor requeridas utilizan procesos y tecnologías maduras. Por otra parte, los combustibles analizados en el marco de la consultoría pueden ser separados en dos grupos:

- i. Combustibles que requerirán fuentes de CO₂: MeOH, e-Diesel y DME;
- ii. Combustibles libre de carbono: H₂ y NH₃.

Chile en particular posee **mejores condiciones para la producción de los combustibles libres de carbono (H₂ y NH₃)**, dándole flexibilidad de poder ser producido en múltiples regiones del país, destacando aquellas donde tenemos mejor recurso renovable como Antofagasta y Magallanes y la Antártica Chilena (Ministerio de Energía, 2020). Esto es una gran ventaja desde el punto de vista logístico, pues se pueden acercar los puntos de producción de H₂ o NH₃ a los puntos de consumo en los puertos del país. Por otro lado, la materia prima requerida es agua donde el principal desafío es el suministro sustentable, ya sea por medio de la desalinización de agua del mar o acceso de agua dulce, dependiendo de las escalas del proyecto.

En el caso del **MeOH, eDiesel y DME**, una restricción que se identifica es el acceso a las fuentes de CO₂ de origen biogénico a lo largo del país, concentrándose principalmente en la región del Biobío (H2V Biobío, 2024). Si bien las fuentes de CO₂ pueden provenir de captura directa de una fuente fija industrial o captura directa del ambiente, se debe considerar que habría un impacto del atributo ambiental dado el origen fósil del CO₂ en el caso industrial. Finalmente, la producción de MeOH verde es la más simple en comparación a la producción de DME y de e-Diesel, aunque es importante destacar la existencia de sinergias para “co-producir” Metanol y DME; y por otra parte, el impulso de la producción de combustibles sostenibles de aviación (Ministerio de Energía, 2024a) presenta sinergias con la obtención de e-Diesel como subproducto.

TRL de los sistemas de propulsión

La selección de los distintos sistemas de propulsión asociados a los energéticos considerados en el marco de la consultoría (H₂, NH₃, MeOH, DME, e-Diesel) deben poder contribuir a la descarbonización tanto para aquellas embarcaciones que aún les queda vida útil como para aquellas que requerirán ser renovadas por unidades nuevas. La Figura 23 presenta una proyección de TRL y disponibilidad para motores de combustión Interna (ICE, por su acrónimo en inglés) con combustibles marítimos alternativos (Ricardo, 2023). Se puede observar que al 2030 se espera que el e-Diesel y Metanol sean tecnologías de sistemas de propulsión comercialmente maduras, mientras que el uso de sistemas de propulsión con hidrógeno y amoníaco se esperan estén en operación comercial real desde el 2030 (TRL 9). Hacia el 2035, tanto el NH₃ como el H₂ se espera entren a la fase de tecnología madura.

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

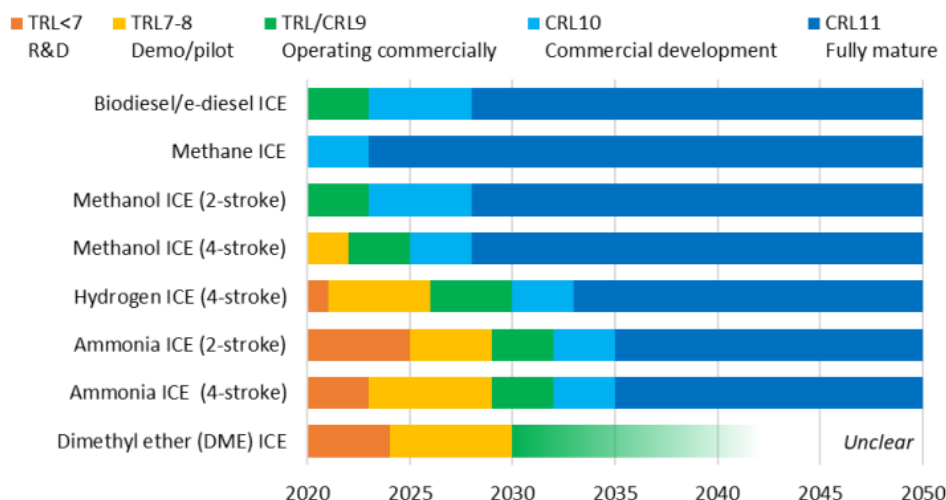


Figura 23: Proyección de TRL y disponibilidad para Motores de Combustión Interna (ICE) con combustibles alternativos. Recuperado del estudio de tecnologías de shipping y combustibles marinos (Ricardo, 2023).

A nivel de tendencias internacionales, al año 2024 se observa un incremento de embarcaciones **preparadas para el uso de combustibles alternativos**, conocido como **alternative-fuel-ready**⁹. A septiembre del 2024, el *orderbook*¹⁰ muestra más de 290 barcos metanol-ready, casi 30 barcos amoníaco-ready y alrededor de 30 embarcaciones de hidrógeno-ready. La mayoría de los barcos de metanol solicitados son buques portacontenedores, mientras que los graneleros y los petroleros dominan los pedidos de embarcaciones alimentadas por amoníaco. Por otro lado, el *orderbook* para embarcaciones de hidrógeno (tanto *fuel cell* como combustión) está caracterizado por la inclusión de barcos más pequeños, como remolcadores, cruceros y ferris (IEA, 2024).

Respecto a la flota actual al 2024, **existen ya en operación cerca de 50 embarcaciones metanol-ready**, de las cuales la mitad son petroleros o quimiqueros, mientras que aproximadamente dos tercios de las embarcaciones metanol-ready en pedido para el futuro son buques portacontenedores (IEA, 2024). En relación a embarcaciones que usen **amoníaco**, al 2024 el despliegue es de pilotos destacando el piloto de Singapur (Fortescue, 2024).

Considerando el escenario existente al 2023 de embarcaciones mayores en Chile (586 unidades): mercante, pesqueros, wellboats¹¹ y navales; los registros al 2023 muestran una **alta participación de embarcaciones con edades de 30 a 40 años** (DIRECTEMAR, 2024) (DIRECTEMAR, 2024a). Por ejemplo, en el caso de la flota mercante al año 2023 eran 243 unidades y casi el 40% eran de edades superiores a los 30 años; y en el caso de la flota naval al año 2023 eran 69 unidades y más del 50% eran de edades superiores a los 30 años¹². Preliminarmente, estos segmentos de edad son los más susceptibles a ser renovados en el país entre el 2025-2030 y que comercialmente podrían optar a soluciones metanol-ready (madura,

⁹ Este concepto se refiere a diseño de embarcaciones flexibles para una futura conversión a combustibles alternativos, pero que parten operando con combustibles fósiles, biodiesel, e-Diesel

¹⁰ Este concepto se refiere al número de nuevas embarcaciones pedidas que se encuentran en construcción o prontas a ser construidas.

¹¹ Los wellboats son embarcaciones de peces vivos.

¹² Más detalles de la tipificación de la flota nacional se presentan en la sección 2.2.

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

CRL 11) e hidrógeno-ready (TRL 9), dependiendo de las rutas y servicios que se deban atender.

Finalmente, la flota de **embarcaciones mayores de Chile con edades menores a 30 años** será susceptible a ser renovada hacia el 2035 en adelante, y que comercialmente podrían optar a soluciones amoníaco-ready (madura, CRL 11) e hidrógeno-ready (madura CRL 11), dependiendo de las rutas y servicios que se deban atender. Entre el 2025 y 2035 el desafío de esta flota es poder adaptar su uso o *retrofit*¹³ para e-Diesel y MeOH. El uso de DME completamente dedicado aun estaría en TRL 7, sin embargo, el DME se puede mezclar con MGO hasta 20-30% (v/v) con modificaciones menores al motor (EERA, 2024).

Características energéticas de los combustibles

Químicamente, los combustibles alternativos marítimos analizados presentan características y propiedades distintas (ver Tabla 5) las cuales impactan con mayor relevancia la factibilidad en el *retrofit* de embarcaciones existentes. En términos de diseño y construcción de naves marítimas, históricamente se ha considerado como variables de diseño los requerimientos de autonomía y tipo de servicios a ser brindados durante su vida útil. Luego, el *retrofit* de una embarcación que consume combustible fósil como MGO o HFO hacia un combustible marítimo alternativo con densidades energéticas menores (NH₃ o H₂ por ejemplo) tendrán impacto en incrementar el almacenamiento en caso de requerir mantener las autonomías, en desmedro de su capacidad de transporte (carga o pasajeros). Es así como algunas alternativas tecnológicas en el *retrofit* pueden ser muy intrusivas en términos de modificaciones, y por tanto muy costosas.

Tabla 5: Características técnicas de cada combustible analizado. Recuperado de The Engineering Toolbox (Engineering Toolbox, 2003)

Tipo de Combustible	Densidad	Higher Heating Value (HHV)			Lower Heating Value (LHV)		
Combustibles gaseosos	[kg/m ³] ¹⁴	[kWh/kg]	[MJ/kg]	[MJ/m ³]	[kWh/kg]	[MJ/kg]	[MJ/m ³]
Amoníaco	0.73	6.25	22.5	16.43	5.25	18.9	13.8
Hidrógeno	0.09	39.4	141.7	12.7	33.3	120	10.8
Gas Natural	0.78	14.5	52.2	40.6	13.1	47.1	36.6
Combustibles líquidos	[kg/l] ¹⁵	[kWh/kg]	[MJ/kg]	[MJ/l]	[kWh/kg]	[MJ/kg]	[MJ/l]
Metanol	0.791	6.39	23	18.2	5.54	19.9	15.8
Diésel	0.846	12.67	45.6	38.6	11.83	42.6	36
DME	0.665	8.81	31.7	21.1	8.03	28.9	19.2
Combustibles líquidos	[kg/l] ¹⁶	[kWh/kg]	[MJ/kg]	[MJ/l]	[kWh/kg]	[MJ/kg]	[MJ/l]
Heavy Fuel Oil	0.98	11.61	41.8	41	10.83	39	38.2

¹³ Este concepto se refiere a la modificación de embarcaciones existentes para incorporar nuevas tecnologías o incorporar el uso de combustibles alternativos.

¹⁴ Densidad considerando 0°C/32°F, 1 bar.

¹⁵ Densidad considerando 15°C/60°F, 1 bar.

¹⁶ Densidad considerando 15°C/60°F, 1 bar.

Tipo de Combustible	Densidad	Higher Heating Value (HHV)			Lower Heating Value (LHV)		
GNL	0.428	15.33	55.2	23.6	13.5	48.6	20.8
GLP	0.537	13.69	49.3	26.5	12.64	45.5	24.4
Marine Gas Oil	0.855	12.75	45.9	39.2	11.89	42.8	36.6

Considerando los valores de poder calorífico inferior de la Tabla 5, se observa que la densidad energética en condiciones normales de presión y temperatura, el hidrógeno y el amoníaco almacenan un 30% y 38% de la energía almacenada de un MGO por m³, respectivamente. En el caso de los combustibles alternativos que requieren fuentes de CO₂, el metanol y DME almacenan un 57% y 48% de la energía almacenada de un MGO por m³, respectivamente.

En el caso de las embarcaciones mayores existentes en Chile al 2023, el potencial *retrofit* de aquellas naves marítimas del segmento menor a 30 años¹⁷ presentará mayores retos si se considera hidrógeno o amoníaco, pues las intervenciones serán más intrusivas en la nave y además deberán evaluar si es factible adaptar su servicio, ya sea reduciendo autonomía o reduciendo capacidad de transporte efectivo (carga o pasajeros).

Potencial de reducción de emisiones

Como se analizó previamente, la transición energética y la descarbonización requerirá entender las emisiones de los distintos combustibles marítimos en el ciclo de vida, considerando tanto las emisiones de GEI asociadas a la producción (WtT o *Well to Tank*) como en el uso propiamente tal en el sistema de propulsión (TtP o *tank to propeller*, también TtW o *Tank to Wake*). La suma de ambos es lo que se conoce como *Well to Wake* (WtW). Para tener un marco comparativo de las emisiones relacionadas a los combustibles convencionales, la Figura 24 muestra la generación de CO₂ (g/MJ) para distintos combustibles considerando tanto fuentes fósiles, biológicas, y renovables. Considerando los valores de emisiones de CO₂ WtW, el **hidrógeno verde reduce prácticamente el 100% de las emisiones de CO₂ de un MGO** (del orden de 85 g/MJ). En el caso del **metanol con fuente biogénica de CO₂, la reducción de CO₂ es del orden del 90% respecto de un MGO**.

La Tabla 6 reúne la información relacionada a emisiones de CO₂ tanto para TtW como WtT para los combustibles considerados en el alcance de la consultoría junto con combustibles fósiles como MGO y HFO para facilitar la comparación y el entendimiento. En el caso de las emisiones de WtT, el rango se explica por la fuente de electricidad, que en caso de ser renovable sería cero emisiones.

¹⁷ Más detalles de la tipificación de la flota nacional se presentan en la sección 2.2.

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

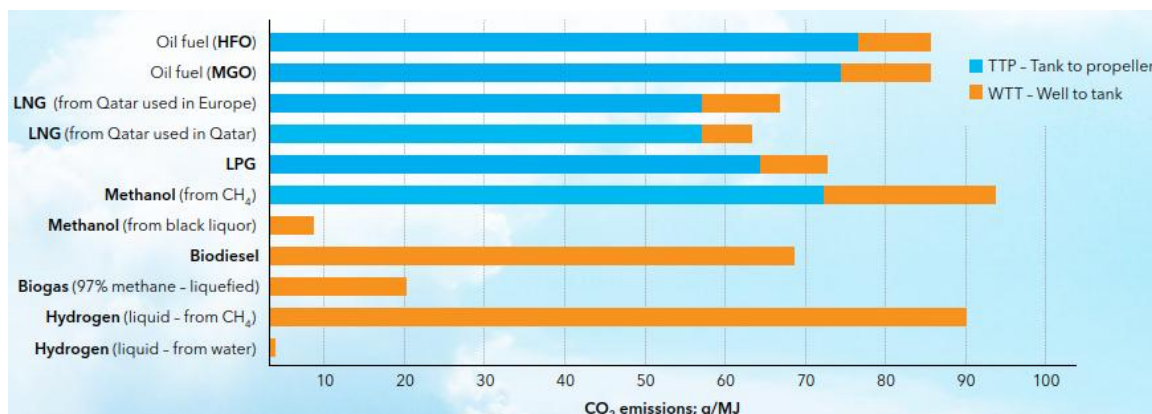


Figura 24: Emisiones de alternativas de combustibles para aplicaciones marítimas (DNV, 2018).

En complemento a la relación presentada en la Figura 24, se observa de la Tabla 6 que **la síntesis de DME con CO₂ biogénico implica una reducción de emisiones WtW análogas al metanol con fuentes biogénicas de CO₂**. En el caso del e-Diesel, se observa podría tener menores emisiones de TtW respecto de MeOH verde o DME, sin embargo, las emisiones WtT son mayores en su rango superior, dado que implicará mayor energía en su producción que podrían venir de una matriz eléctrica no renovable (Ricardo, 2023).

En el caso de Chile, considerando que la producción de los combustibles marítimos alternativos se basará en la producción de hidrógeno verde y energías renovables, desde el punto de vista de emisiones, se espera que el e-Diesel tenga un nivel similar o mayor de emisiones que el DME o MeOH verdes. Sin embargo, los aspectos de costos y capacidades de producción serán importantes de considerar al momento de escoger una alternativa de reemplazo en *retrofit*, por ejemplo.

Tabla 6: Emisiones generadas por los combustibles analizados en gCO_{2e}/MJ (Ricardo, 2023).

Combustible Marítimo Alternativo	Tank-to-Wake (gCO _{2e} /MJ)	Well-to-Tank (gCO _{2e} /MJ)
e-Hidrógeno	0 a 5	0 a 41
e-Amoníaco	0 a 14	0 a 41
e-Metanol	0 a 7	0 a 58
Bio- Metanol		2 a 19
Bio-DME		2 a 19
e-Diésel	1 a 4	0 a 58
Bio-Diésel		2 a 17
HFO	78	10 a 14
MGO	76 a 79	12 a 14

• Viabilidad económica

El análisis de viabilidad económica considerará como criterios relevantes el costo de producción de combustibles alternativos marítimos y los costos asociados a las embarcaciones (nuevas o *retrofit*).

Costos de combustibles marítimos

Los costos de los combustibles marinos fósiles han tenido una tendencia al alza desde el 2020

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

cuando ya entró en vigor el límite de contenido de azufre impuesto por la IMO. La Figura 25 muestra cómo han ido evolucionando los precios entre 2020 y 2024 para los principales combustibles marinos considerando los 20 puertos internacionales de mayor distribución. Se destaca que el **MGO es siempre el combustible más caro en términos relativos**, observándose un *peak* hacia junio del 2022, con un valor del orden de los 1400 USD/t. Por su parte, el IFO 380 es el combustible más barato comparativamente, y al igual que el MGO, se observó un *peak* hacia junio 2022 hacia junio del 2024 de 754 USD/t (Anave, 2024). Los conflictos geopolíticos han incidido en la gran variabilidad en los precios de los combustibles marinos, registrándose por ejemplo en el Puerto de Valparaíso un valor *spot* para MGO de 1013 USD/t en marzo del 2022 (Mundo Marítimo, 2024). Si bien al 2024 los combustibles marinos convencionales han vuelto a aproximarse a las cifras observadas al 2020, se vuelve evidente la inestabilidad en los precios producto de diversos factores como crisis de COVID, los conflictos geopolíticos entre Ucrania y Rusia, y cambio climático que afectan las rutas, entre otros; volviéndose muy relevante para el caso de **Chile el poder desarrollar un ecosistema propio de desarrollo energético marítimo vinculado al hidrógeno verde**, que contribuya a la seguridad energética y descarbonización.

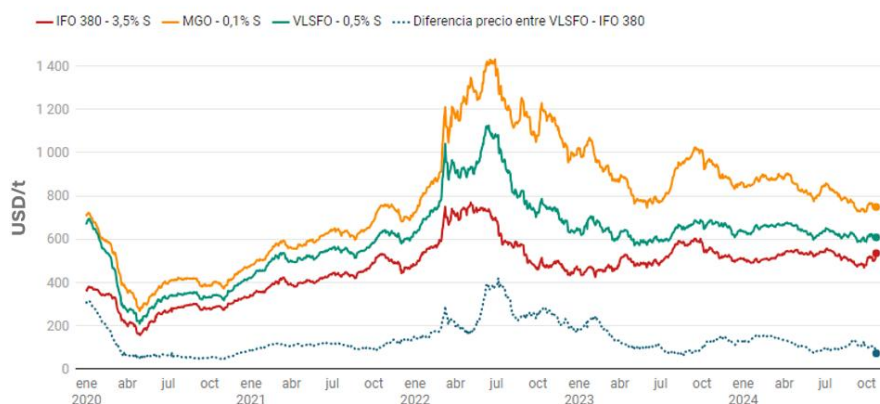


Figura 25 Evolución 2020-2024 de precios (USD/t) para combustibles marinos observados para los 20 puertos de mayor suministro en el mundo. Referencia (Anave, 2024)

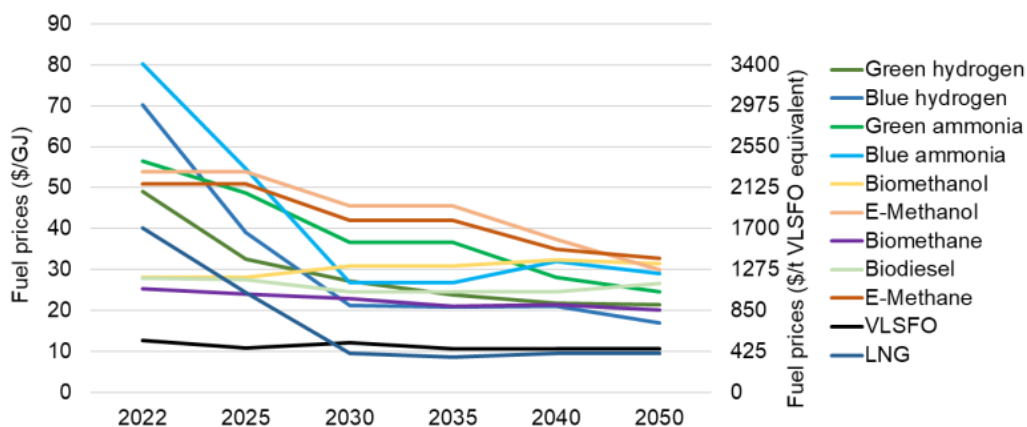


Figura 26: Proyección de costos de combustibles fósiles y alternativas de descarbonización. Recuperado de Ricardo (Ricardo, 2023).

En relación con los combustibles alternativos para la industria marítima, la Figura 26 muestra la proyección de costos al 2050 a nivel global para distintos combustibles marinos, tanto fósiles como sintéticos y libres de emisiones de CO₂, observándose una caída en los precios en

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

general para todas las alternativas, sin embargo, aun superior a los combustibles convencionales como el VLSFO o GNL. Se destacan los costos para el H₂ verde al 2050, los cuales se proyectan en valores en torno a los 20 USD/GJ (72 USD/MWh).

En este punto es relevante señalar el caso de Chile y su competitividad esperada en la producción de H₂ verde en el largo plazo. Al 2050, se espera que los costos de electricidad proyectados estén en torno a los 20 USD/MWh (ver Tabla 7). Para el caso de Chile, considerando las proyecciones de utilización de fuentes renovables para producir electricidad, se espera que los costos de electricidad sean incluso más bajos que los anteriormente mencionados, aunque variarán según la zona en que se produzca la energía y la tecnología utilizada para hacerlo. Considerando escenarios conservadores, en el 2050 se esperan costos de producción renovable de 14 USD/MWh para el Norte de Chile y 19 USD/MWh en la región de Magallanes y la Antártica Chilena.

Tabla 7: Proyección de costos de electricidad en Chile para 2050. Elaboración propia a partir de estudios realizados por el Oxford Institute for Energy Studies (Oxford Institute for Energy Studies, 2024).

Zona	Tecnología	Período	Optimista (USD/MWh)	Conservador (USD/MWh)
Norte de Chile (Atacama)	Fotovoltaica	Actual	42	42
		2030	15	30
		2050	12	14
Sur de Chile (Región de Magallanes y la Antártica Chilena)	Eólica	Actual	30	30
		2030	20	24
		2050	10	19

Lo anterior posiciona a **Chile en un nivel más competitivo** que las proyecciones internacionales señalada en la Figura 26, **proyectándose al 2050 costos de H₂ en torno a los 11 USD/GJ (40 USD/MWh)** como se presenta en la Figura 27 (IRENA, 2021), lo cual es similar a los costos proyectados de VLSFO al 2050 (ver Figura 26).

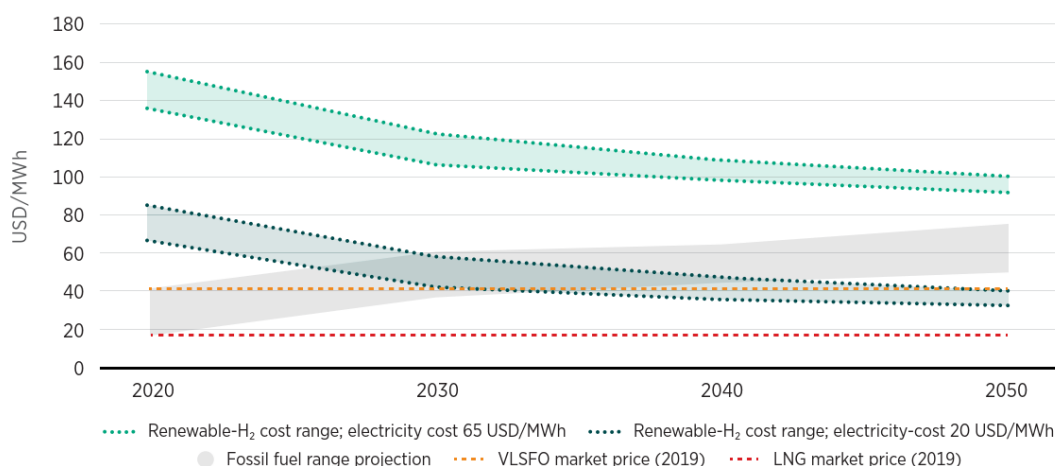


Figura 27: Proyección de costos de producción del hidrógeno verde. Recuperado del reporte de la IRENA para descarbonizar el sector marítimo (IRENA, 2021).

Las proyecciones presentadas por IRENA en la Figura 27 indican que el rango más bajo, de costos para el hidrógeno verde, y donde se espera que se posicione Chile, podría volverse más competitivo que el GNL y el Very Low Sulphur Fuel Oil (VLSFO) para 2030. Estas proyecciones de costos impactan igualmente las trayectorias de costos en la producción de

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

derivados como NH₃, MeOH, eDiesel y DME.

La Tabla 8 resume las proyecciones realizadas por IRENA al 2050 para H₂, Amoníaco, Metanol verde. Como se indicó previamente, estos valores son referencias que se podrían dar en un escenario conservador de costos de energía en Chile al 2050 (ver Tabla 7).

Tabla 8: Proyección de costos de hidrógeno, amoníaco y metanol verde, rango inferior considera costos de electricidad de 20 USD/MWh (IRENA, 2021)

Combustible Alternativo	Período	Costo (USD/MWh)	Costo (USD/GJ)
Hidrógeno Verde	2024		
	(optimista)	50 – 70	13.9 – 19.4
	(conservador)	120 – 140	33.3 – 38.9
	2030		
	(optimista)	40 – 60	11.1 – 16.7
	(conservador)	100 – 130	27.8 – 36.1
	2050		
	(optimista)	30 – 40	8.3 – 11.1
	(conservador)	90 – 100	25 – 27.8
Amoníaco Verde	2024	130 – 200	36.1 - 55.6
	2030	110 – 170	30.6 - 47.2
	2050	67 - 114	18.6 - 31.7
Metanol Verde	2024	140 – 260	38.9 - 72.2
	2030	130 – 230	36.1 - 63.9
	2050	107 - 145	29.7 - 40.3

Económicamente, el **amoníaco** presenta la mejor proyección de costos de cara al 2050 considerando vías de producción renovables, esperando que obtenga costos entre 67 y 114 USD/MWh. Por su parte, se proyecta que el **metanol verde** alcance al 2050, valores entre los 107 y los 145 USD/MWh. Si bien las trayectorias de costos de combustibles basados en H₂ y derivados tienden a la baja, aun podrían llegar a ser superior a las proyecciones al 2050 de VLSFO (40 USD/MWh), en ausencia de regulaciones que penalicen las emisiones, como las citadas en la subsección 2.1.1 para Europa (EUFuel Maritime, etc.).

En relación con el **e-Diesel** la Figura 28 presenta una proyección al 2050 de costos de producción para los dos principales hubs de Hidrógeno verde en Chile, Australia y EE.UU (Oxford Institute for Energy Studies, 2024). Se observa que al 2050, comparativamente los menores costos podrían darse en Chile, esperándose incluso una paridad con los combustibles marinos tradicionales, equivalente a una cifra mínima de costo del orden de **1 USD/kg (80 USD/MWh o 22 USD/GJ)**. Resulta interesante destacar que al 2030, el costo para el caso de Chile de producción de e-Diesel podría ser un 50% mayor que el costo de referencia para combustible marino convencional. Preliminarmente, podría haber sinergias con la futura industria de SAF a ser impulsada en Chile, para identificar reducciones de costos de e-Diesel dado que será un subproducto o *by-product*, según se explicó en el la subsección 2.1.2. El costo de diésel producido por Fischer-Tropsch (FT) se espera varíe entre 80 USD/MWh (22 USD/GJ) y 245 USD/MWh (68 USD/GJ) (Oxford Institute for Energy Studies, 2024).

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

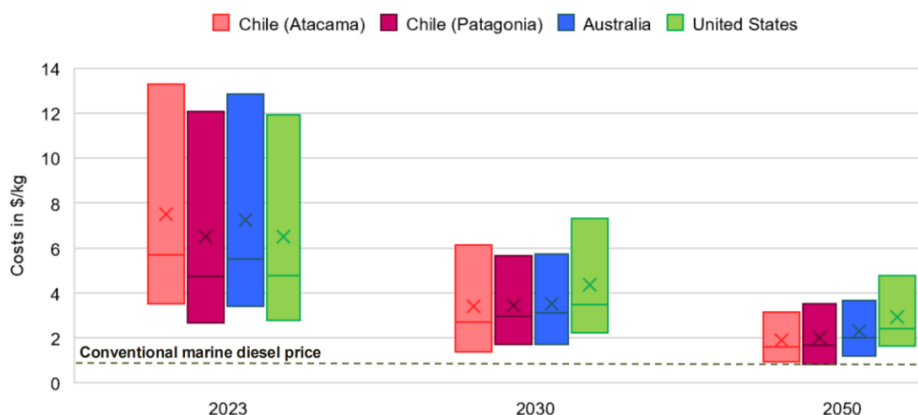


Figura 28: Estimación de costos de e-Diesel al 2050. Recuperado del Oxford Institute of Energy Studies (Oxford Institute for Energy Studies, 2024).

Finalmente, en relación con el **DME** y sus costos de producción, existe una diversidad de cifras que dependen de la fuente de CO₂, del tamaño de las plantas piloto, entre otros. En el caso del DME producido a partir de biomasa, se estiman unos costos de 37 USD/MWh (10 USD/GJ) a 109 USD/MWh (30 USD/GJ). En el caso de rutas basadas en H₂ verde o Power-t-DME, los costos se incrementan entre los 123 USD/MWh (34 USD/GJ) a 184 USD/MWh (51 USD/GJ) (Dieterich, Buttler, Hanel, Spliethoff, & Fendt, 2020). En el caso de Chile, se deberán hacer más estudios respecto de los costos de DME como co-producción junto al MeOH y seguir los resultados de la implementación de la iniciativa a ser pilotada en Antofagasta, con el proyecto ME-DME para minería.

Costos asociados a las embarcaciones

Debido a la transición energética y las metas de reducción de emisiones, las embarcaciones existentes deberán comenzar procesos de reconversión y adaptación a combustibles alternativos. Dependiendo de los costos asociados y la vida útil, se espera que algunas empresas transformen sus embarcaciones actuales y las adapten para utilizar combustibles de transición (azules, biogénicos, o *drop-in fuels*), mientras que otras opten por renovar la flota y adquirir embarcaciones de combustibles verdes.

Respecto a los costos de reconversión de los *drop-in fuels* analizados, se tiene que los sistemas e-Diesel no requieren adaptaciones propias para el funcionamiento de la embarcación y por lo tanto el costo de los sistemas de propulsión y las embarcaciones no varían. Por otro lado, dado que el DME no cuenta con suficiente bibliografía que demuestre su futura aplicación a embarcaciones 100% dedicada, sin embargo, el DME se puede mezclar con MGO hasta 20-30% (v/v) con modificaciones menores al motor (EERA, 2024).

Dadas las características de Chile, se espera que al 2050 se priorice la utilización de embarcaciones propulsadas por **amoníaco**, y dado que los motores respectivos tienen un nivel de desarrollo inferior comparados con los de metanol, y que también son más intrusivos para mantener una gran autonomía, no se considera un escenario de reconversión. El **costo de los motores a Amoníaco se estima que establecen un aumento del 25-30% en comparación con los buques convencionales**, optando por la construcción de nuevos buques por sobre un escenario de reconversión (EERA, 2024).

En el caso del **metanol**, combustible que también se espera que se utilice en Chile, aunque en menor cantidad que el amoníaco, los costos de **reconversión** de un buque diésel a metanol dual-fuel oscilan entre 270 y 700 USD/kW, mientras que la **construcción de nuevos**

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

buques propulsados por metanol se tiene un costo estimado de entre 300 y 600 USD/kW, un rango más acotado y con valores más bajos respecto a los motores de amoníaco (EERA, 2024).

Tabla 9: Costos actuales de reconversión y construcción de embarcaciones de amoníaco y metanol (EERA, 2024).

Combustible Alternativo	Retrofit de embarcación (USD/kW)	Retrofit Motores (USD/kW)	Motores nuevos (USD/kW)	OPEX (USD/MWh)
Amoníaco	-	200 - 424 ¹⁸	400 - 847	227 – 262 ¹⁹
Metanol	270 – 700	594	300 - 600	-

• Viabilidad regulatoria

La regulación nacional sobre los combustibles alternativos previamente analizados presenta brechas para poder permitir su aplicación como energéticos en el sector marítimo. En particular, hay tres regulaciones que deben actualizarse:

DECRETO SUPREMO Nº 103, DEL MINISTERIO DE ENERGÍA, DE 2019

El DS 103, del Ministerio de Energía, del 2019, establece las especificaciones de calidad de combustibles líquidos derivados del petróleo para uso marino. Específicamente fija las especificaciones y requisitos que deben cumplir los combustibles de las categorías petróleos diésel para uso marino (ver Anexo 6.1), y petróleos residuales para uso marino (ver Anexo 6.2), más no a hidrógeno o sus derivados.

Dado lo anterior, resulta importante actualizar este decreto para incorporar los combustibles sostenibles para futuras aplicaciones en embarcaciones, considerando tanto aquellos que se utilizarán en la flota nacional como aquellos que se utilizarán sólo para bunkering.

DECRETO SUPREMO Nº 132, DEL MINISTERIO DE MINERÍA, DE 1979

El DS 132, del Ministerio de Minería, de 1979, establece normas técnicas de calidad y de procedimiento de control aplicables al petróleo crudo, a los combustibles derivados de este, y a cualquier otra clase de combustibles (Ministerio de Minería, 2002).

Si bien se hace mención a “cualquier otra clase de combustibles”, y la Ley 2.224 declara al hidrógeno y sus derivados como tal, no se hace mención al hidrógeno o sus derivados, ni para la industria marítima ni otra.

El Plan de Trabajo de Regulaciones Habilitantes Para el Desarrollo de la Industria de Hidrógeno en Chile contempla la modificación de este decreto, con el fin de definir aspectos asociados a la comercialización del hidrógeno como energético, lo que afectaría a distribuidoras de combustibles/hidrógeno y a productoras que lo comercialicen. Se espera que este trabajo comience el primer trimestre del 2025 y sea llevado a cabo por el Ministerio de Energía (actual responsable del DS 132/79) (Ministerio de Energía, 2024).

Se recomienda aprovechar la oportunidad de la modificación de este decreto para que se incorporen los derivados del hidrógeno (especialmente los analizados en este informe: Amoníaco y Metanol) y otros combustibles alternativos, de forma que afecte también a los *drop-in fuels* analizados (Diésel Sintético y DME).

¹⁸ Se estima que los costos de *retrofit* de una embarcación de amoníaco es mayor al 50% del costo total de una embarcación nueva (EERA, 2024), por lo que se asume que el costo de adaptación de un motor es también mayor al 50% del costo de un motor nuevo.

¹⁹ Se espera que se puedan reducir a alrededor de 162 prontamente (EERA, 2024).

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

Además de esta modificación, en el Plan se sugiere modificar otros Decretos y Normas. Una de ellas es la Resolución 96 de 1997.

RESOLUCIÓN Nº 96, MINISTERIO DE TRANSPORTES Y TELECOMUNICACIONES, DE 1997

La Resolución 96 del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, junto con la Subsecretaría de Transportes, y la Empresa Portuaria de Chile, titulada “Actualiza y modifica reglamento de manipulación y almacenamiento de cargas peligrosas en recintos portuarios”, enmarca los productos que se pueden manipular y almacenar en las zonas portuarias. En particular, se mencionan explosivos, líquidos inflamables, sustancias oxidantes, sustancias venenosas, materiales radioactivos, gases, sólidos inflamables, sustancias corrosivas, y sustancias peligrosas diversas de cierta clase y que cumplan con ciertos parámetros o estén clasificadas de cierta forma. La Resolución no hace mención específica a algún combustible en particular, por lo que se deberá corroborar que las características restrictivas no incluyen a los combustibles alternativos analizados en este reporte, pero sí consideran incorporarlos (Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, 1997).

Según el Plan de Trabajo de Regulaciones Habilitantes Para el Desarrollo de la Industria de Hidrógeno en Chile, la Resolución se considera un reglamento que se encuentra fuera del marco de sus competencias actuales, considerando la variedad de combustibles que existen y que se han utilizado al día de hoy, como el amoníaco o el metanol, pero se desestimó incorporar la modificación al Plan de Trabajo (Ministerio de Energía, 2024) puesto que no cabe dentro de las competencias del MTT, por lo que podría competirle a la Armada realizar o promover esta actualización.

2.1.4. Conclusiones y recomendaciones

A continuación, se presentan las principales conclusiones específicas y recomendaciones referidas a las subsecciones 2.1.1, 2.1.2 y 2.1.3 desarrollados previamente:

Influencia en Chile sobre las metas y regulaciones existentes para la descarbonización del sector marítimo

Las iniciativas de la IMO y la Unión Europea buscan reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en el transporte marítimo, promoviendo el uso de combustibles alternativos de bajas o cero emisiones como el metanol y amoníaco verde, respectivamente. La IMO estableció metas de reducción de emisiones de 40% para 2030 y 100% para 2050, estableciendo un camino riguroso para la industria marítima global. Esto incluye el transporte marítimo internacional y el cabotaje, con evaluaciones periódicas que aseguran un avance constante hacia estos objetivos a través de políticas como el Indicador de Intensidad de Carbono (CII), el Índice de Eficiencia Energética para Buques Existentes (EEXI) y el Índice de Eficiencia Energética para Buques Nuevos (EEDI).

Por su parte, la Unión Europea con su paquete *Fit for 55*, implementa regulaciones críticas como el *EU ETS* y *FuelEU Maritime*, que establecen metas y medidas mandatorias para la descarbonización del transporte marítimo al desincentivar el uso de combustibles convencionales. Estas medidas afectan a buques que realizan viaje entre puertos de la UE, pero también a aquellos viajes entre puertos de la UE y terceros países, que pudiese ser Chile.

En Chile, se han adoptado políticas como la Estrategia Climática a Largo Plazo y la Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde, que busca habilitar la producción local de combustibles alternativos. La adopción de hidrógeno y otros combustibles alternativos, junto con energía eléctrica, es clave para la descarbonización.

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

Chile debe continuar fortaleciendo su infraestructura y su marco regulatorio, junto con fomentar la colaboración entre gobierno, industria y academia para impulsar la innovación y desarrollar soluciones tecnológicas que permitan una transición energética sostenible y efectiva. Modelos de países como Noruega, Dinamarca y Singapur son relevantes para Chile, que tiene el potencial de convertirse en un centro estratégico para combustibles limpios en el sector marítimo.

Potencial hidrógeno verde y sus derivados para la descarbonización del sector marítimo

Actualmente, las tecnologías para la producción de combustibles han alcanzado un alto grado de desarrollo, con diversas rutas tecnológicas avanzadas según el tipo de combustible. Los electrolizadores alcalinos y PEM son las opciones más maduras (TRL 9) para la producción de hidrógeno, mientras que el proceso Haber-Bosch lidera la producción de amoníaco. En el caso del metanol, se encuentra en etapas avanzadas de demostración (TRL 7-8), previo a su entrada al mercado, y el diésel sintético producido por el proceso Fischer-Tropsch tiene un desarrollo comparable al hidrógeno y el amoníaco. Por su parte, el DME, aunque cuenta con una ruta indirecta completamente desarrollada (TRL 9), requiere avanzar en las rutas de síntesis directa (TRL 5-6).

En el sector marítimo, las alternativas de combustibles varían en madurez y adaptabilidad. Los sistemas de propulsión con hidrógeno, aunque avanzados, enfrentan desafíos logísticos, como su almacenamiento, limitando su uso a embarcaciones de corto alcance. En cuanto al amoníaco, aunque su uso en motores aún está en desarrollo (TRL 5-8), ya se han logrado avances como la primera recarga exitosa en el Fortescue Green Pioneer. En Chile, el amoníaco es clave para los corredores marítimos verdes, como las rutas de exportación a Perú y Asia.

El metanol, con un nivel de desarrollo tecnológico consolidado (TRL 9), ya tiene un mayor número de embarcaciones en operación que el amoníaco. Sin embargo, en Chile su proyección a largo plazo es limitada debido a la necesidad de fuentes de CO₂ biogénico para su producción, aunque se espera que participe en corredores marítimos verdes, aunque con menor presencia que el amoníaco.

El e-diésel, pese a ser compatible con motores existentes y tener beneficios ambientales, enfrenta retos como costos de producción elevados, infraestructura limitada y falta de regulación. Su adopción dependerá del desarrollo de políticas claras y subsidios al carbono (Oxford Institute for Energy Studies, 2024). En Chile, podría ser un combustible transitorio con sinergias con la industria del SAF debido a procesos compartidos.

El DME, a pesar de contar con tecnología relativamente avanzada para embarcaciones (TRL 6), los pilotos y proyectos que se han llevado a cabo para producirlo y aplicarlo en la industria del transporte se han centrado en opciones de transporte terrestre y no en marítimo, lo que permite concluir que en caso de utilizarse para transporte marítimo, será necesario un mayor tiempo de implementación con respecto a otras alternativas.

Finalmente, si bien existen suficientes alternativas para descarbonizar el sector marítimo, uno de los desafíos es la velocidad de reconversión de los astilleros. Una capacidad limitada presentaría un problema crítico para llevar a cabo conversiones masivas a sistemas de combustibles cero emisiones.

Alternativas de descarbonización y su viabilidad en el contexto nacional

Uno de los principales desafíos para la descarbonización del sector marítimo está en las múltiples alternativas de combustibles alternativos que existen. Si bien la elección no tiene una

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

respuesta única, el análisis de viabilidad realizado para el contexto marítimo Chileno se basa en dos premisas de interés para la **Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad al 2050**:

- i. Habilitar y fortalecer las condiciones para la generación de un modelo de desarrollo energético marítimo vinculado al hidrógeno desde la Armada de Chile.
- ii. Contribuir a la visión de la Armada de asegurar el suministro energético de su operativa, en base a recursos renovables, lo que se justifica por el valor estratégico para el desarrollo productivo del país y para la defensa

En este contexto, Chile posee grandes ventajas **tecnico-económicas** pero también desafíos en la priorización de rutas o *pathways* de descarbonización:

- ▶ Chile debe mantener su rol en el bunkering internacional y perfilarse como hub energético sostenible. Considerando su competitividad en la producción de H₂ verde y derivados, **deberá acondicionar su cadena de suministro de bunkering para poder proveer tanto de Amoníaco verde y Metanol verde a los buques de transporte logístico internacional**. Si solo se prioriza el amoníaco se puede perder participación en el mercado del bunkering dado que la madurez tecnológica de las embarcaciones a amoníaco recién se empezará a dar en el 2035.
- ▶ A nivel nacional, **las estrategias de descarbonización deben considerar horizontes temporales**. Entre 2025 y 2035, las embarcaciones mayores deberían adoptar diseños *metanol-ready* e *hidrógeno-ready*, y a partir de 2035, priorizar *amoníaco-ready* e *hidrógeno-ready*, según las rutas y servicios.
- ▶ La reducción de emisiones en **flotas operativas entre 2025 y 2035 enfrentará principalmente el desafío de altos costos de combustibles alternativos**. El e-Diesel, aunque menos intrusivo y con sinergias con proyectos de SAF, requiere mecanismos para reducir sus costos, ya que podría ser hasta 50% más caro que los combustibles convencionales al 2030.
- ▶ En línea con el punto anterior, el **rol potencial que podría tener el DME sería como drop-in fuels**. El uso de DME completamente dedicado aun estaría en TRL 7, sin embargo, el DME se puede mezclar con MGO hasta 20-30% (v/v) con modificaciones menores al motor. Los costos de producción de DME observados de la literatura son muy variados y en el orden de magnitud para configuraciones Power-to-DME.

En relación a la **viabilidad regulatoria**, la principal brecha es que **al 2024 ningún combustible alternativo, ya sea hidrógeno verde y derivados, puede ser comercializado y utilizado en Chile para aplicaciones marítimas**. Por lo anterior, es necesario actualizar la regulación para reconocerlos como combustibles marítimos, establecer estándares de calidad, y garantizar su manejo y almacenamiento seguros para cabotaje, bunkering y exportación. Preliminarmente, este proceso involucrará a diversos actores como el Ministerio de Energía, la SEC, el Ministerio de Transportes, la Armada, ENAP y empresas distribuidoras.

Finalmente, **la regulación podría tomar un rol relevante al 2030 para cerrar la brecha de costos diferenciales entre los combustibles alternativos basados en hidrógeno respecto del MGO o IFOs**. Chile podría adoptar estrategias europeas que limiten emisiones de GEI en el transporte marítimo, complementándolas con incentivos para dinamizar inversiones, cumplir metas de la IMO y consolidar su rol como hub energético en el mercado internacional del bunkering.

2.2. Diagnóstico de la Industria Marítima en Territorio Nacional

Esta subsección se basa en el análisis realizado para realizar el **Diagnóstico de la Industria Marítima en Territorio Nacional**, que busca diagnosticar la industria marítima en el territorio nacional, en términos de sus embarcaciones y de su demanda energética para establecer una línea base sobre la que se puedan desarrollar estrategias de descarbonización del sector, considerando tanto las regiones de interés para el alcance de la consultoría (Antofagasta, Valparaíso, Biobío, Los Lagos, Magallanes y la Antártica Chilena); como las temporalidades de la Hoja de Ruta (2030, 2040, 2050).

Para lograr el objetivo antes mencionado, se tipificaron las embarcaciones de la actual flota nacional con potencial de uso de hidrógeno y sus derivados, caracterizando las que operan en territorio nacional e identificando los segmentos con mayor potencial para la adopción de hidrógeno verde y sus derivados.

Posteriormente, se analizó la demanda energética de la industria marítima tanto nacional como internacional en operaciones de cabotaje a lo largo del país, considerando proyecciones de demanda energética en los horizontes de tiempo estipulados.

Lo anterior permitió tipificar cinco puertos priorizados dentro de las regiones de interés (Antofagasta, Valparaíso, Biobío, Los Lagos, Magallanes y la Antártica Chilena); que por sus características cuentan con condiciones comparativamente favorables como potencial para realizar no solo operaciones de bunkering de energéticos cero emisiones, sino que también la exportación de estos vectores energéticos a otras geografías.

2.2.1. Diagnóstico de la flota marítima en territorio nacional

En 2023, **586 unidades conformaron la flota marítima de embarcaciones mayores entre ellas flota mercante, flota pesquera, wellboat y flota naval**, tal como se observa en la Figura 29. Las embarcaciones con actividad mercante representan el 42%, seguida por la industria pesquera con un 33%. El porcentaje restante hace referencia la flota *wellboat* (13%) y la naval (12%). En el país existen otras embarcaciones menores, aunque el análisis se enfocó en analizar las embarcaciones mayores.

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

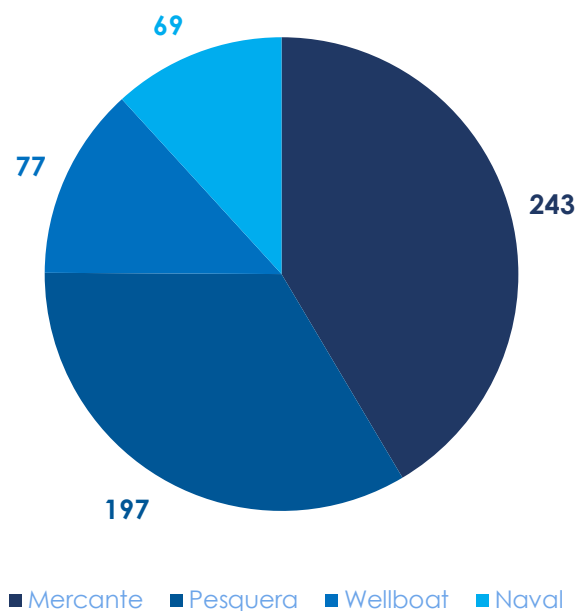


Figura 29: Flota marítima con operaciones en Chile, segmento Mercante, Pesquera, Wellboat y Naval. Fuente: Elaboración propia con datos del Boletín Estadístico Marítimo y la página web de DIRECTEMAR (DIRECTEMAR, 2024a)

La distribución etaria de la flota de embarcaciones mayores a nivel nacional se encuentra provista en la Figura 30. Del total de embarcaciones, hay 10 que no cuentan con información actualizada respecto a su edad, por lo que la figura sólo muestra la distribución de 576 navíos mayores.

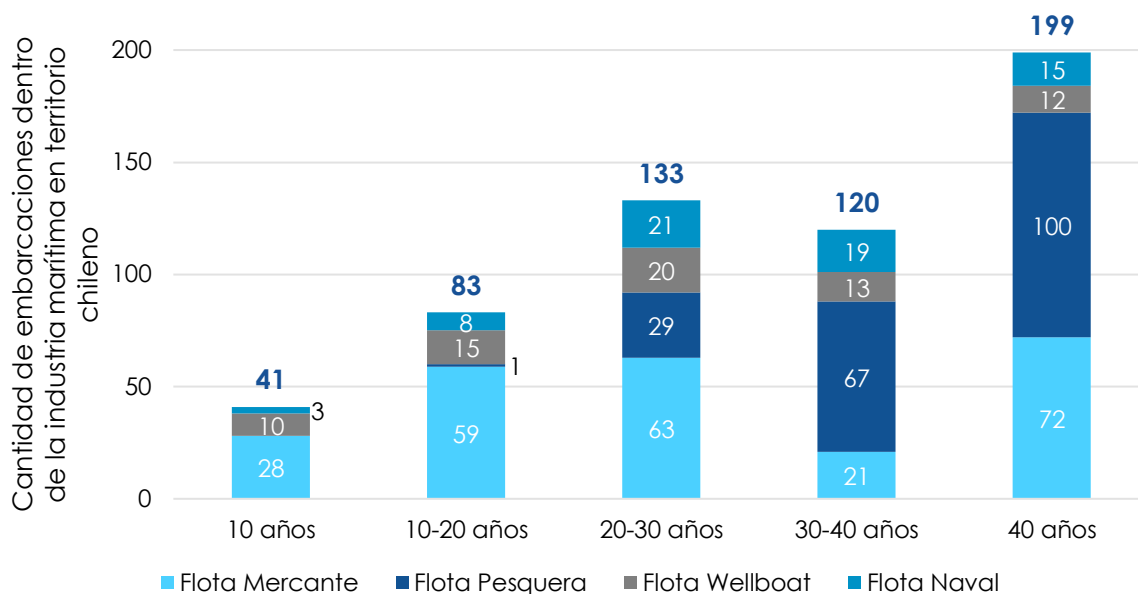


Figura 30: Distribución etaria de las embarcaciones mayores de la flota nacional. Fuente: elaboración propia con datos del Boletín Estadístico Marítimo 2023 de DIRECTEMAR (DIRECTEMAR, 2024)

De la Figura 30 se puede apreciar que la mayor cantidad de barcos tienen un alto grado de antigüedad (**más de 40 años**). En particular, las 199 embarcaciones corresponden a **34%** del total nacional. El segundo rango etario de mayor concentración es el de **20 a 30 años**, que concentra un **23%** de las embarcaciones, y el tercero es el rango entre **30 y 40 años**, con un **20%** del total nacional.

Las embarcaciones mayores a 30 años (es decir, agrupando los dos últimos segmentos) son las más susceptibles a ser renovadas en el corto plazo, que suman un total de 319 embarcaciones (**54% del total**). Dado que se busca promover la transición energética en la industria marítima, se debe evitar el **lock-in tecnológico**²⁰ con la entrada de nuevas embarcaciones convencionales que no sean equipadas desde su origen con sistemas de propulsión y almacenamiento para combustibles sostenibles como el hidrógeno o derivados.

Dado el contexto anterior, a continuación, se concentra el análisis de los segmentos de la flota mercante de mayor edad (> 30 años) considerando el tipo de embarcación, capacidad de carga (TDW y AB), desplazamiento, ubicación y armadores. Dentro de este rango etario, un 52% corresponde a la flota pesquera, un 29% a la flota mercante, un 11% a la flota naval, y un 8% a la flota wellboat, lo que muestra que más del 80% de la flota mayor a 30 años está compuesta por embarcaciones de la flota pesquera y mercante. Estas se distribuyen como se muestra en la Tabla 10.

Tabla 10: Distribución de flota superior a los 30 años de edad y principales hallazgos según tipo de flota. Elaboración propia a partir de información obtenida del BEM (DIRECTEMAR, 2024).

Tipo	Rango entre 30 y 40 años	Más de 40 años
Flota Mercante	21 embarcaciones: • 4 de carga general propiedad del Armador Transportes Marítimos Kochifas y con TDW <10.000. • 3 de carga general y pertenecen al Armador Detroit, con TDW <10.000. • 5 son embarcaciones de carga general atomizadas en su propiedad y variación homogénea en TDW. • 5 son transbordadores de <500 TDW • 3 unidades de Pasaje Cabotaje con <500 TDW • 1 embarcación de Carga Rodada con TDW entre 2.000-10.000.	72 embarcaciones • 21 embarcaciones de carga general propiedad del Armador Transportes Marítimos Kochifas y con TDW <2.000. • 34 unidades de carga general, el 50% con TDW entre 500 y 2.000 y pertenecientes a 22 armadores, distribuidos entre 1 y 3 embarcaciones. • 8 son transbordadores con <2.000 TDW. • 9 unidades están atomizadas por tipología de embarcación (Para fines Especiales, Embarcación Deportiva Costera, Pasaje Cabotaje, etc) y armador.

²⁰El lock-in tecnológico se refiere a las dificultades para adoptar alternativas tecnológicas más eficientes o beneficiosas debido a la predominancia de la tecnología actualmente implementada. Este fenómeno puede surgir de una combinación de factores, como la infraestructura existente, los altos costos de cambio, y los retos asociados con la transición, que consolidan la posición de la tecnología dominante y dificultan la incorporación de nuevas soluciones (Foxon, 2013)

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

Flota Pesquera	67 embarcaciones • 36 de ellas ubicadas en la región central, concentradas en Talcahuano (14 unidades) y San Vicente (12 unidades), y con distribución homogénea de arqueos brutos entre <300 y 1500. • 21 unidades operan en norte, de los que se resalta Iquique con 13 embarcaciones con AB entre 301 y 600 • 10 embarcaciones operativas en el sur, el 40% en Punta Arenas y con distribución homogénea de arqueos brutos entre <300 y 1500.	100 embarcaciones • 66 operando en la región central, concentradas en Talcahuano (21 unidades) y San Vicente (10 unidades) con distribución homogénea de arqueos brutos entre <300 y 1500. Mientras que, Coquimbo presenta 11 unidades, todas con <300 AB. • 28 unidades operan en puertos norte, de los que se resalta Iquique con 16 embarcaciones con AB entre 301 y 900. • 6 embarcaciones operativas en el sur, 5 de ellas en Punta Arenas y con distribución homogénea de arqueos brutos entre <300 y 1500.
Flota Wellboat	13 unidades • 8 de ellas con operaciones en Puerto Montt, y con distribución homogénea de arqueos brutos entre <500 y 2.500. 4 de estas 8 unidades son propiedad de Cpt Empresas Marítimas. • 4 de ellas con distribución homogénea de arqueos brutos entre <300 y 1500 y atomizadas en Coquimbo, Valparaíso y Coronel con 2 unidades. • 1 opera en Corral de la región sur.	12 embarcaciones • 4 con operaciones en Puerto Montt, y con distribución homogénea de arqueos brutos entre <500 y 2.500. • 4 unidades distribuidas en San Antonio y San Vicente con distribución homogénea de arqueos brutos entre <300 y 1500. • 4 embarcaciones atomizadas en Puertos de Quintero, Valparaíso, Mejillones y Punta Arenas.
Flota Naval	19 embarcaciones • 1 petrolero de servicios auxiliares con desplazamiento mayor a >15.000 T (el mayor de todo el segmento naval) y >5.000 de HP en potencia • 7 fragatas de Combate con desplazamiento entre 1.000 y 5.000 T. • 7 patrulleros marítimos: 4 de Clase Taitao y 3 Clase Protector, con <1.000 T desplazamiento y con potencia entre 1.000 y 3.000 HP. • 2 transbordadores marítimos con <1.000 T • 2 embarcaciones auxiliares:	15 embarcaciones • 1 petrolero de servicios auxiliares con desplazamiento mayor a >15.000 T (el mayor de todo el segmento naval) y >5.000 de HP en potencia • 5 embarcaciones auxiliares atomizadas entre Barcaza (2), Buque de Rescate y Salvataje (1), Buque Escuela (1) y Remolcadores (1). Estas embarcaciones con <5.000 en desplazamiento y potencia. • 3 lanchas de Acción Marítima de Combate con <1.000 t de desplazamiento y >5.000 HP de potencia. • 4 embarcaciones marítimas distribuidas entre Lancha patrullera (2), Transbordador (1) y Reliquia Histórica (1). • 2 submarinos con desplazamiento de

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

	barcaza y de transporte con entre 1.000 y 5.000 T.	<5.000 T, y potencia entre 3.000 y 5.000 HP.
--	--	--

De la información impartida anteriormente, las 3 categorías que concentran una mayor concentración de navíos son la flota pesquera con más de 40 años de antigüedad, la flota mercante con más de 40 años de edad, y la flota pesquera entre 30 y 40 años.

La flota pesquera con más de 40 años concentra la mayor cantidad de embarcaciones a nivel nacional (un 17% del total, correspondiente a 100 navíos). En particular, destaca un 64% con arqueo bruto (AB) menor a 300. De las restantes, 15 unidades responden a AB entre 301 y 600, mientras que otras 11 al rango entre 601-900.

Por otro lado, para la flota mercante con más de 40 años se registran 72 unidades, lo que corresponde a un 12% del total de embarcaciones mayores a nivel nacional. De estas, el 53% (38 embarcaciones) tiene una capacidad de carga inferior a 500 TDW, mientras que un 44% (32 embarcaciones) se ubica en la categoría de 500 a 2.000 TDW, y sólo un 3% tiene capacidad mayor a 2.000 TDW.

Finalmente, en la categoría de flota pesquera para edades entre 30 y 40 años se encuentran 67 unidades, lo que corresponde a un 11% del total nacional. En cuanto al arqueo bruto, el mayor porcentaje se concentra en el rango de 301-600 (30% que corresponde a 30 unidades), seguido por el rango de 601-900 (16% equivalente a 16 unidades), lo que sugiere que las unidades de 30 a 40 años tienden a ser de arqueo bruto mediano comparativamente.

2.2.2. Demanda energética de la industria marítima

Estimar la demanda energética de la industria marítima se hace necesario para estimar el requerimiento de energía correspondiente a la flota tanto nacional que realice actividades de cabotaje y pesca, como a la flota internacional que esté operando dentro de territorio chileno. Esta demanda permitirá cuantificar los volúmenes de combustibles necesarios provenientes del hidrógeno verde y sus derivados, para los distintos horizontes de tiempo de acuerdo con diferentes escenarios de adopción.

La demanda estimada de la industria marítima en territorio nacional, considerando tanto el segmento nacional como el internacional, se presenta a continuación. Estos datos han sido obtenidos a partir de información proporcionada por el Ministerio del Medio Ambiente y el DNV (Figura 31).

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

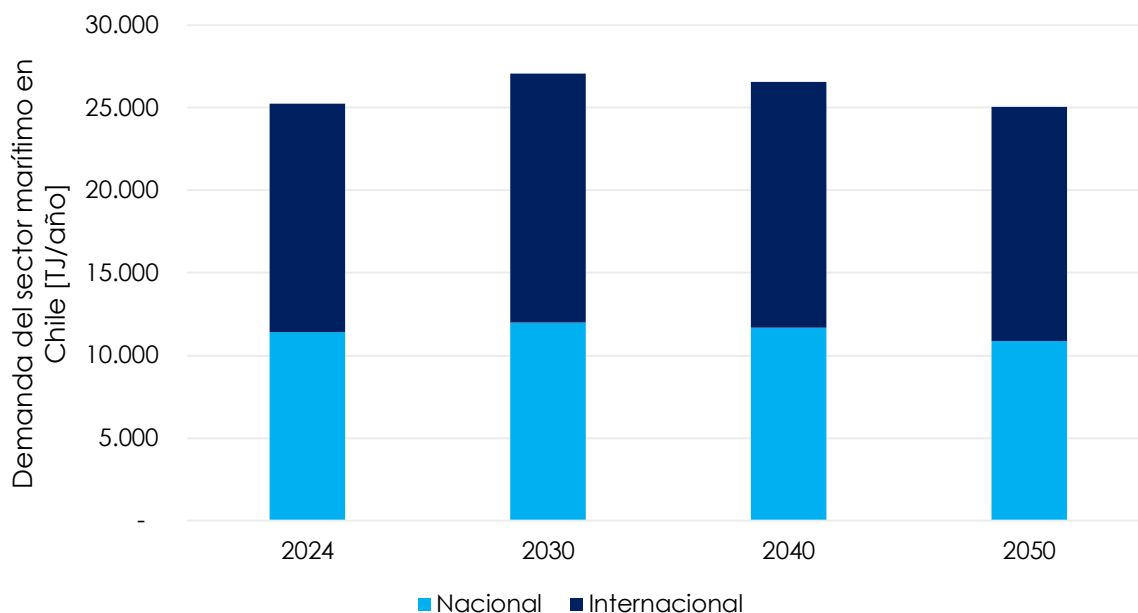


Figura 31: Estimaciones del comportamiento de la demanda energética de la industria marítima que opera en Chile para los años 2024, 2030, 2040 y 2050. Fuente: elaboración propia a partir de información de (Ministerio del Medio Ambiente, Informe del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero 1990 - 2020, 2022) y (DNV, 2024).

En el **segmento nacional** del sector marítimo en Chile, las embarcaciones utilizan principalmente petróleo diésel (DMA) y petróleo combustible (IFO), con una distribución aproximada del 80% para el diésel y casi un 20% para el petróleo combustible.

Se proyecta que, a partir de la década de 2030, la intensidad energética del sector nacional alcanzará un pico de demanda, seguido de una disminución progresiva impulsada por la implementación de medidas de eficiencia energética, tal como se puede observar en la Figura 32.

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

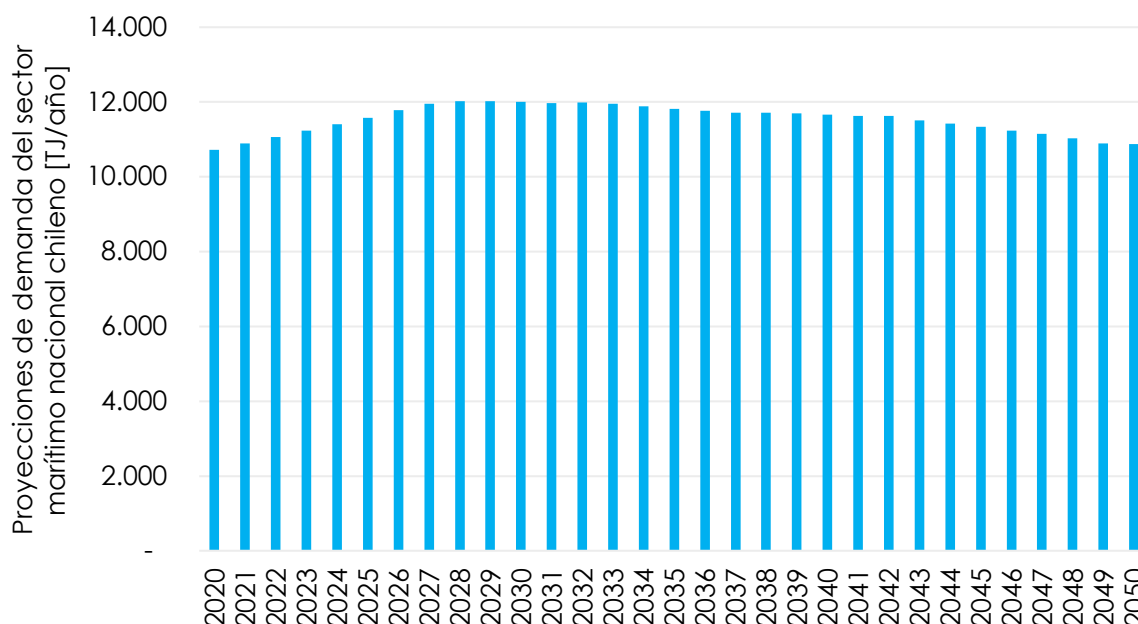


Figura 32: Proyecciones de demanda energética nacional del sector marítimo chileno. Fuente: elaboración propia con información de (Ministerio del Medio Ambiente, Informe del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero 1990 - 2020, 2022) (DNV, 2024)

Además, considerando la intensidad energética asociada al cabotaje (en cuanto a cantidad de carga movilizadora y distancia recorrida) dentro del territorio chileno, se prevé que la demanda de combustibles continúe concentrándose principalmente en las costas de las regiones de Valparaíso (27%), Magallanes y la Antártica Chilena (24%), Biobío (19%) y Atacama (15%), las cuales representan en conjunto aproximadamente el 85% de la demanda total del sector marítimo nacional.

En cuanto al **segmento internacional**, es importante destacar que la entrega de combustibles como diésel marino y petróleo combustible muestra un comportamiento inverso al del sector de navegación nacional. En embarcaciones de mayor tamaño y recorridos más largos, el petróleo combustible (IFOs de diversas viscosidades) se utiliza predominantemente para la propulsión, mientras que el diésel marino se emplea en motores auxiliares para la generación eléctrica, donde la demanda energética es menor. Como resultado, los IFOs representan aproximadamente el 90% del combustible entregado a embarcaciones internacionales, mientras que el diésel marino constituye cerca del 10%.

Las medidas de eficiencia energética no solo impactan al sector nacional, sino también al internacional. Siguiendo un comportamiento similar al descrito anteriormente, se espera que el segmento internacional alcance un pico en la demanda energética a comienzos de la década de 2030, tras lo cual comenzará una disminución gradual gracias a la implementación de estas medidas (ver Figura 33).

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

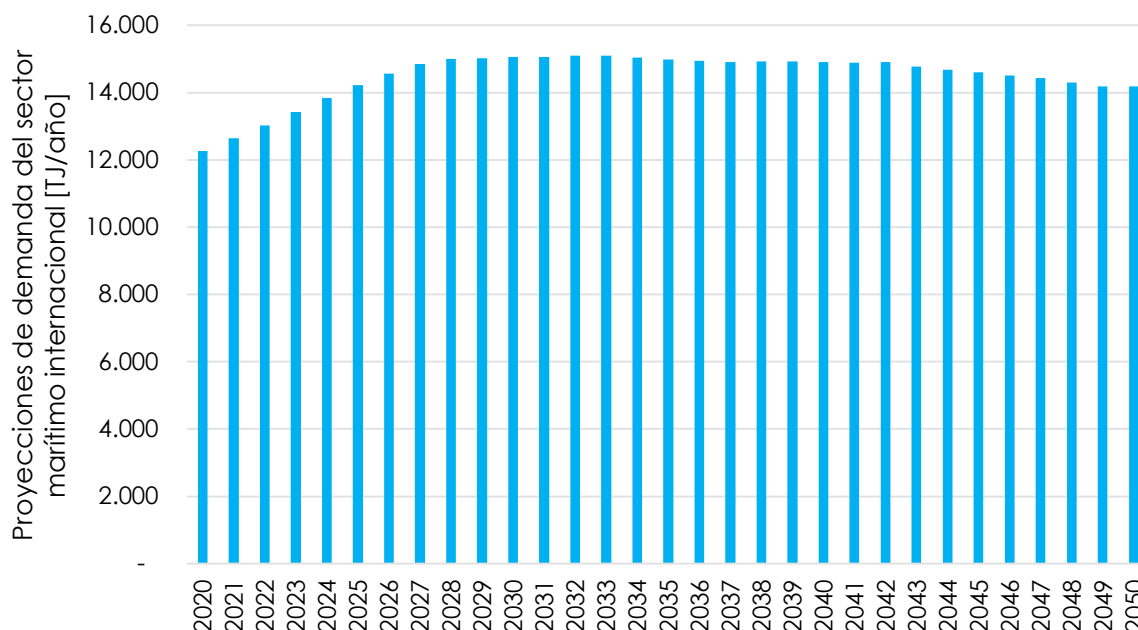


Figura 33: Proyecciones de demanda energética internacional del sector marítimo chileno. Fuente: elaboración propia con información de (Ministerio del Medio Ambiente, Informe del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero 1990 - 2020, 2022) (DNV, 2024).

Asimismo, es relevante destacar que las exportaciones de Chile se dirigen principalmente a países como China (44,1%), Estados Unidos (16,5%), Japón (7,6%), Brasil (5,1%), Corea del Sur (4,8%) y Perú (1,9%). Esta dinámica está directamente relacionada con la intensidad energética de los viajes realizados por las embarcaciones en operaciones internacionales que parten desde territorio chileno.

En este contexto, algunos de los principales socios comerciales de Chile también se destacan como hubs marítimos de bunkering: Japón, que suministra 4 Mt de combustible bunker al sector marítimo (equivalente a casi 15 veces la demanda internacional del sector marítimo chileno), y Corea del Sur, con aproximadamente 6,3 Mt entregadas (23 veces la demanda en territorio nacional). Además, aunque no figuran entre los principales destinos de exportación de Chile, existen hubs de bunkering de importancia mundial, como Singapur, que en 2022 suministró 48 Mt de combustible bunker, y Panamá, un punto estratégico más cercano a Chile, con 5,2 Mt entregadas (TFG Marine, 2024)

2.2.3. Tipificación de puertos

Para tipificar puertos en el territorio nacional, se seleccionaron aquellos que cuentan con condiciones favorables para realizar tanto operaciones de bunkering como también exportación de los vectores energéticos analizados a otras geografías, considerando cinco regiones.

La selección de las regiones (Antofagasta, Valparaíso, Biobío, Los Lagos, Magallanes y la Antártica Chilena, Figura 34) se fundamenta en criterios de mercado, la infraestructura existente para el manejo de hidrocarburos y productos químicos, la presencia de zonas navales de la Armada, la infraestructura portuaria para la construcción y servicio de embarcaciones marítimas, así como la existencia o anuncios de proyectos de hidrógeno verde que aprovechan el potencial energético renovable de cada región.

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

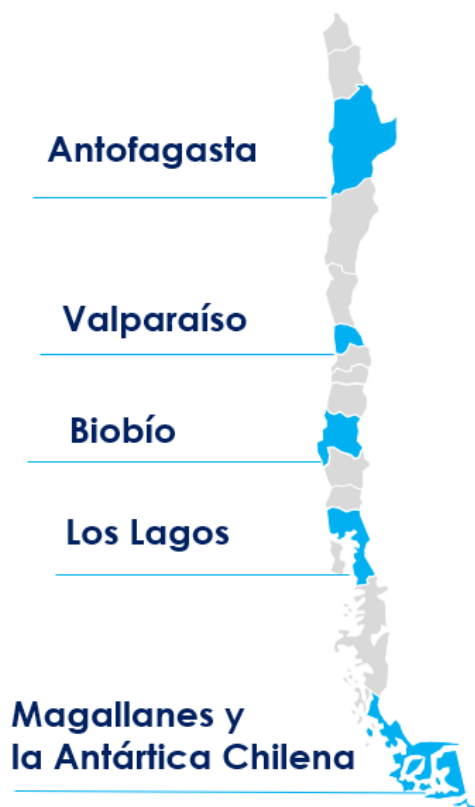


Figura 34: Regiones analizadas dentro de Chile para la tipificación de los puertos.

Los puertos considerados para cada una de las regiones involucradas se pueden observar en la Tabla 11:

Tabla 11: Puertos y regiones considerados para el análisis.

Región	Puerto	Región	Puerto
Antofagasta	Antofagasta	Valparaíso	Hanga Roa
	Tocopilla		Isla Alejandro Selkirk
	Mejillones		Isla de Pascua
Biobío	Coronel		Isla J. Fernandez
	Lirquén		Quintero
	Penco		San Antonio
	San Vicente		Valparaíso
	Talcahuano	Los Lagos	Puerto Montt
	Huachipato		Cochamó
Magallanes y la Antártica Chilena	Terminal ENAP Cabo Negro		Calbuco
	Terminal ENAP Gregorio		Rio Negro Hornopirén
	Isla Guarello		Achao
	Navarino		Ancud
	Porvenir		Castro
	Terminal Puerto Natales		Chonchi
	Puerto Williams		Quemchi
	Punta Arenas		Quellón
	Tierra del Fuego		

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

Luego, se analizaron criterios que consideran las características más necesarias para desarrollar proyectos de exportación de hidrógeno verde y sus derivados, incluyendo también aspectos que aporten a la descarbonización de la industria marítima. Estos son:

- **Mercado Portuario.**
- **Infraestructura en manejo de energéticos.**
- **Infraestructura portuaria.**
- **Tipo de servicio.**
- **Potencial de desarrollo de proyectos de H2V.**

Del análisis realizado, se encontraron varios puertos con características similares que podrían ser atractivos para desarrollar hubs de hidrógeno renovable (y derivados), teniendo potencial para exportar los vectores energéticos y aportar a la descarbonización de la industria marítima. Aun así, los puertos que más destacan para cada una de las regiones analizadas son el puerto de Mejillones (región de Antofagasta), el puerto de Coronel (región del Biobío), el puerto de Cabo Negro (región de Magallanes y la Antártica Chilena), el puerto de San Antonio (región de Valparaíso), y el puerto de Puerto Montt (región de Los Lagos).

El puerto de Mejillones se destaca como el segundo en términos de carga movilizada en operaciones de comercio internacional, con casi 11 millones de toneladas. Además, registra el nivel más alto de Inversión Extranjera Directa, lo que subraya su atractivo para actores internacionales interesados en participar en el mercado regional. Actualmente, el puerto maneja hidrocarburos, GNL y amoníaco líquido, lo que refleja su nivel de infraestructura para el manejo no solo de combustibles sino que también de sustancias químicas. También es el puerto con el mayor volumen de granel líquido movilizado entre los seleccionados. En cuanto a infraestructura portuaria, Mejillones cuenta con sistemas de multiboya, que permiten operaciones de carga y descarga de mercancías en aguas profundas. Además, posee el segundo mejor valor de Costo Nivelado del Hidrógeno (LCOH) entre los puertos analizados, lo que podría aumentar su competitividad en la producción de combustibles cero emisiones para el sector marítimo.

El puerto de Coronel, en la región de Biobío, se destaca por ser el segundo en términos de carga total movilizada, considerando tanto el comercio internacional como las operaciones de tránsito internacional. Aunque su volumen de granel líquido es bajo en comparación con otros puertos, maneja sustancias clave como hidrocarburos y metanol, este último siendo fundamental en la descarbonización del sector marítimo. En cuanto a infraestructura portuaria, al igual que el puerto de Mejillones, Coronel cuenta con un sistema de multiboyas, que facilita el proceso de carga y descarga de graneles líquidos en aguas profundas.

El puerto de Cabo Negro es una terminal de servicio privado operada por ENAP S.A., especializada en el manejo de hidrocarburos y metanol, y cuenta con el segundo mejor calado entre las regiones analizadas. Cabe destacar que se ubica en la región de Magallanes y la Antártica Chilena, donde se proyectan los costos nivelados de hidrógeno verde (LCOH) más competitivos, lo que lo posiciona como el lugar más atractivo en términos económicos para la producción de hidrógeno verde y amoníaco.

El Puerto de San Antonio es el puerto con la mayor cantidad de carga movilizada, enfocándose principalmente en el comercio internacional. Aunque no maneja en gran medida hidrocarburos ni sustancias como amoníaco o metanol, ofrece servicios de bunkering de combustibles como MGO y IFO. Además, se encuentra a aproximadamente 40 nm de la sede de la Primera Zona Naval, que alberga la mayor concentración de personal de la

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

Armada de Chile, lo que le otorga un rol clave en los proyectos de descarbonización del sector marítimo, especialmente en lo que respecta a la Armada.

Por último, el Puerto de Puerto Montt, ubicado en la región de Los Lagos, es el único puerto de la región que ofrece servicios de bunkering, específicamente de combustible MGO. Destaca por contar con la mayor cantidad de astilleros de la zona, un total de 10, que no solo atienden embarcaciones menores, sino también buques de mayor tamaño, con capacidades de levante de hasta 4.000 toneladas. Esto refleja su capacidad para realizar reparaciones, construcciones y procesos de repotenciación. Además, Puerto Montt es sede de la Quinta Zona Naval, la más reciente, lo que refuerza su relevancia estratégica.

Es de notar que a pesar que estos puertos se muestren como los más favorables en términos comparativos, otros puertos que combinen las características mencionadas podrían mostrarse como competidores en cada una de las regiones del territorio chileno apoyando la descarbonización del sector marítimo, así como las exportaciones de hidrógeno verde y sus derivados a otras geografías.

2.2.4. Conclusiones y recomendaciones

La evaluación de la demanda marítima en Chile, tanto en cabotaje como en comercio internacional, es clave para la descarbonización del sector transporte. Este análisis incluye la caracterización de la flota marítima nacional y la proyección de su demanda energética, considerando el uso potencial de hidrógeno verde y sus derivados. Además, se priorizan los puertos estratégicos para maximizar el impacto de la transición energética.

Flota Nacional

- **Mercante:** De 243 embarcaciones, el 30% (72) supera los 40 años, siendo prioritarias para renovación.
- **Naval:** El 22% (15 de 69 unidades) tiene más de 40 años; destacan 2 submarinos, 3 lanchas de acción marítima y otras unidades menores.
- **Pesquera:** De 197 embarcaciones, 100 tienen más de 40 años. Se concentran en Talcahuano y San Vicente en el centro, e Iquique en el norte.
- **Wellboat:** De 77 embarcaciones, 12 superan los 40 años, concentradas en Puerto Montt, San Antonio y otros puertos menores.
- **Otras:** Remolcadores (75 unidades), concentrados en Quintero y Valparaíso, y naves menores, más orientadas hacia electrificación.

Demanda Energética Nacional

El suministro se basa en un 80% de Petróleo Diésel y un 20% de Petróleo Combustible, concentrado en Magallanes (38%), Valparaíso (36%), Atacama (12%) y Biobío (9%). Las rutas de cabotaje más intensivas energéticamente abarcan distancias de 600 a 1.000 millas náuticas (~41%).

Demanda Energética Internacional

En exportaciones y tránsito, el combustible predominante es el Petróleo Combustible (~87%), seguido por Petróleo Diésel (~13%). Los destinos principales son China (44,1%), Estados Unidos (16,5%) y Japón (7,6%). Además, Chile exporta a hubs estratégicos como Corea del Sur (6,3 Mt/año) y Japón (4 Mt/año), con acceso potencial a Panamá y Singapur.

Proyecciones

Para 2030, se prevé un pico de demanda energética en América Latina, seguido de una reducción impulsada por eficiencia energética y electrificación. Panamá, como hub, busca que el 5% de su suministro provenga de hidrógeno verde.

El análisis de los puertos evaluados en el territorio chileno, dentro de las regiones seleccionadas como estratégicas, arrojó los siguientes resultados en términos de su clasificación y relevancia:

Puerto de Mejillones: Destaca como el segundo en carga movilizada en comercio internacional (~11 Mt) y registra el nivel más alto de Inversión Extranjera Directa, reflejando su atractivo para actores internacionales. Maneja hidrocarburos, GNL y amoníaco líquido, con sistemas multiboya para operaciones en aguas profundas. Además, presenta el segundo mejor Costo Nivelado del Hidrógeno (LCOH), consolidándose como un candidato competitivo para la producción de combustibles cero emisiones.

Puerto de Coronel: Ubicado en Biobío, es el segundo en carga total movilizada (internacional y tránsito). Aunque su volumen de granel líquido es bajo, maneja hidrocarburos y metanol, clave en la descarbonización marítima. Su sistema de multiboyas permite operaciones eficientes de graneles líquidos en aguas profundas.

Puerto de Cabo Negro: Operado por ENAP S.A., especializado en hidrocarburos y metanol, con el segundo mejor calado entre las regiones analizadas. Situado en Magallanes, donde se proyectan los LCOH más competitivos, posicionándolo como un lugar ideal para la producción económica de hidrógeno verde y amoníaco.

Puerto de San Antonio: Lidera en carga movilizada, principalmente en comercio internacional. Ofrece servicios de bunkering (MGO e IFO) y está próximo a la Primera Zona Naval, clave para la Armada de Chile y proyectos de descarbonización.

Puerto de Puerto Montt: Único en Los Lagos con servicios de bunkering (MGO) y con 10 astilleros capaces de atender embarcaciones de hasta 4.000 toneladas. Su capacidad para reparaciones y repotenciación, junto con ser sede de la Quinta Zona Naval, refuerzan su importancia estratégica.

2.3. Capacidades nacionales para la producción y consumo de H₂ y derivados

El objetivo de la presente sección, que se basa en el **Paquete de Trabajo 3: Capacidades nacionales para la producción y consumo de H₂ y derivados**, es identificar y diagnosticar los proyectos potenciales que podrían formar parte del suministro de **combustibles marítimos basados en H₂ verde y derivados** (H₂, NH₃, MeOH, DME, diésel sintético), considerando tanto las **regiones de interés** para el alcance de la consultoría (Antofagasta, Valparaíso, Biobío, Los Lagos, Magallanes y la Antártica Chilena); como las **temporalidades de la Hoja de Ruta** (2030, 2040, 2050).

Las actividades realizadas son las siguientes:

- Identificación de proyectos productivos de H₂ verde y derivados en Chile, junto con los actores participantes de la cadena de valor y un diagnóstico de los proyectos en cuanto a las potenciales capacidades de comercialización nacional e internacional de las moléculas de interés: H₂, NH₃, MeOH, DME, diésel sintético.
- Estimación de volúmenes potenciales para el suministro de combustibles marítimos tanto para cabotaje y operaciones navales, como para viajes internacionales. En este se incluyeron y analizaron distintos escenarios de descarbonización de la industria marítima y del desarrollo de la industria del hidrógeno verde y sus derivados en Chile.
- Presentación de hallazgos respecto de las brechas y oportunidades que se observan en términos de oferta y demanda de combustibles marítimos basados en H₂ y derivados, temporalidades y ubicaciones geográficas.

En el presente reporte se da énfasis a los resultados obtenidos en la estimación de volúmenes potenciales para el suministro de combustibles marítimos tanto para cabotaje y operaciones navales, como para viajes internacionales. Para esto se utilizó como insumo la caracterización de proyectos realizada y su diagnóstico.

2.3.1. Proyección de demanda del sector marítimo en Chile

Como se destacó en la sección 2.2, la demanda energética de la industria marítima en Chile se divide en dos segmentos principales: la demanda de la industria marítima nacional y la de la industria marítima internacional dentro del territorio chileno. Según la información más reciente del INGEL, ajustada a las proyecciones de comportamiento de la demanda energética de DNV (DNV, 2024), se espera que esta siga el patrón mostrado en la Figura 31 para los años 2024, 2030, 2040 y 2050. La flota nacional representa aproximadamente el 44% de la demanda energética total, mientras que la flota internacional aporta el 56% restante. Según las proyecciones más recientes, se anticipa que la demanda energética aumentará hasta 2032; sin embargo, gracias a las medidas de eficiencia energética, se espera que a partir de ese año comience a disminuir, incluso considerando los incrementos proyectados en el tráfico marítimo.

Con esta información, se elaboraron una serie de escenarios y proyecciones sobre la adopción de combustibles cero emisiones derivados del hidrógeno verde para el sector marítimo. Estas proyecciones incluyen su penetración y participación dentro de la industria marítima chilena, considerando los años 2030, 2040 y 2050 como hitos clave.

Para el **2030** se plantean tres escenarios considerando tanto escenarios conservadores como optimistas, entre los cuales se incluye:

- **Acoplamiento a metas OMI:** La Organización Marítima Internacional (OMI), en su más reciente revisión de metas en 2023, estableció como objetivo la adopción de

combustibles y tecnologías cero emisiones de gases de efecto invernadero en un **5%** respecto al total (IMO, 2023). Aunque esta meta está dirigida al tráfico marítimo internacional, se considera como una alternativa la alineación de metas nacionales con estas metas internacionales.

- **Acoplamiento a metas optimistas de la OMI:** La Organización Marítima Internacional (OMI), en su última revisión de metas de descarbonización, estableció dos escenarios: un objetivo estándar de un 5% y un objetivo optimista de un **10%** de penetración de combustibles y tecnologías cero emisiones de gases de efecto invernadero (IMO, 2023). Aunque estas metas están dirigidas al tráfico marítimo internacional, se plantea como alternativa la alineación de metas nacionales con estos objetivos internacionales.
- **Proyecciones DNV:** El más reciente reporte del *Energy Transition Outlook* de DNV (DNV, 2024) presenta proyecciones sobre la penetración de combustibles cero emisiones (como NH₃ y e-combustibles, incluido el metanol) para cada año desde 2024 hasta 2050, basadas en diversos parámetros como el TRL de las soluciones involucradas y la disponibilidad de combustibles. Para el 2030, esperan que en la región Latinoamérica, tengan una participación de alrededor del **3,6%**.

Considerando estas participaciones y proporciones, junto con el tamaño esperado del mercado de la demanda marítima en los segmentos nacional e internacional para 2030, se elaboran las siguientes estimaciones sobre la demanda de combustibles cero emisiones derivados del hidrógeno verde para el sector marítimo (Figura 35).

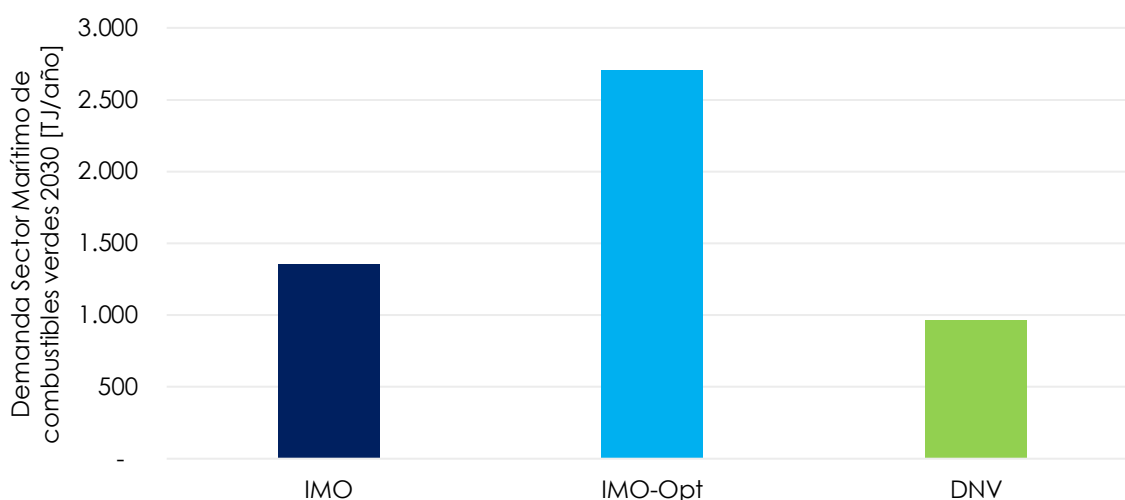


Figura 35: Estimación de la demanda de combustibles cero emisiones al 2030 para los escenarios de la OMI, OMI optimista y proyecciones de DNV.

Se proyecta que, durante la primera mitad de la década de 2030, el principal combustible utilizado para alcanzar las metas y proyecciones será el e-diésel. En la **flota mayor chilena alrededor de 199 embarcaciones (casi 35% del total) tienen más de 40 años de antigüedad** y podrían beneficiarse de procesos de renovación o reconversión, según evaluaciones de sus motores de propulsión y cascos para determinar la mejor alternativa a seguir.

Además, la tasa de renovación de la flota se encuentra en torno al 1% anual de la flota destinada para este fin, con tiempos estimados entre 18 y 24 meses. Esto implicaría que aproximadamente 10 embarcaciones (~2% del total) podrían comenzar a utilizar combustibles alternativos como MeOH y NH₃ al inicio de la década de 2030.

En este contexto, se espera que el **e-diésel desempeñe un papel predominante (con**

alrededor de 22 kt/año para el escenario más conservador), dado que puede ser utilizado tanto por embarcaciones nuevas como por aquellas reconvertidas o más antiguas.

Para **2040**, se plantean tres escenarios que incluyen tanto perspectivas conservadoras como optimistas respecto a la penetración de combustibles alternativos en el sector marítimo. En este horizonte temporal, no se consideran los escenarios de la OMI, ya que estos no establecen metas específicas de penetración de combustibles alternativos de cero emisiones, sino objetivos más amplios de descarbonización, que serían significativamente más ambiciosos en comparación con las metas de la Política Energética Nacional. Entre los escenarios propuestos se incluyen:

- **Política Energética Nacional con medidas de Eficiencia Energética:** La Política Energética Nacional – Transición Energética de Chile tiene como objetivo facilitar la transición energética en diversos sectores del país, incluyendo el transporte marítimo. Para 2040, busca reducir en un 20% las emisiones directas de GEI provenientes del uso de combustibles en el sector transporte (terrestre, marítimo y aéreo) (Ministerio de Energía, 2022). Si se implementan medidas de eficiencia energética y se cumplen las proyecciones de intensidad energética para el sector marítimo, se podría establecer un escenario base en el que, para alcanzar esta meta del 20% de reducción de emisiones, se promueva el consumo de combustibles cero emisiones derivados del hidrógeno verde.
- **Política Energética Nacional sin medidas de Eficiencia Energética:** Semejante a lo ocurrido en el escenario anterior, se podría generar igualmente un escenario bajo el cual alcanzar la meta de reducción de emisiones mediante la utilización de combustibles verdes para la reducción de las emisiones del sector marítimo chileno.
- **Proyecciones DNV:** El más reciente reporte del *Energy Transition Outlook* de DNV (DNV, 2024) presenta proyecciones sobre la penetración de combustibles cero emisiones (como NH₃ y e-combustibles, incluido el metanol) para cada año desde 2024 hasta 2050, basadas en diversos parámetros como el TRL de las soluciones involucradas y la disponibilidad de combustibles. Para el 2040, esperan que en la región Latinoamérica, tengan una participación de alrededor del **14%**.

Se tiene entonces el siguiente comportamiento para los escenarios considerados dentro de la década comenzando en el 2040, donde el escenario del PEN con EE y el del DNV se encuentran más cercanos y el escenario en donde no se apliquen medidas de eficiencia energética se encuentra casi al doble del siguiente (Figura 36).

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

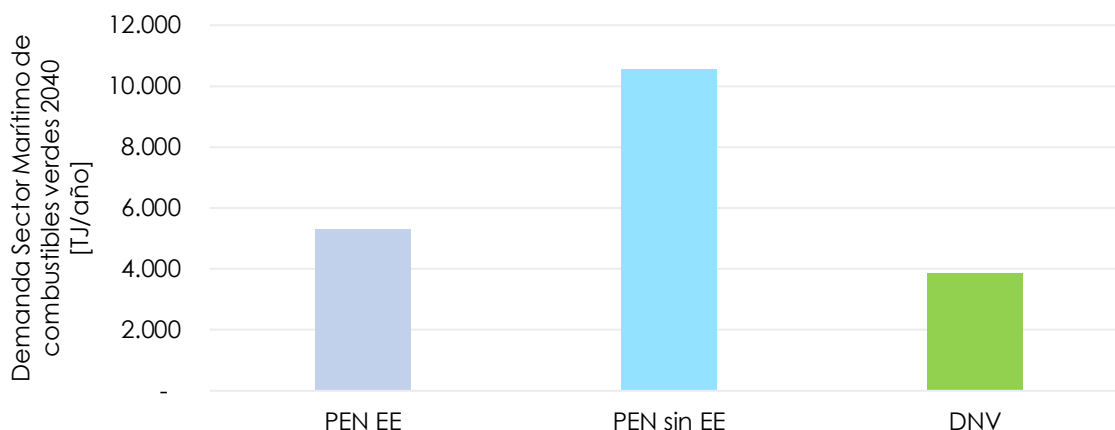


Figura 36: Estimación de la demanda de combustibles cero emisiones al 2040 para los escenarios del PEN con EE, PEN sin EE y proyecciones de DNV.

Considerando la madurez esperada de las tecnologías de propulsión a metanol (actualmente alta) y amoníaco para principios de la década de 2040, se prevé un aumento en la demanda de estos dos combustibles (**alrededor de 200 k_{teq}/año de MeOH|NH₃ en el escenario más conservador**), junto con la continuidad en el uso de e-diésel. Durante este periodo, habrá embarcaciones en proceso de renovación o reconversión para adaptarse a los nuevos combustibles, aunque algunas permanecerán rezagadas debido a que el final de su vida útil está aún distante. Estas embarcaciones podrían beneficiarse del uso de combustibles "drop-in" como el e-diésel.

Asimismo, la combustión de amoníaco y metanol en motores marítimos requiere un combustible piloto (potencialmente e-diésel), que representa aproximadamente el 5% de la demanda energética total del motor (MAN, 2021) (WinGD, 2024). Esta demanda de combustibles cero emisiones derivados del hidrógeno verde podrá ser cubierta tanto por el segmento de cabotaje nacional como por el tránsito marítimo internacional, especialmente en rutas hacia Asia, Europa y Norteamérica.

Para **2050**, se plantean tres escenarios similares a los de 2040, que contemplan tanto perspectivas conservadoras como optimistas respecto a la penetración de combustibles alternativos en el sector marítimo chileno. En este horizonte temporal, no se considera el escenario de la OMI, ya que estos no definen metas específicas para la adopción de combustibles alternativos de cero emisiones, sino objetivos de descarbonización total del sector marítimo internacional. Estos objetivos prevén la implementación de diversos mecanismos complementarios además de la adopción de combustibles cero emisiones. Los escenarios propuestos incluyen:

- **Política Energética Nacional con medidas de Eficiencia Energética:** La Política Energética Nacional – Transición Energética de Chile tiene como objetivo facilitar la transición energética en diversos sectores del país, incluyendo el transporte marítimo. Para 2050, busca reducir en un 40% las emisiones directas de GEI provenientes del uso de combustibles en el sector transporte (terrestre, marítimo y aéreo) (Ministerio de Energía, 2022). Implementando medidas de eficiencia energética y cumpliendo las proyecciones de intensidad energética para el sector marítimo, se podría establecer un escenario base en el que esta meta del 40% de reducción se alcance mediante el uso de combustibles cero emisiones derivados del hidrógeno verde, complementados con medidas de eficiencia energética.
- **Política Energética Nacional sin medidas de Eficiencia Energética:** Similar al escenario

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

anterior, se podría plantear un escenario en el que la meta de reducción de emisiones del sector marítimo chileno se alcance exclusivamente mediante el uso de combustibles verdes, sin la implementación de medidas de eficiencia energética. Este enfoque implicaría un mayor incremento en la participación de estas sustancias para compensar la ausencia de dichas medidas.

- **Proyecciones DNV:** El más reciente reporte del *Energy Transition Outlook* de DNV (DNV, 2024) presenta proyecciones sobre la penetración de combustibles cero emisiones (como NH_3 y e-combustibles, incluido el metanol, así como la electrificación en algunos segmentos) para cada año desde 2024 hasta 2050, basadas en diversos parámetros como el TRL de las soluciones involucradas, la disponibilidad de combustibles, la demanda energética general, las regulaciones que se aplicasen y demás medidas. Para el 2050, esperan que en la región Latinoamérica, tengan una participación de alrededor del **37%**.

Para los escenarios considerados de cumplimiento de la política energética nacional adoptando medidas de eficiencia energética, cumplimiento de la política energética nacional sin adoptar medidas de eficiencia energética y las proyecciones del DNV para la década del 2050 se encontrarán las siguientes tendencias (Figura 37).

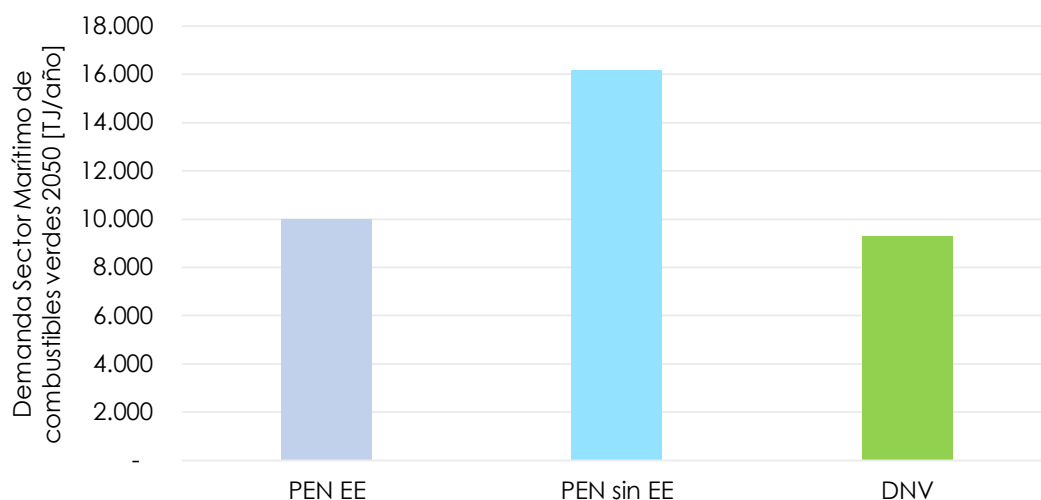


Figura 37: Estimación de la demanda de combustibles cero emisiones al 2050 para los escenarios del PEN con EE, PEN sin EE y proyecciones de DNV.

Las proyecciones más recientes sobre el uso de combustibles cero emisiones en el sector marítimo estiman que, para 2050, el amoníaco será el principal combustible derivado del hidrógeno verde (DNV, 2024) (con **alrededor de 480 kt_{eq}/año de MeOH | NH_3 en el escenario más conservador**). Considerando la cantidad de embarcaciones, las tasas de renovación mencionadas y que aproximadamente el 20% de las embarcaciones mayores de la flota chilena tienen menos de 20 años de antigüedad, se espera que estas sigan demandando e-diésel para sus operaciones, aun así, es relevante recalcar que será necesario escalar la capacidad de reconversión y renovación en astilleros chilenos. Además, como se mencionó anteriormente el e-diésel desempeñará un rol clave como combustible piloto en la utilización de amoníaco y metanol en actividades de tránsito marítimo tanto nacional como internacional.

Además de la demanda de combustibles alternativos por las medidas antes mencionadas, se identifica que existirá un aumento debido a la exportación de productos como el hidrógeno verde y sus derivados producidos en Chile.

La estimación del aumento de la demanda de combustibles alternativos por la exportación de estos productos se realiza considerando la capacidad proyectada de producción y exportación del mercado chileno según la Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde (Ministerio de Energía, Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde, 2020), la Planificación Energética de Largo Plazo (Ministerio de Energía, Planificación Energética de Largo Plazo, 2021) y el Pipeline de los proyectos se desarrollarán diversos escenarios para los periodos de evaluación (2030, 2040 y 2050)²¹. Con base en las distancias estimadas que recorrerán las embarcaciones destinadas a exportar estos productos extraídas de la Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde y las cantidades proyectadas para cada escenario, se podrá calcular la cantidad de combustible cero emisiones potencial requerido para realizar estos trayectos en buques tanqueros y gaseros que utilicen, en sus motores de propulsión, los mismos combustibles que están transportando:

- **Exportaciones de amoníaco:** Para este análisis se consideran tres escenarios principales: un **escenario alto**, donde todos los proyectos anunciados entran en operación dentro de los plazos de COD declarados, alcanzando sus capacidades de producción según el escenario alto y su respectiva tasa de 40%; un **escenario medio**, en el que las exportaciones se cumplirán con una tasa de éxito promedio, de 22,5%, para los proyectos y un crecimiento anual sostenido; y un **escenario bajo**, que aplica el mismo análisis del escenario medio pero considerando la tasa de éxito más baja, de 5%.
- **Exportaciones de metanol:** Para las exportaciones de este producto derivado del hidrógeno verde se consideraron tres escenarios, similares a los planteados para el amoníaco, basados en el pipeline de proyectos dentro de Chile y la disponibilidad de CO₂ tanto biogénico como industrial para la producción de metanol. Los escenarios se construyeron considerando la captura de CO₂ a partir de fuentes biogénicas y/o industriales, con tasas de captura de 20%, 40% y 60% con una eficiencia de captura del 90% para los escenarios bajo, medio y alto, respectivamente.

En la Figura 38 se muestran gráficamente las estimaciones realizadas para la exportación de amoníaco y metanol en Mt de H₂eq en cada uno de los escenarios analizados (bajo, medio, alto), junto con las proyecciones de la Política Energética de Largo Plazo (PELP) en los escenarios de “Recuperación Lenta Post COVID”, “Rumbo a la Carbono Neutralidad al 2050”, y “Acelerando la Transición Energética”. En el gráfico, es posible observar que en los escenarios altos la exportación de metanol y amoníaco supera a la proyección de la PELP en el mismo escenario, por un promedio de 25% entre los años 2035 y 2050.

²¹ En el Anexo 6.3 se encuentra el listado de proyectos caracterizados y considerados en el análisis.

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

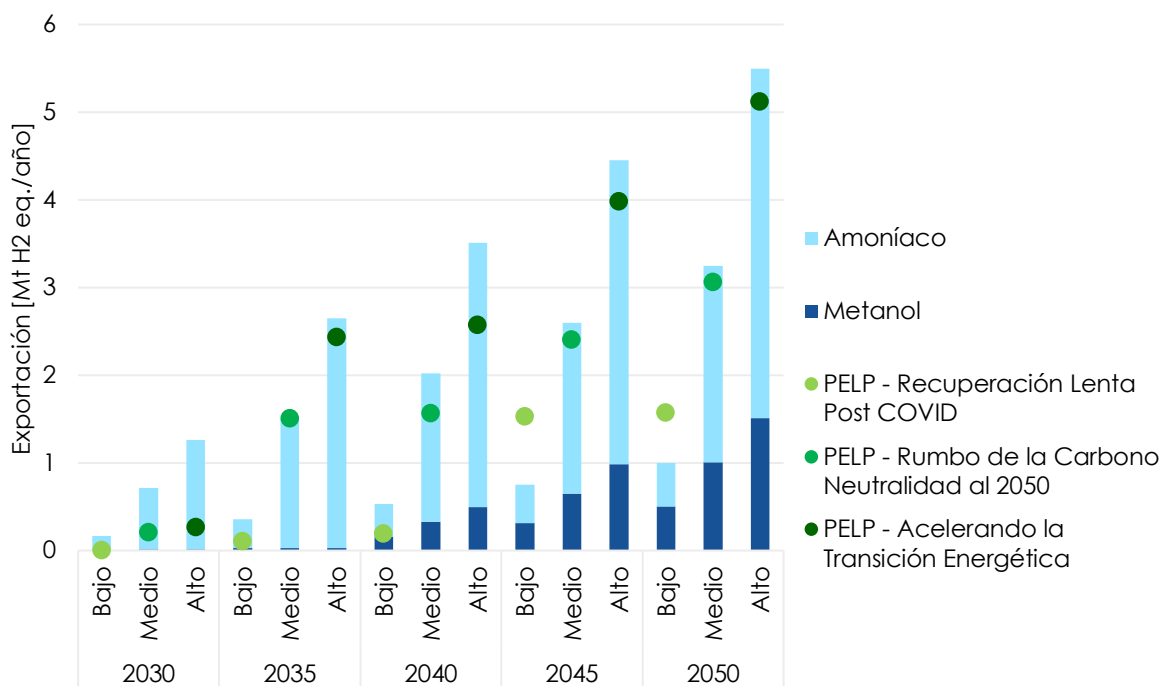


Figura 38: Estimación de exportación de metanol, amoníaco, y proyecciones de la PELP hacia 2050. Fuente: elaboración propia a partir de proyecciones realizadas e información de la PELP (Ministerio de Energía, 2021).

Para el año 2030, se observa que la exportación de amoníaco y metanol supera en todos los escenarios a las proyecciones de la PELP y ya al año 2035 se ajustan entre ellas. A partir de esto, se concluye que existe una aceleración en el desarrollo de la industria de hidrógeno verde y derivados en Chile respecto a lo proyectado en la PELP. Con el pasar del tiempo, va a disminuir la incertidumbre asociada a los proyectos anunciados y la capacidad de producción destinada a exportación, y será posible definir con mayor certeza si la industria tuvo un desarrollo acelerado.

En el año 2040, las estimaciones de exportación de metanol y amoníaco superan en todos los escenarios las proyecciones de la PELP. La diferencia disminuye en los horizontes 2045 y 2050, para el caso del escenario "Rumbo a la Carbono Neutralidad al 2050" y "Acelerando la Transición Energética", los escenarios más optimistas. En cuanto al escenario "Recuperación Lenta Post COVID" queda por sobre las estimaciones de exportación realizadas en los horizontes de tiempo 2045 y 2050.

En términos generales se observa que las proyecciones de amoníaco y metanol en conjunto para los diferentes escenarios analizados se acercan a los distintos escenarios de la PELP.

La demanda de exportación de productos derivados del hidrógeno verde, como metanol y amoníaco, desde Chile hacia regiones como Europa, Norteamérica y Asia, probablemente generará una demanda adicional de estos mismos productos como combustibles de propulsión para los buques encargados de su transporte. Para el año 2035 se proyecta que se requiera de entre 3 y 6 zarpes mensuales desde distintas regiones del país en el escenario bajo, y en el caso del metanol se estima que se requerirá de entre 2 y 4 en el mismo horizonte de tiempo considerando también el escenario bajo. A medida que se avanza en los horizontes temporales se estima un aumento de la cantidad de zarpes de buques para la exportación de estos productos, al igual que para los escenarios medios y altos. Esto se ve reflejado en el aumento de demanda estimado de amoníaco y metanol, como se muestra en la Figura 39 y

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

Figura 40, respectivamente.

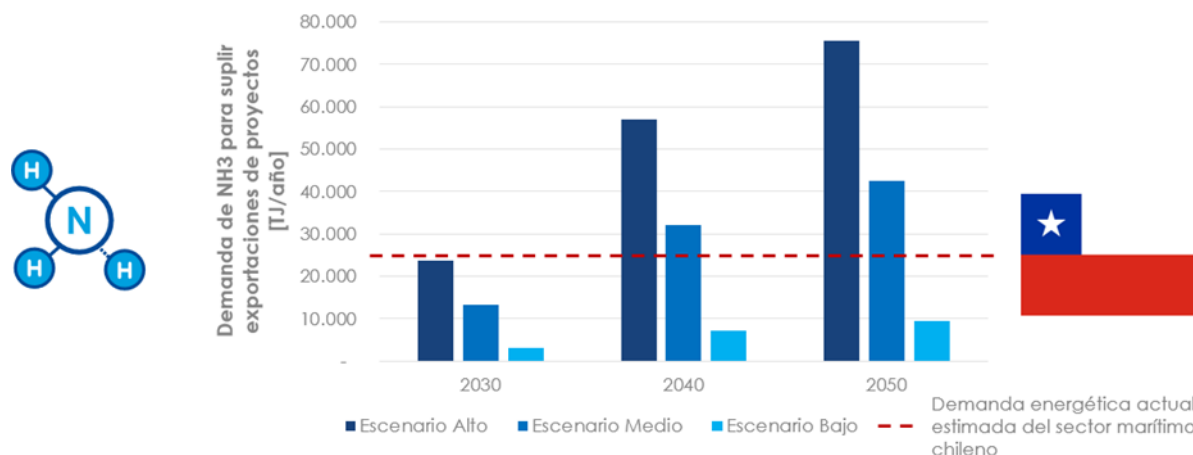


Figura 39: Demanda del sector marítimo en Chile de combustibles cero emisiones para exportación de NH_3 . Fuente: elaboración propia.

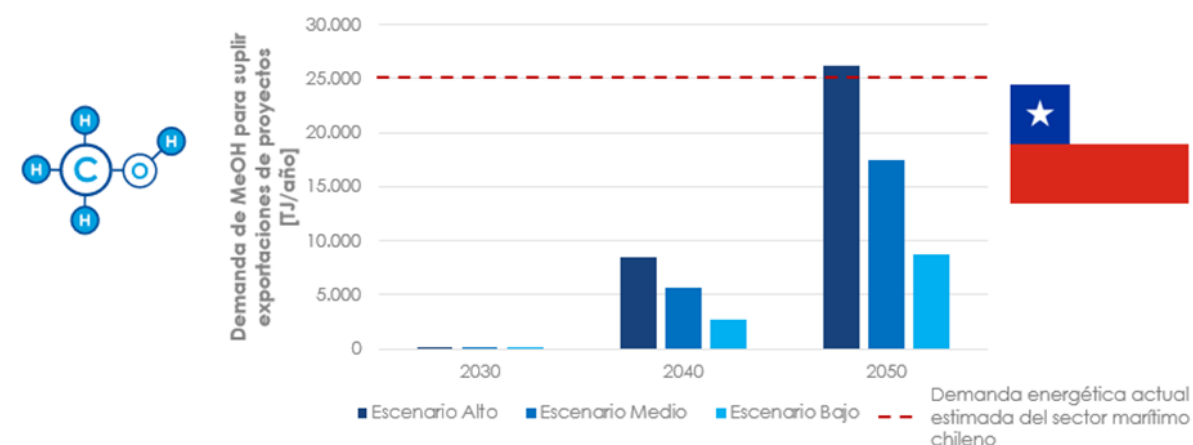


Figura 40: Demanda del sector marítimo en Chile de combustibles cero emisiones para exportación de MeOH. Fuente: elaboración propia.

En la década de **2030**, el **escenario alto** de exportación de amoníaco y metanol incrementaría la demanda energética del sector marítimo chileno en casi 25 PJ/año, lo que sería equivalente a la demanda marítima energética actual en Chile. Por otro lado, el **escenario medio** para la exportación del amoníaco y el metanol, requerirían una demanda combinada de alrededor de 13 PJ/año, equivalente a **aproximadamente 1/2 de la demanda energética actual del sector marítimo chileno**. En el escenario más conservador, esta demanda podría alcanzar cerca de 70 kt_{eq} de e-diésel o 165 kt_{eq} de MeOH | NH_3 .

Para la década de **2040**, las exportaciones proyectadas en los **escenarios alto** para el metanol y el amoníaco superan los 60 PJ/año, en el escenario medio para la exportación de amoníaco y metanol se **superará la demanda energética actual del sector marítimo chileno actual** (llegando a 35 PJ/año), como lo indican las líneas rojas punteadas en las figuras correspondientes, y el escenario bajo sumaría alrededor de 10 PJ/año, lo que equivaldría a cerca de 510 kt_{eq} de MeOH | NH_3 .

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

Finalmente, hacia **2050**, las capacidades combinadas de exportación de amoníaco y metanol se estiman entre 18 PJ/año (escenario bajo), llegando a casi 60 PJ/año (escenario medio) y ~100 PJ/año (escenario alto), lo que **representa casi cuatro veces el tamaño del mercado energético actual del sector marítimo chileno**, tanto nacional como internacional. En este horizonte de tiempo, el escenario bajo podría traducirse en aproximadamente 940 kt_{eq} de MeOH | NH₃.

A modo de síntesis del análisis sobre el incremento en la demanda energética de combustibles derivados del hidrógeno verde y sus derivados en el sector marítimo, se observa el siguiente comportamiento (Figura 41) considerando los escenarios evaluados para el uso de combustibles alternativos de cero y/o bajas emisiones. Asimismo, se incluye la posible nueva demanda generada por la exportación de hidrógeno y sus derivados hacia regiones como Europa, Norteamérica y Asia. La gráfica se construye utilizando los datos correspondientes a los escenarios más conservadores para cada uno de los años horizonte evaluados (2030, 2040 y 2050).

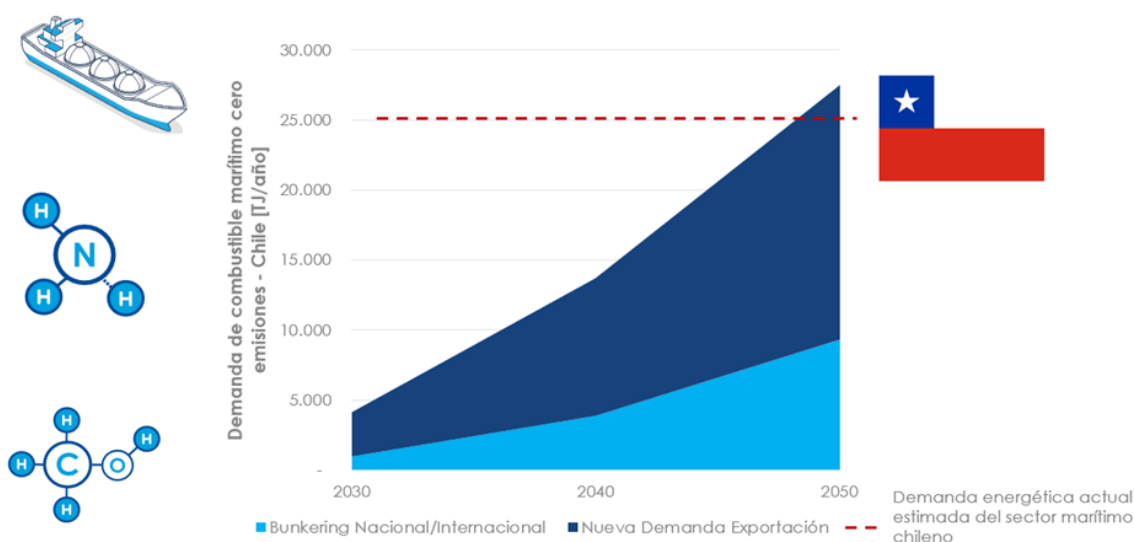


Figura 41: Síntesis de energía proveniente de combustibles provenientes del hidrógeno verde y/o sus derivados para los años 2030, 2040 y 2050 a partir de la transición del sector marítimo y de la nueva demanda de exportación. Fuente: elaboración propia.

2.3.2. Conclusiones y recomendaciones

Chile se posiciona como un actor clave en la transición energética del sector marítimo gracias a los proyectos anunciados para la producción de hidrógeno verde y sus derivados, como amoníaco, metanol, DME y e-diésel. Mientras los proyectos de amoníaco están orientados principalmente a la exportación, los demás productos se destinan a la demanda interna. Según las proyecciones de la PELP 2023-2027, la capacidad de producción de amoníaco podría superar las estimaciones del escenario alto hasta 2050, mientras que la producción de metanol necesitará aprovechar los recursos de CO₂ disponibles para cerrar la brecha frente a la demanda proyectada.

El desarrollo de la industria del hidrógeno verde ha mostrado un ritmo acelerado hasta 2035, y su consolidación dependerá de la colaboración entre más de 130 actores clave, incluyendo desarrolladores de proyectos, operadores marítimos, astilleros, puertos, sector público y academia. Este ecosistema será esencial para garantizar una transición energética integral,

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

que abarque desde la producción y distribución de combustibles hasta su implementación en la flota marítima.

En el corto plazo, se espera que el diésel sintético actúe como combustible de transición, utilizado como piloto para tecnologías basadas en metanol y amoníaco. Hacia 2050, los combustibles verdes tendrán una participación cercana al 40% en el sector marítimo, impulsados por medidas de eficiencia energética que reducirán la demanda global.

La exportación de estos combustibles generará una demanda energética significativa. En 2030, el escenario alto de exportación de amoníaco aumentaría la demanda en 25 PJ/año, equivalente a la actual, mientras que para 2050, la exportación combinada de amoníaco y metanol podría alcanzar hasta 100 PJ/año, casi cuadruplicando el tamaño del mercado energético marítimo chileno actual.

3. Diagnóstico de brechas y oportunidades de la industria marítima nacional del hidrógeno y sus derivados

La presente sección tiene como propósito poder elaborar el diagnóstico de ventajas, desventajas y oportunidades del H₂ y sus derivados para la industria marítima, tomando como base las brechas identificadas en el capítulo anterior, junto con las recogidas en instancias participativas y entrevistas, y su sistematización.

El diagnóstico se estructura de una forma que permite entregar una visión integral del estado actual y las perspectivas del hidrógeno y sus derivados en la industria marítima. En primer lugar, se realiza la sistematización de brechas y categorizadas en 8 ejes estratégicos. Estas brechas se han identificado a partir de entrevistas con actores clave de la cadena de valor de la transición energética de la industria, la interacción con expertos del sector y sinergias con los estudios paralelos.

En segundo lugar, se desarrolló un análisis PESTEL, herramienta que examina el entorno macroeconómico en el cual se enmarca la transición energética del sector marítimo. Este análisis permite identificar factores políticos, económicos, sociales, tecnológicos, ecológicos (ambientales) y legales (regulatorios) que afectan a la industria, anticipando tendencias que pueden influir significativamente en su camino hacia la carbono neutralidad

Por último, se presenta un análisis FODA, en el que se exploran las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas asociadas al uso de combustibles alternativos en la industria marítima. El diagnóstico presentado busca no solo identificar los desafíos y oportunidades del hidrógeno y sus derivados en la industria marítima, sino también proporcionar un marco analítico que permita a los actores del sector tomar decisiones informadas y desarrollar estrategias eficaces en su camino hacia la sostenibilidad.

3.1. Sistematización brechas

A partir del desarrollo de las secciones anteriores, se obtuvieron diversos hallazgos que permitieron identificar brechas existentes para el desarrollo de la industria marítima nacional de hidrógeno y sus derivados. Estas brechas consideran como fuentes de entradas o *inputs* los resultados de los paquetes de trabajo de la presente consultoría, la conducción de entrevistas con actores relevantes en la cadena de valor de la descarbonización del transporte marítimo, los aportes de los estudios desarrollados en paralelo a esta consultoría, y la visión en estas materias recogida desde la contraparte.

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad



Figura 42: Ejes estratégicos. Fuente: elaboración propia.

La Tabla 12 describe los **8 ejes en los que se sistematizaron las principales brechas identificadas (ver Anexo 6.4)** y que se consideran como ejes prioritarios para encausar la hoja de ruta hacia la carbono neutralidad de la industria marítima nacional.

Tabla 12: Descripción ejes estratégicos. Fuente: elaboración propia.

#	Eje	Descripción y atributos/consideraciones
1	Gobernanza, acuerdos y alianzas	En este eje se agrupan las brechas que se relacionan con la falta de un organismo reconocido por el sector marítimo industrial que coordine a los actores, que se preocupe de constituir alianzas público-privadas, nacionales e internacionales, y que posicione al sector marítimo nacional en la agenda de la transición energética y descarbonización en Chile. Esta brecha debería depender de la figura del nuevo rol articulador de la Armada (Articulador y validado por el entorno) y que deberá interactuar ágilmente con múltiples actores del sector público y privado, nacional e internacional.
2	Infraestructura portuaria	En este eje se agrupan las brechas identificadas a nivel de infraestructura requerida en puertos para el consumo de H₂ y derivados por parte de buques y embarcaciones, junto con aquella requerida para la exportación de estos productos desde los puertos del país. Dentro de las brechas se abordan aspectos como la capacidad de manejo, suministro y almacenamiento de los distintos combustibles basados en H₂ y derivados, considerando la aplicación para el transporte marítimo. Esta brecha deberá depender del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, Ministerio de Defensa Nacional y el Ministerio de Obras Públicas (MOP), donde la Armada y su dirección de DIRECTEMAR deberán colaborar estrechamente, en conjunto con la figura del nuevo rol articulador de la Armada.
3	Logística para el suministro	En este eje se abarcan las brechas relacionadas a la logística necesaria para el suministro de H₂ y derivados para buques y embarcaciones a lo largo de todo el país, que apunten a la

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

#	Eje	Descripción y atributos/consideraciones
		disponibilidad de distintos combustibles basados en H₂ y derivados, su suministro y distribución eficiente, y al concepto de autonomía energética marítima. Esta brecha deberá depender del Ministerio de Energía, en estrecha colaboración con el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, en conjunto con la figura del nuevo rol articulador de la Armada.
4	Desarrollo tecnológico	Este eje considera las brechas identificadas respecto de las tecnologías de propulsión y su madurez comercial, a los desafíos en términos de reconversión de embarcaciones existentes y también aquellas tecnologías involucradas en la producción de combustibles alternativos y su suministro a buques, entre otros. Esta brecha deberá ser liderada por la figura del nuevo rol articulador de la Armada en coordinación la Centros de Investigación Internacionales, Academia, Sector Privado Nacional e Internacional (operadores de servicios marítimos, operadores de terminales portuarios, OEMs, asociaciones gremiales, entre otros) y Ministerio de Educación.
5	Capital humano	El presente eje agrupa las brechas relacionadas con el capital humano requerido para el desarrollo de tanto de una industria naval que acompañe los requerimientos a astilleros nacionales en materias de construcción y reconversión de embarcaciones, como requerimientos de capital humano asociado a la operación y manejo seguro de las actividades relacionadas al almacenamiento y suministro de estos combustibles. Esta brecha deberá depender del Ministerio de Energía, en su mesa de trabajo ya conformada para estos temas por la Estrategia Nacional de H₂ y que integre las necesidades de la industria marítima, en estrecha colaboración con la figura del nuevo rol articulador de la Armada.
6	Desarrollo social y ambiental	En este eje se agrupan las brechas relacionadas a factores sociales y percepción pública respecto de la adopción del H₂ verde y derivados en la industria marítima nacional, junto con aquellas relacionadas a factores ambientales que pudieran influir en el desarrollo de la misma. Esta brecha deberá depender del Ministerio del Medioambiente y el Ministerio de Energía, en su mesa de trabajo ya conformada para estos temas en el marco de la Estrategia Nacional de H₂ y que integre las necesidades del territorio a través de los gobiernos regionales, gobiernos locales, organizaciones civiles. La figura del nuevo rol articulador de la Armada buscará alinear los esfuerzos de cara a los desafíos del sector marítimo nacional.
7	Regulación	En este eje estratégico se albergan todas las brechas que se identifican en términos de regulación. Dentro de estas se encuentra la falta de medidas/metodologías mandatorias para el uso de combustibles alternativos en el sector marítimo con propósito de la descarbonización, manejo de estándares de seguridad, de

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

#	Eje	Descripción y atributos/consideraciones
		definiciones respecto de combustibles renovables a ser adoptados en el país en el largo plazo, entre otros. Las regulaciones tendrán responsabilidad principalmente en Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, Ministerio de Energía, Ministerio de Medioambiente, DIRECTEMAR y coordinados por la figura del nuevo rol articulador de la Armada.
8	Financiamiento y competitividad	En el presente eje se agrupan las brechas identificadas que tiene relación con el acceso a distintas fuentes de financiamiento y mecanismos que incentiven en el corto y mediano tanto la producción con foco a suplir la demanda del cabotaje, como las inversiones requeridas a nivel de infraestructura de suministro a nivel de puertos y de embarcaciones. Este es un eje clave, sobre todo para el corto y mediano plazo, donde la figura del nuevo rol articulador de la Armada deberá clarificar necesidades de recursos y dependiendo del tipo de iniciativa, lograr coordinar el trabajo con actores públicos y privados, para diseñar y poner a disposición distintos mecanismos financiados con recursos de múltiples orígenes (propios, financiamiento climático internacional, recursos de la banca multilateral, bonos de carbono, entre otros).

3.2. Análisis PESTEL

El objetivo de este análisis es anticipar tendencias del entorno internacional y macroeconómico que podrían influir, tanto de forma positiva como negativa, en el desarrollo de la hoja de ruta hacia la carbono neutralidad del sector marítimo nacional. Luego, el análisis PESTEL toma los principales resultados de los paquetes de trabajo previos, las brechas sistematizadas (Anexo 6.4) para sintetizar los factores externos a Chile en los ámbitos **políticos, económicos, sociales, tecnológicos, ecológicos y legales/regulatorios**.

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad



Figura 43: Síntesis análisis PESTEL. Fuente: elaboración propia.

Político: en este factor se engloban metas de descarbonización para el sector de otras geografías como también instrumentos de apoyo gubernamental que pueden ser referentes o palancas para el caso Chileno.

- Corredores verdes internacionales: con el objetivo de disminuir las emisiones del transporte marítimo se han establecido corredores verdes o se encuentra trabajando en ello, que unen puertos con la infraestructura y la tecnología requerida para utilizar combustibles marítimos alternativos.
- Fomento de cooperación internacional: países como Singapur, China, Japón y Corea del Sur se encuentran desarrollando iniciativas con el objetivo de fomentar colaboraciones internacionales para la transición energética del transporte marítimo que emplee combustibles alternativos.
- Chile tienen rutas bien consolidadas al mercado asiático que podría apalancar en la materialización de corredores verdes.

Económico: el uso de combustibles alternativos para el transporte marítimo enfrenta desafíos económicos debido a costos iniciales de los energéticos y de las tecnologías nuevas requeridas para las embarcaciones que lo consuman. Para hacer frente a este desafío se han desarrollado incentivos como créditos de carbono y financiamiento verde, donde los gobiernos toman roles importantes en el cierre de brechas económicas.

- La inversión en infraestructura portuaria y en buques de tecnología avanzada posicionará a Japón y Corea del Sur como líderes en rutas comerciales de bajas

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

emisiones, aprovechando modelos emergentes como los corredores de hidrógeno y amoníaco.

- Costo de inversión altos costos de inversión asociados al recambio tecnológico de sistemas de propulsión que funcionen con combustibles alternativos y a la reconversión de motores existentes.
- Precio combustibles alternativos: los combustibles alternativos tienen un mayor precio en comparación a los combustibles fósiles. Los gobiernos cierran esta brecha penalizando las emisiones de CO₂ asociadas que a su vez generan ingresos para la adopción de combustibles alternativos.
- Mercados de créditos de carbono de cumplimiento: utilizado como incentivo económico para que se prefieran alternativas bajas o cero carbono, generando calendarios de penalizaciones que dan tiempo a la industria para adaptarse.
- Financiamiento verde o climático, los gobiernos de países en vías de desarrollo exploran la formulación de iniciativas nacionales o multipaís para postular a recursos concesionales para combinar con otros recursos públicos o privados, y disponer para la implementación de proyectos que apalanquen la producción y consumo doméstico de hidrógeno y derivados (ejemplo el Mitigation Action Facility, el Green Climate Fund, Climate Investment Fund, entre otros)
- Penalizaciones: el no cumplimiento de las metas establecidas en ciertas regiones tienen penalizaciones asociadas, como el FuelEU Maritime en la Unión Europea. Esto aumenta la competitividad de las alternativas frente a los combustibles fósiles e impacta a aquellos orígenes y destinos del mundo que conecten con países de la Unión Europea, entre ellos Chile.

Social: la transición energética del sector marítimo responde a la presión social por sostenibilidad en cadenas de suministro y la transición energética justa. Las entidades pertenecientes a la cadena de valor de la industria marítima deben lograr su descarbonización, impulsando la reconversión laboral y mejoras en comunidades.

- Toxicidad de los combustibles alternativos: al igual que los combustibles convencionales, el uso de combustibles alternativos tiene riesgos asociados. Las asimetrías de información generan una percepción negativa respecto del uso del hidrógeno y derivados como combustibles marinos, sin embargo, serán aspectos controlables y que ya tienen las primeras experiencias de bunkering con amoníaco por ejemplo en Singapur. Aspectos como toxicidad e inflamabilidad son percibidos negativamente, sin embargo, los combustibles fósiles también tienen estos efectos y además aceleran continuamente los efectos del cambio climático.
- Imagen sostenible: el uso de combustibles con bajas emisiones en el transporte marítimo otorga atributos sostenibles a las compañías que se hacen cargo de esta actividad y, también, a los productos transportados que llegarán con menor huella de carbono a destino.
- Alineación con estrategias corporativas de generadores de carga: grandes cargadores, como IKEA y Amazon, exigen embarcaciones que aseguren un transporte con bajas emisiones de carbono como parte de su compromiso con la sostenibilidad. Esto podrá ser referente para industrias clave de exportación en Chile como el cobre, salmón, frutas, vino, entre otros.
- Requerimiento de capacitación humana: para el desarrollo de la industria de producción de combustibles alternativos se requiere capacitar y/o re-capacitar a profesionales para que se hagan cargo de la construcción y operación de las plantas.

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

Además, es necesario capacitar a los operadores portuarios y a las navieras respecto a los nuevos combustibles marítimos, con énfasis en su manejo y seguridad. En ausencia de normativas nacionales, las buenas prácticas y estándares internacionales.

- Impacto en comunidades: mejora de la calidad del aire en las comunidades ubicadas cerca de la costa, específicamente en zonas portuarias, producto de la disminución de emisiones en puertos.

Tecnológico: el desarrollo de motores de propulsión para el uso de combustibles alternativos todavía no se encuentra totalmente desarrollado. El desarrollo de estas tecnologías y de construcción de buques está concentrado en Asia y en países nórdicos.

- Alternativas de propulsión: las tecnologías de propulsión en base a combustibles alternativos aún se encuentran en desarrollo. Los motores duales metanol-ready son los que entrarán en el transporte marítimo internacional entre 2025 y 2035, mientras que los motores duales amoníaco-ready desde el 2035.
- Concentración de manufactura: los desarrolladores de tecnología se concentran en Asia (Intelligence, Análisis de participación y tamaño del mercado de propulsión marina tendencias de crecimiento y pronósticos (2024-2029) , s.f.), al igual que la capacidad de construcción naval (Intelligence, s.f.). Esto puede generar cuellos de botella en términos de construcción, incluso afectando la tasa de renovación potencial de Chile
- La industria marítima optará por distintas trayectorias tecnológicas o *pathways* para lograr metas de descarbonización. Estas definiciones dependerán cada país o regiones y no será única. Esto genera incertidumbre en los actores de la cadena de valor de la industria marítima nacional y por lo tanto, se deben tomar definiciones locales sobre los *pathways* priorizados y comunicarlo tanto a nivel nacional como internacional.

Ecosistema (ambiental): la transición energética del sector busca reducir emisiones de CO₂ y minimizar el impacto del transporte marítimo en el cambio climático. Los combustibles limpios como el hidrógeno y el amoníaco tienen un impacto ambiental reducido, pero requieren cadenas de suministro sostenibles. Además, estas tecnologías apoyan la preservación de ecosistemas marinos y mejoran la calidad del aire en zonas portuarias.

- Reducción de emisiones de contaminantes locales y globales: el objetivo es reducir las emisiones asociadas al transporte marítimo para combatir el cambio climático pero también para mejorar la calidad del aire en las zonas portuarias y ciudades aledañas.
- Conservación del ecosistema: el uso de combustibles alternativos puede afectar los ecosistemas marinos debido a su toxicidad, al igual que los combustibles fósiles.
- Economía circular: uso de tecnologías para minimizar residuos y promover el reciclaje dentro del sector, como atributo asociado al desarrollo de nuevas industrias para la descarbonización.

Legal/Regulación: Regulaciones como el ETS marítimo en la UE y los estándares de la OMI están impulsando la transición hacia buques más limpios.

- OMI 2023 Estrategia Revisada: define metas de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y, específicamente para 2030, meta de consumo de combustibles alternativos.

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

- AFIR en la Unión Europea busca que los puertos de los países miembros comiencen a habilitar la infraestructura necesaria para el bunkering de combustibles alternativos
- Japón y Corea del Sur desarrollan marcos normativos específicos para promover tecnologías de hidrógeno y amoníaco, alineándose con estándares internacionales y sancionando incumplimientos, lo que refuerza el compromiso global con la descarbonización del sector.
- Seguridad: se deben estandarizar las medidas de seguridad asociadas al uso de combustibles alternativos en el sector del transporte marítimo.
- EU ETS marítimo: el transporte marítimo es parte de los sectores productivos de Europa que integran el sistema de comercio de emisiones, que incentiva el uso de alternativas con menos emisiones asociadas.
- FuelEU Maritime: establece metas de reducción de emisiones en el consumo de combustibles para el transporte marítimo. El no cumplimiento de estas metas de reducción tiene penalizaciones asociadas.

3.3. Análisis FODA

El objetivo de este análisis es comprender el entorno en el cual se desarrollará la transición de la industria marítima mediante el uso de combustibles alternativos, identificando las **fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas (FODA)**, que se muestran sintetizadas en la Figura 44. En este se reflejan los hallazgos más relevantes obtenidos en los paquete de trabajo anteriores, desarrollo de otras actividades llevadas a cabo en el marco del presente estudio, identificación y sistematización de brechas, junto con los resultados de los estudios desarrollados en paralelo.

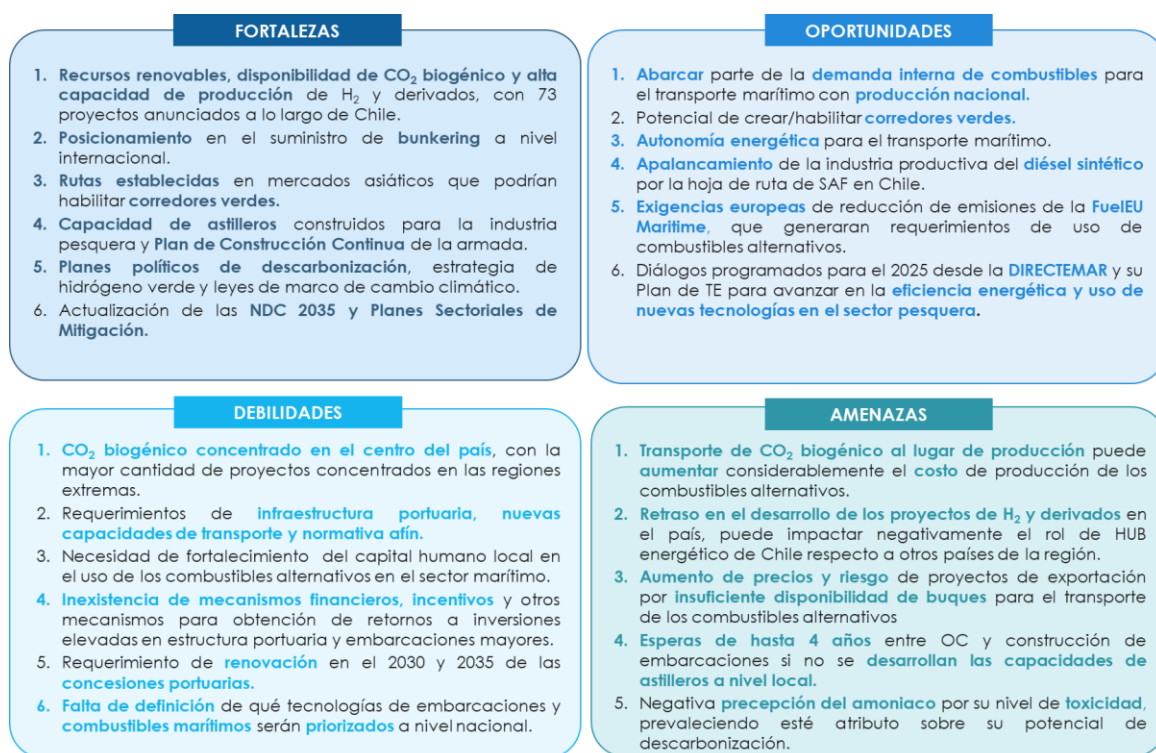


Figura 44: Síntesis análisis FODA. Fuente: elaboración propia.

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

Fortalezas:

- Chile cuenta con **recursos renovables excepcionales** para la producción de H₂ y derivados.
- Hay **73 proyectos anunciados de producción de hidrógeno y derivados** en distintas etapas de desarrollo y operacionales en Chile.
- **Disponibilidad de CO₂ biogénico** en el país.
- Existe un **posicionamiento en el suministro de bunkering** a nivel internacional.
- Posee **3 regiones bien posicionadas en el desarrollo de H₂ verde y derivados**, tanto para exportación como demanda local: Antofagasta, Biobío y Magallanes y la Antártica Chilena.
- Chile **tienen rutas establecidas en mercados asiáticos** que podrían habilitar corredores verdes de países que buscan iniciar pruebas como Corea del Sur, Japón, Singapur y China.
- Chile posee **capacidad de astilleros** que ha construido principalmente para la industria pesquera.
- Existe desde la **Armada de Chile un Plan de Construcción Continua** que busca poder construir el 100% de las naves para la Armada
- Existe un **marco político** que orienta la carbono neutralidad de Chile al 2050, una estrategia de Hidrógeno verde y una Ley marco de cambio climático.
- Actualización de las **NDC 2035 y Planes Sectoriales de Mitigación**. El Ministerio del Medioambiente se encuentra desarrollando esta actualización, la cual una vez publicada en 2025 es un instrumento de cumplimiento para la reducción de CO₂.
- La DIRECTEMAR está desarrollando un Plan de Descarbonización de la Industria Marítima, para cabotaje (400 naves mayores y 2000 embarcaciones menores)
- Existe normativa que ya obliga a reportar el consumo de combustible para la salmonicultura y las grandes embarcaciones.

Oportunidades:

- **Suplir al menos parte de la demanda interna de combustibles alternativos** para el transporte marítimo con producción nacional.
- Hay proyectos de producción de **e-Diesel y metanol verde** pensados para entrar en operación hacia 2030 y que buscan offtakers
- Encadenar el uso de combustibles alternativos con la **reducción de la huella de carbono de la matriz productiva** de exportación de Chile.
- El potencial de crear/habilitar corredores verdes podrían ser más competitivos si se generan incentivos que beneficien el producto final a ser exportado, con baja huella de carbono.
- Ser **independientes energéticamente** para el transporte marítimo, con combustibles producidos a nivel nacional.
- Pocos proyectos cuentan con offtakers “asegurados”, lo que representa la oportunidad de competir con la intención de exportar de los desarrolladores.
- La regulación europea, **FuelEU Maritime, también tiene un impacto en las naves que realizan viajes desde o hacia la Unión Europea**, por lo que embarcaciones que zarpan de los puertos del país requerirán de combustibles alternativos para cumplir con ella. Esto presenta una oportunidad para empujar el desarrollo de esta industria.
- Chile tiene una **hoja de ruta de SAF** que puede apalancar la industria productiva de diésel sintético.

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

- Incluir iniciativas del transporte marítimo dentro de la actualización de las NDC para que se transforme en un instrumento de cumplimiento para la industria que fomente la adopción de combustibles alternativos en Chile.
- El 2025, desde la DIRECTEMAR y su Plan de TE, se iniciarán diálogos con el sector pesquero para eficiencia energética, uso de nuevas tecnologías y diseñar esquema de incentivos.
- La programación eficiente de rutas marítimas internacionales y el conocimiento de las necesidades específicas de las flotas internacionales pueden facilitar esta transición con puertos de las principales regiones de Chile.

Debilidades:

- El **CO₂ biogénico se concentra en el centro del país**, en la región del Biobío, y los proyectos de producción de gran escala se concentran en las regiones extremas, Antofagasta y Magallanes y la Antártica Chilena.
- Para la carga de combustibles alternativos marítimos se requiere **adaptar la infraestructura portuaria, junto con normativas y estándares**.
- **Se requieren nuevas capacidades de transporte** para la exportación de H₂ y sus derivados.
- **Se requiere fortalecer el capital humano capacitado** para el uso de estos productos como combustibles alternativos en el sector marítimo, igualmente el desarrollo de proyectos de hidrógeno y derivados, y tampoco para la operación de los mismos.
- **No existen mecanismos financieros, incentivos u otros mecanismos** que permitan poder obtener retornos a inversiones grandes como son a nivel de infraestructura portuaria y embarcaciones mayores
- **Las concesiones portuarias** deberán en su mayoría ser renovadas en el 2030 y 2035, por tanto cualquier inversión requerida en infraestructura no logrará rentabilizarse.
- **No existe un pronunciamiento a la industria** marítima nacional sobre qué tecnologías de embarcaciones y combustibles marítimos serán los priorizados a nivel nacional, por tanto hay incertidumbres a la hora de invertir en nuevas embarcaciones.
- **Falta permear la cultura de eficiencia energética en los operadores**, por ejemplo, controlando las velocidades y capacitando a las tripulaciones

Amenazas:

- El **transporte del CO₂ biogénico al lugar de producción puede aumentar considerablemente el costo** de producción de los productos que lo requieran (MeOH, diésel sintético), impactando la competitividad del sector.
- El **retraso en el desarrollo de los proyectos de H₂ y derivados**, junto con las adaptaciones en puertos para el suministro, podrá impactar en el futuro rol de HUB energético de Chile respecto de otros países de la región.
- La **disponibilidad insuficiente de buques para el transporte de hidrógeno y derivados** para suplir la nueva demanda: aumento de precios y aumento de riesgos para proyectos de exportación.
- **Sin el desarrollo de nuevas capacidades de astilleros** se tendrá que entrar en esperas de hasta 4 años entre puesta de orden de compra y construcción.
- **Existe una percepción muy marcada de que el amoníaco es tóxico y por tanto**, prevaleciendo este atributo por sobre su potencial de descarbonización de la industria marítima.

La transición energética del sector marítimo presenta ventajas en el ecosistema chileno debido al potencial que tiene el desarrollo de la industria del hidrógeno verde y sus derivados en el país. Esto debido, principalmente, a la disponibilidad de recursos renovables excepcionales y de materias primas requeridas para la producción de los derivados del hidrógeno, como lo es el CO₂. En esta misma línea, si el transporte marítimo utilizara estos combustibles existe la oportunidad de alcanzar una autonomía energética en el sector o en parte de este.

3.4. Consideraciones para el desarrollo de la Hoja de Ruta

El diagnóstico realizado permitió identificar diversas brechas que limitan el desarrollo del hidrógeno y sus derivados como combustibles alternativos para la transición energética de la industria marítima. Estas brechas se han sistematizado en torno a los **8 ejes estratégicos** definidos en la sección 3.1.

En cuanto a el **eje 1 de gobernanza, acuerdos y alianzas**, destaca la falta de un marco de gobernanza claro que defina los roles y responsabilidades de los diferentes actores involucrados en la transición energética del sector marítimo. Esto permitiría alinear las actividades, optimizar recursos y distribuir esfuerzos de manera eficiente, especialmente en áreas clave como investigación y desarrollo (I+D). En términos de **infraestructura portuaria (eje 2)**, la falta de capacidad de almacenamiento para combustibles alternativos y de la infraestructura necesaria para su suministro representa una brecha crítica. Es prioritario trabajar en la disponibilidad de instalaciones portuarias adaptadas a estas nuevas demandas.

Por otra parte, **la logística para el suministro (eje 3)** requerirá establecer una red integrada para el suministro de combustibles alternativos. Asimismo, es esencial identificar los combustibles prioritarios para centrar los esfuerzos logísticos en su desarrollo y distribución. En el **eje 4 de desarrollo tecnológico** fue donde se identificó una mayor cantidad de brechas. De ellas se desprende que se necesitan avances tecnológicos que permitan reducir los costos asociados a la adaptación, reconversión y recambio de embarcaciones con tecnologías nuevas, que permitan el uso de combustibles alternativos. Además, se debe fomentar el I+D en aplicaciones específicas como el uso de los combustibles alternativos estudiados en el transporte marítimo, para acelerar su implementación.

Para el **eje 5 de capital humano** se identifica una carencia de personal capacitado para toda la cadena de valor de la transición energética en el sector marítimo. Esto incluye la formación de profesionales para la construcción y operación de plantas de producción de combustibles alternativos, así como operadores portuarios y consumidores finales que operarán y/o mantendrán estas tecnologías empleadas en embarcaciones. En términos de **desarrollo social y ambiental (eje 6)**, es fundamental estandarizar los procesos de revisión ambiental de proyectos, identificando de manera precisa los impactos sociales y ambientales asociados a la operación de puertos que suministren nuevos tipos de combustibles. Para el **eje 7 de regulación** se identifica la falta de regulaciones específicas para el uso de combustibles alternativos en aplicaciones de movilidad marítima. En la misma línea, es crucial contar con normativas que promuevan su adopción frente al uso de combustibles fósiles por estos sectores, incentivando la transición hacia alternativas más limpias.

Finalmente, el **financiamiento y competitividad (eje 8)** se destaca que los altos costos de los combustibles alternativos constituyen una barrera significativa para su implementación, junto con los costos asociados a la adaptación, la reconversión y el recambio de embarcaciones. Se requieren mecanismos que potencien la transición y también, por el lado de los combustibles alternativos, se requieren mecanismos de financiamiento que disminuyan el riesgo de los proyectos en etapas tempranas, facilitando su desarrollo hasta alcanzar la etapa

operativa y, con ello, mejorar la competitividad de sus productos en el mercado.

Por su parte, el **análisis PESTEL** demuestra que la transición energética del sector marítimo está impulsada por factores políticos, económicos, sociales, tecnológicos, ecológicos y regulatorios que presentan tanto oportunidades como desafíos. Políticamente, las iniciativas de cooperación gubernamentales y los corredores verdes establecen un marco claro hacia la descarbonización. En términos económicos, a pesar de que el costo de los combustibles alternativos son una barrera, incentivos como créditos de carbono y financiamiento verde están promoviendo su adopción.

En el ámbito social, la demanda por cadenas de suministro sostenibles y mejoras en comunidades portuarias subraya el impacto positivo de la transición, aunque se requiere mayor capacitación para su implementación. Los factores tecnológicos muestran que el desarrollo de alternativas de propulsión y la concentración de capacidades en Asia evidencian la necesidad de ampliar la innovación global. Desde una perspectiva ecológica, ambiental, los combustibles limpios reducen emisiones, pero se requiere de cadenas de suministro seguras para evitar potenciales impactos negativos en el ecosistema. Finalmente, las regulaciones, como el ETS marítimo de la UE, están estableciendo estándares que refuerzan la transición hacia tecnologías más limpias.

La interacción de estos factores demanda coordinación internacional y multisectorial para superar las barreras y avanzar hacia un sector marítimo sostenible y competitivo, donde Chile y específicamente la Armada de Chile podrían hacer parte de ella.

El **análisis FODA** destaca que Chile posee un ecosistema favorable para el desarrollo de la industria del hidrógeno verde y sus derivados, impulsado principalmente por sus recursos renovables excepcionales, su posicionamiento estratégico en el suministro de combustibles marítimos y la disponibilidad de CO₂ biogénico. Estas fortalezas, junto con oportunidades como la posibilidad de suplir la demanda interna con precios menores a los que tendrían productos importados con similares características, además de aumentar exportaciones y avanzar hacia una mayor independencia energética en el transporte marítimo, posicionan al país como un actor clave en la transición energética del sector.

Sin embargo, persisten debilidades importantes, como la necesidad de adaptar infraestructura portuaria, desarrollar capacidades de transporte y resolver las limitaciones geográficas relacionadas con la concentración de CO₂ biogénico y los proyectos en desarrollo. Estas carencias, combinadas con amenazas como el aumento de costos logísticos, retrasos en proyectos de hidrógeno y la insuficiencia de buques especializados para exportación, podrían limitar el aprovechamiento del potencial del país como un hub energético global.

La transición energética de la industria marítima chilena cuenta con **ventajas**. Una de ellas es que Chile destaca por su abundante disponibilidad de recursos renovables, posicionándose como un lugar ideal para la producción de hidrógeno verde y sus derivados. Además, la existencia de un creciente portafolio de proyectos anunciados y la disponibilidad de CO₂ biogénico refuerzan este potencial, su ubicación estratégica y experiencia en el suministro de combustibles a nivel internacional son fortalezas clave que respaldan la posibilidad de convertirse en un hub energético regional y global.

Entre las **desventajas**, la principal es que no se cuenta con un marco regulatorio que empuje la adopción de combustibles alternativos para la industria marítima nacional. En este sentido, los combustibles alternativos no son reconocidos dentro de la regulación vigente, tampoco existen reglamentos que promuevan reducción de emisiones de CO₂ a partir del uso de combustible alternativos marinos, no existe un pronunciamiento nacional de cual/cuáles serán los combustibles alternativos suministrados en el país, generando mucha incertidumbre en los actores partícipes de la industria ante la definición de inversiones futuras de

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

embarcaciones habilitadas para el uso de combustibles alternativos. Estas debilidades se ven agravadas por los altos costos de inversión, la falta de incentivos específicos que estén alineados a los objetivos de adopción de combustibles alternativos producidos en la industria nacional, y la necesidad de desarrollar capacidades técnicas y de capital humano en toda la cadena de valor.

En cuanto a las **oportunidades**, el marco regulatorio internacional, como el *FuelEU Maritime* y los corredores verdes, que impulsan la demanda de combustibles alternativos, generan un contexto favorable para el desarrollo de esta industria en Chile y participar como *offtakers* de ella. La posibilidad de que las capacidades de producción de H₂ verde y derivados suplan la demanda marítima interna representa la oportunidad de ser autónomos energéticamente en esta industria. En términos económicos, existe la oportunidad de aumentar las exportaciones del país si se desarrolla la industria del hidrógeno y sus derivados. Además, la alineación de los esfuerzos nacionales con las tendencias globales hacia la sostenibilidad ofrece un punto de partida sólido para competir en mercados internacionales. Finalmente, la creciente presión social por cadenas de suministro seguras y la inversión en innovación tecnológica presentan una ventana única para fortalecer la posición chilena en la transición energética.

A partir de lo anterior se identificaron una serie de consideraciones que se deben tener en cuenta para el desarrollo de la **Hoja de Ruta para la transición de la industria marítima hacia la carbono neutralidad**, para poder enfocar esfuerzos en base a las brechas identificadas y al análisis del entorno desarrollado:

- ▶ La hoja de ruta deberá estructurarse acorde a los ocho ejes estratégicos análogos a los que se utilizaron para la agrupación de brechas, es decir: (1) Gobernanza, Acuerdos y Alianzas, (2) Infraestructura Portuaria, (3) Logística para el Suministro, (4) Desarrollo Tecnológico, (5) Capital Humano, (6) Desarrollo Social y Ambiental, (7) Regulación, (8) Financiamiento y Competitividad.
- ▶ El corto plazo, definido como el período 2025 al 2030, se deberá poner foco en posicionar a la Armada en una nueva figura de gobernanza para articular al sector (eje 1) y dinamizar con los actores de la industria las iniciativas habilitadores, tanto normativos (eje 7) como de infraestructura y logística (eje 2 y 3).
- ▶ También en el corto plazo, la se deberá trabajar y explorar mecanismos de cumplimiento para la industria marítima a partir de la actualización de las NDC al 2035 y que está trabajando el Ministerio de Medio Ambiente para su presentación al 2025. Esto es un trabajo entre varios ministerios, entre ellos, Ministerio de Transportes, por tanto un espacio formal para poder dejar expresado metas de descarbonización y/o adopción de combustibles alternativos para el cabotaje en Chile.
- ▶ En el marco de la Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde y su respectivo Plan de Acción, el ecosistema nacional viene diseñando diversos mecanismos que permitan cubrir los costos mayores de las tecnologías y aplicaciones de usos finales, entre otros. La Hoja de Ruta deberá buscar sinergias con estas iniciativas para dinamizar financiación y competitividad (eje 8) que puedan aportar en distintas etapas de la cadena de valor de la industria marítima nacional. Para esto, será clave que la Armada, en su nuevo rol articulador, logre posicionar al sector marítimo nacional en la agenda de la transición energética y descarbonización del país.
- ▶ La Hoja de Ruta deberá fortalecerse a partir de las sinergias que se dan en el contexto nacional y regional que está promoviendo el portafolio de proyectos de producción de H₂ y derivados, el desarrollo de capital humano, el desarrollo de I+D y encadenamiento productivo, el desarrollo social y ambiental, entre otros. También deberá buscar sinergias con las acciones que se deriven de la Hoja de Ruta de SAF (Combustibles de Aviación Sostenibles, por su sigla en inglés).
- ▶ El impulso de la industria del H₂ verde y derivados en Chile ofrece una importante oportunidad para alcanzar la autonomía energética marítima, dejando de depender

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

de la importación de combustibles fósiles. En este sentido, la hoja de ruta deberá trabajar para poder producir de forma competitiva combustibles alternativos como el amoníaco, metanol y el e-Diésel, pensando en embarcaciones mayores. En el caso de las embarcaciones menores, se deberá priorizar la electrificación directa a partir de baterías o celdas de combustibles de hidrógeno.

- ▶ La autonomía energética marítima no solo deberá velar por la producción de combustibles alternativos y contar con la infraestructura para su suministro en puertos del país. Es así, como la hoja de ruta deberá también considerar el desarrollo de capacidades internas que permitan adoptar las nuevas tecnologías en los sistemas de propulsión, a nivel de I+D, en la creación de nuevos astilleros, en la formación de capital humano especializado para la industria naval, en las sinergias del Plan de Construcción Continua de la Armada.

4. Presentación de la Hoja de Ruta para la carbono neutralidad al 2050 de la industria marítima

El proceso de desarrollo de la presente consultoría y los resultados obtenidos en sus cinco paquetes de trabajo, han **permitido dimensionar el desafío que deberá liderar y articular la Armada de Chile para lograr la carbono neutralidad de la industria marítima nacional**. En este contexto, la Hoja de Ruta busca ser un insumo técnico y estratégico para la Armada de Chile que le permita poner foco en aquellos elementos centrales en el corto y mediano plazo, que a la vez oriente la toma de decisiones que apunten al largo plazo para lograr la autonomía energética y la descarbonización del sector marítimo en Chile.

Se debe señalar que la **Hoja de Ruta** resultante de la presente consultoría considera los siguientes alcances:

- ▶ Se fundamenta en los resultados obtenidos del análisis de **tendencias globales** de tecnologías marítimas basadas en el uso de hidrógeno renovable y derivados, tal cual se indica en el objetivo de la consultoría.
- ▶ Considera los principales **resultados y hallazgos obtenidos de la caracterización del entorno nacional** (políticas y regulaciones sectoriales, flota marítima, identificación de los proyectos de producción de H₂ y derivados, proyecciones de demandas potenciales, entrevistas, entre otros).
- ▶ Pone foco en las **embarcaciones mayores** definidas por la DIRECTEMAR en su Boletín Estadístico Marítimo, pues será este segmento de la flota marítima nacional la más susceptible de demandar combustibles marítimos alternativos en el futuro, principalmente por sus requerimientos operacionales²².
- ▶ Busca habilitar las condiciones para la **generación de un modelo de desarrollo energético marítimo vinculado al hidrógeno** desde la Armada de Chile, logrando así tener sinergias con la Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde como con la Hoja de Ruta de SAF.
- ▶ Contribuye a la **visión de la Armada de asegurar el suministro energético de su operativa**, en base a recursos renovables, lo que se justifica por el valor estratégico para el desarrollo productivo del país y para la defensa.

4.1. Visión y Valores de la Hoja de Ruta

A continuación se presenta la **visión y los valores de la Hoja de Ruta para la carbono neutralidad al 2050 de la industria marítima**²³, dos elementos centrales que proporcionan a todos los actores involucrados un propósito común y motivador de lo que se desea lograr en el largo plazo (**visión**), así como los principios que influirán en la toma de decisiones, en el relacionamiento entre actores y en todas aquellas acciones que se deberán materializar en el corto, mediano y largo plazo (**valores**).

²² Las embarcaciones menores serán en general más susceptibles a ser electrificadas directamente, ya sea con baterías o con celdas de combustibles de hidrógeno.

²³ Basado en el desarrollo del taller de visión y objetivos estratégicos (ver Anexo 6.6).

VISIÓN

Convertir a Chile en un hub energético de producción y suministro de combustibles alternativos para la industria marítima nacional e internacional, liderando la transición energética hacia la carbono-neutralidad al 2050 en el cabotaje nacional, mediante la consolidación de la industria marítima chilena y el desarrollo de una infraestructura robusta que permita garantizar la autonomía energética de esta, de forma sostenible y competitiva.

Esta propuesta integra tanto el propósito central de la carbono neutralidad al 2050 como aquellos conceptos priorizados en la dinámica de “propósito” desarrollada en el taller de Visión y Objetivos Estratégicos, los cuales apuntaron prioritariamente al liderazgo del país como hub energético para el sector marítimo, el desarrollo de una industria marítima y la autonomía energética.

VALORES

- ▶ **Transparencia:** Garantizar la reportabilidad del progreso de la Hoja de Ruta para fortalecer la credibilidad y confianza de la ciudadanía, los actores de la industria marítima y de inversionistas.
- ▶ **Autonomía energética:** liderar la demanda local marítima y desarrollar proyectos productivos que permitan concretar la visión de independencia energética en el sector marítimo chileno.
- ▶ **Competitividad:** Establecer un marco regulatorio que viabilice inversiones sostenibles, asegurando que los combustibles alternativos sean económicamente accesibles a corto, mediano y largo plazo.
- ▶ **Excelencia operacional:** Liderar la transformación del sector marítimo garantizando altos estándares de seguridad, eficiencia energética y operacional, mientras se mantiene la competitividad de la matriz productiva chilena para satisfacer los mercados internacionales con productos finales con menor huella de carbono.
- ▶ **Sostenibilidad:** Adoptar un enfoque integral que incluya la mitigación del cambio climático, la conservación del medio ambiente y los ecosistemas marinos, economía circular, uso sostenible de recursos renovables, una gestión adecuada del territorio y el impacto positivo en la sociedad.
- ▶ **Innovación y desarrollo:** Posicionar a Chile como líder en el desarrollo tecnológico de la industria naval y de la infraestructura necesaria para implementar combustibles alternativos en el sector marítimo.
- ▶ **Colaboración:** Fomentar alianzas multisectoriales a nivel nacional e internacional, promoviendo el trabajo conjunto para acelerar la transición energética del sector.
- ▶ **Inclusión y equidad:** Garantizar que la transición energética sea justa para todas las regiones de Chile, integrando las necesidades de sus costas y habitantes, y promoviendo el desarrollo del capital humano con equidad de género.
- ▶ **Resiliencia:** Diseñar soluciones y planes de adaptación que respondan a la alta vulnerabilidad de Chile frente al cambio climático, asegurando que la transición energética marítima fortalezca la capacidad del país para enfrentar sus impactos.

Esta propuesta integra aquellos conceptos priorizados en la dinámica de “valores” desarrollada en el taller de Visión y Objetivos Estratégicos, los cuales apuntaron categóricamente a la autonomía energética, seguido del liderazgo tecnológico. Además, se incluyen valores asociados a la transición energética justa y a la industria marítima propiamente tal.

4.2. Temporalidades de la Hoja de Ruta y objetivos estratégicos

La **Hoja de Ruta para la carbono-neutralidad al 2050 de la industria marítima** considerará tres temporalidades que se describen a continuación:

- ▶ **Corto plazo (2025 - 2030).** Período donde se deberá concretar los habilitadores de la transición energética (regulatorios, incentivos, entre otros), pero también de materializar pilotos a nivel de anuncios y/o implementación (parcial/total), que a su vez sea el impulso inicial para la creación de capacidades de Investigación, Desarrollo, Innovación (I+D+i) y capital humano. En este periodo se iniciará la descarbonización del cabotaje de embarcaciones mayores por medio de producción de diésel sintético (o e-diésel), así como la incorporación de sistemas de propulsión eléctricos (baterías o celdas de combustible de hidrógeno) para embarcaciones menores. En el caso del transporte internacional, se buscará implementar al menos 1 corredor verde que use metanol verde.
- ▶ **Mediano Plazo (2031 - 2040).** Este periodo será clave para el posicionamiento de Chile como hub energético de producción y suministro de combustibles alternativos para la industria marítima nacional e internacional, habilitando corredores verdes de movilidad marítima, nacionales e internacionales. Además, en este periodo se habrán escalado las capacidades para adaptar y reconvertir embarcaciones con tecnología nacional. Adicionalmente, este periodo tendrá al 2035 un hito para la industria marítima de Chile, logrando tener cinco regiones con capacidad de suministro energético de combustibles marítimos alternativos.
- ▶ **Largo plazo (2041 - 2050).** Este periodo será de consolidación de Chile en su rol dentro de la descarbonización de la industria marítima basada en el suministro de metanol y amoníaco renovable para el transporte internacional. Al final del periodo se tendrá una operación carbono neutral para el cabotaje de embarcaciones mayores, que utilice amoníaco verde y diésel sintético; y para embarcaciones menores, que utilice sistemas de propulsión eléctricos (baterías o celdas de combustibles de hidrógeno). Durante este periodo se habrá consolidado también la industria naval y tecnologías asociadas.

OBJETIVOS ESTRATÉGICOS²⁴

1. Comenzar las operaciones del **primer corredor demostrativo, nacional y/o internacional, al 2030** con Metanol Verde.
2. Ser pionero en la **reconversión de motores marítimos, implementando al 2030** al menos 1 piloto de embarcación mayor, 1 piloto de embarcación menor y 1 piloto de embarcación Armada para uso de combustibles alternativos marítimos (diésel sintético o Metanol).
3. Desarrollar **nuevas carreras profesionales y técnicas o adaptar existentes al 2030** que permitan posicionar la academia naval en el liderazgo de nuevas tecnologías y capacidades de construcción naval del país.
4. Ser el **principal offtaker (industria marítima nacional, incluida la Armada) de combustibles alternativos derivados del H₂** producidos en Chile al 2040.
5. Priorizar al **2035 la oferta de diésel sintético** e infraestructura asociada para la industria marítima a través del fomento a la competitividad de los proyectos de producción y en sinergia con el desarrollo de la Hoja de Ruta de SAF del país.
6. Posicionar al **2035 a Chile como hub energético** de combustibles renovables para la industria marítima, implementando **cinco puertos a lo largo del país** y su infraestructura asociada, junto a corredores verdes (nacionales e internacionales), cada uno con astilleros constituidos.
7. Tener al **2050 1 o más puertos para el suministro de combustibles alternativos** derivados del H₂.

4.3. Plan estratégico y táctico

A partir de las brechas sistematizadas (Anexo 6.4) en los ejes estratégicos definidos y descritos en la sección 4.1, se elaboró un plan estratégico y un plan táctico que conformarán la Hoja de Ruta.

Para las brechas sistematizadas se construyó un **plan estratégico** (ver Figura 45 y Figura 46) compuesto por 20 iniciativas generadas que, en su conjunto, abarcan y permitirán dar cierre a la totalidad de las brechas centrales. Estas iniciativas se han organizado temporalmente según el período en que deben ser implementadas: corto, mediano y/o largo plazo. Algunas se extenderán a través de más de un horizonte temporal, mientras que otras generarán impactos en acciones continuas a lo largo del tiempo, lo que se puede observar en la Figura 45 y la Figura 46.

A partir del plan estratégico, se desarrolló el **plan táctico** en el que se definen los **planes de acción** para cada una de las iniciativas. Este representa los pasos lógicos que se deberán seguir en las temporalidades respectivas de cada iniciativa estratégica (corto, mediano, largo plazo). Para cada una de estas se construyó una ficha que contiene las brechas que cada iniciativa busca cubrir, los resultados esperados de su implementación, la temporalidad de las acciones, los actores clave involucrados y los indicadores necesarios para monitorear el avance y el cumplimiento de los objetivos establecidos (ver Anexo 6.5).

²⁴ Estos objetivos estratégicos buscarán integrar y/o complementar hacia la entrega final con aportes provenientes de los estudios paralelos que se encuentran en desarrollo

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

EJES ESTRATÉGICOS	Corto plazo (2025-2030)	Mediano plazo (2031-2040)	Largo plazo (2041-2050)
 1. Gobernanza, acuerdos y alianzas	1.1 Implementar el modelo de gobernanza para la transición energética de la industria marítima.	Operación sistemática de la Gobernanza	
	1.2 Posicionar la industria marítima y crear alianzas nacionales e internacionales	Industria marítima principal offtaker de combustibles alternativos derivados del H ₂ producidos en Chile	
 2. Infraestructura portuaria	2.1 Definir y establecer rutas de navegación de embarcaciones mayores que usen combustibles alternativos para cinco (5) regiones de Chile	Rutas de navegación y suministro de combustibles alternativos para todas las regiones de Chile	
	2.2 Desarrollar planes de adecuación, inversión y construcción para puertos de Chile	Ejecución progresiva de Planes de Inversión Portuarios para suministro combustibles alternativos	
 3. Logística para el de suministro	3.1 Desarrollar estrategia integral para cinco regiones de Chile que defina el/los puertos, combustibles alternativos a suministrar, y logística de abastecimiento asociada	Implementación progresiva de red logística de provisionamiento energético de combustibles alternativos para la industria marítima	
	3.2 Evaluar infraestructura de uso común con fines de abastecimiento para cinco (5) regiones de Chile	Implementación progresiva de infraestructura de uso común con fines de suministro energético de combustibles alternativos para la industria marítima	
 4. Desarrollo tecnológico	4.1 Diagnosticar todas las flotas mayores respecto de opciones tecnológicas para la adopción de combustibles alternativos (adaptación, retrofit o recambio)		
	4.2 Fortalecimiento de capacidades de la industria naval, astilleros y proveedores de tecnología para el desarrollo de pilotos		
	4.3 Desarrollo de estrategia Armada para retrofit y diseño/construcción de nuevas naves que utilicen combustibles alternativos	Implementación progresiva para retrofit y renovación de flota de Armada	

Figura 45: Plan Estratégico (1 de 2) para los Ejes 1, 2, 3 y 4 de la Hoja de Ruta para la adopción de combustibles alternativos derivados del Hidrógeno Verde. Fuente: Elaboración propia.

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

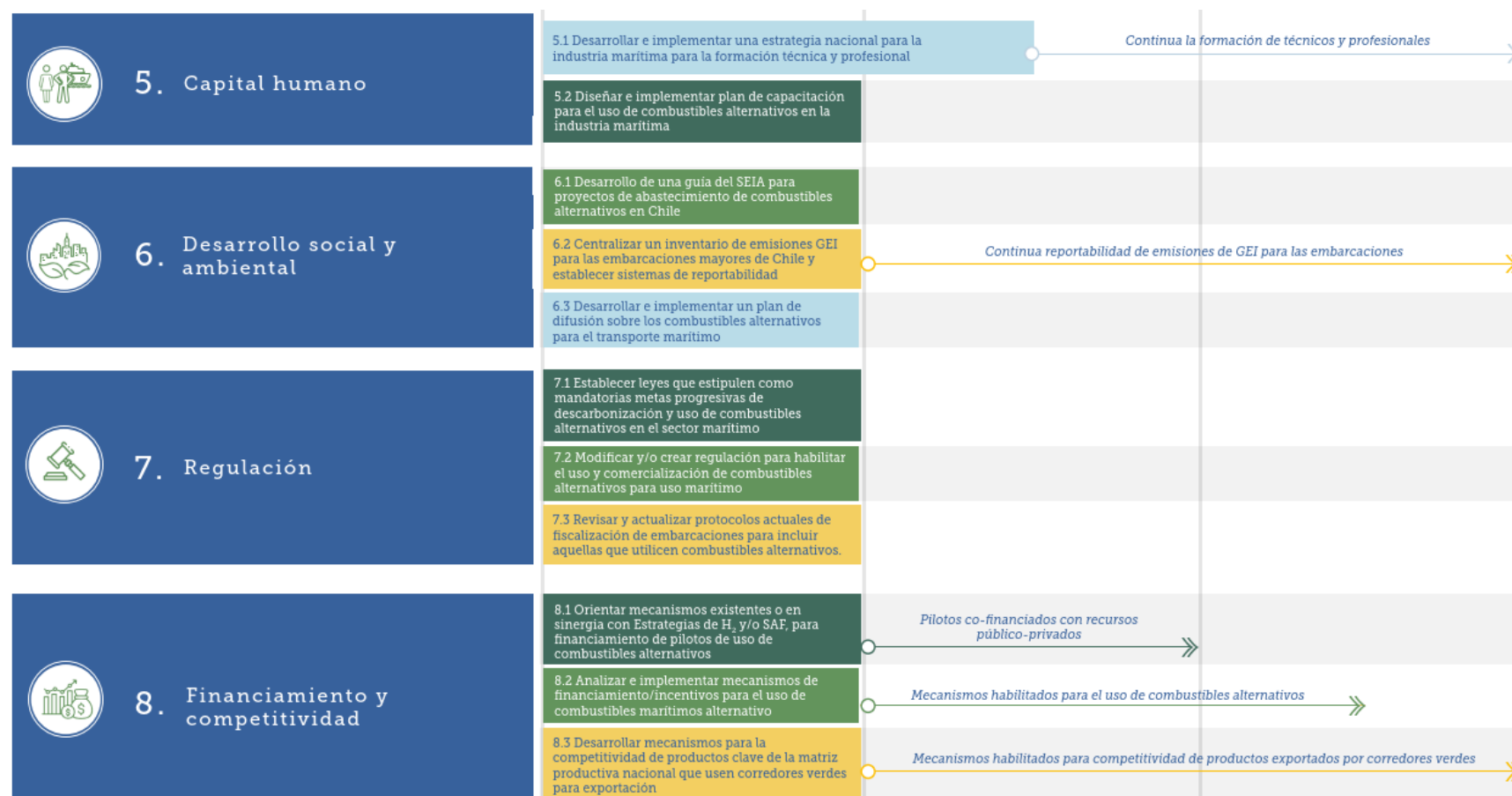


Figura 46: Plan Estratégico (2 de 2) para los Ejes 5, 6, 7 y 8 de la Hoja de Ruta para la adopción de combustibles alternativos derivados del Hidrógeno Verde. Fuente: Elaboración propia.

4.4. Mensajes finales y recomendaciones para la Hoja de Ruta

Como resultado del presente estudio, cuyo **objetivo general fue proponer una Hoja de Ruta para alcanzar la carbono neutralidad de la industria marítima el año 2050, fundamentada en el análisis de las tendencias globales y nacionales de tecnologías de propulsión marítima basadas en el hidrógeno renovable y sus derivados**, se obtuvo la elaboración de una **Hoja de Ruta** que promueve el uso de combustibles alternativos provenientes del hidrógeno verde: **Metanol, Amoníaco y Diesel Sintético o e-Diesel**, a ser utilizado en embarcaciones mayores (DIRECTEMAR, 2024). Es así como el presente entregable es **un insumo técnico** que servirá como base para las acciones estratégicas que la Armada de Chile desarrollará a partir del año 2025 mediante el trabajo con actores de distintos sectores. El resultado propuesto de la Hoja de Ruta consideró todos los insumos generados a lo largo de los cuatro paquetes de trabajo presentados en la Figura 1 (ver capítulo 1), resultados de los talleres desarrollados en el marco de la consultoría y los resultados que se originaron de los estudios paralelos para la Creación del Centro de Aseguramiento Energético y el estudio para el Retrofit de la Lancha de servicios Generales.

La Hoja de Ruta deberá ser considerado como un insumo que está orientado a **posicionar a esta industria como un actor clave (offtaker) en la adopción de hidrógeno verde y combustibles derivados**, en plena alineación con la Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde de Chile y hojas de ruta sectoriales como la de combustibles sostenibles para la aviación (SAF) (BID, 2024).

Se espera que el actual **proceso liderado por la Armada para la transición energética de la industria marítima** no solo fomente sinergias entre iniciativas nacionales en curso, sino que también adquiera una relevancia crucial para las actividades marítimas y servicios asociados en un contexto de descarbonización y cambio climático. Esto se traduce en impactos positivos en áreas estratégicas como la promoción de la **autonomía energética nacional** (Anexo 6.7), la implementación efectiva de medidas de reducción de emisiones de GEI en embarcaciones mayores, junto con el fortalecimiento de la seguridad energética del país frente a crisis globales y fluctuaciones extremas del mercado.

A partir del análisis desarrollado, se plantearon las siguientes recomendaciones que acompañan a esta Hoja de Ruta (HdR):

1. **Gobernanza:** Para facilitar la transición energética en la industria marítima, se recomienda establecer como acción temprana en el 2025 una gobernanza sólida e integrada, liderada por la Armada de Chile en conjunto con el Centro de Aseguramiento Energético. Este marco de gobernanza debe estructurarse en tres niveles principales y bajo las directrices provenientes del estudio de Creación del Centro de Aseguramiento Energético:
 - **Nivel Directivo:** Liderado por la Armada de Chile, este nivel proporcionará la dirección estratégica general y complementado con otros actores relevantes del sector público, privado y academia. Este input deberá venir desde los resultados y recomendaciones del estudio de Creación del Centro de Aseguramiento Energético.
 - **Nivel Ejecutivo:** Encabezado por un/a gerente general que reporte al Nivel Directivo y coordine la ejecución de las acciones estratégicas. Este deberá ser un perfil externo, no necesariamente alguien miembro de la Armada. Esta figura debe tener el reconocimiento tanto del Nivel Directivo como Operativo, y será quien velará porque las iniciativas de la HdR progresen en línea con la visión, valores y objetivos estratégicos
 - **Nivel Operativo:** Compuesto por equipos de trabajo especializados que implementen las líneas estratégicas definidas en la Hoja de Ruta. Se recomienda tener equipos gestores, al menos, 1 por cada eje estratégico de la HdR propuesta. Estos equipos ser

harán cargo de las iniciativas por eje, en coordinación con el nivel ejecutivo.

Adicionalmente, se recomienda establecer revisiones periódicas (trimestrales o semestrales) para evaluar el progreso y garantizar la alineación de la Hoja de Ruta con las principales iniciativas nacionales, como la Estrategia de Hidrógeno Verde, la Hoja de Ruta SAF, los Planes Sectoriales de Mitigación y la Estrategia Climática de Largo Plazo, entre otras.

2. **Ventana de oportunidad en la actualización del NDC al 2035:** Se identificó la necesidad de aprovechar la próxima actualización del NDC (Contribución Determinada a Nivel Nacional) a cargo del Ministerio de Medio Ambiente. Esta instancia presentará un nuevo presupuesto de emisiones de CO_{2e} a ser cumplido al 2035, y con ello, la necesidad de actualizar los Planes Sectoriales de Mitigación que involucran a 7 ministerios, entre ellos, el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones (MTT). Es así, como se recomienda como acción temprana del 2025, crear instancias de diálogo para visibilizar aportes de la industria marítima con base a la adopción de combustibles alternativos a ser incluidos en la actualización del PSM del MTT, que se dará una vez ya esté publicada la NDC 2035 para Chile. El hecho de que la industria marítima aparezca en la actualización de PSM del MTT implicará **establecer un marco de cumplimiento** que incluya metas específicas de reducción de emisiones de CO_{2e} en la industria marítima y que se podrá vincular con el uso de combustibles alternativos. Esto permitirá integrar las acciones de descarbonización del sector dentro de los compromisos climáticos de Chile, consolidando su liderazgo en la transición energética global.
3. **Regulación:** Una de las principales brechas identificadas en la viabilidad regulatoria es que, al 2024, los combustibles alternativos como el hidrógeno verde y sus derivados no cuentan con el reconocimiento legal necesario para su comercialización y uso en aplicaciones marítimas en Chile. Para superar este obstáculo, es fundamental actualizar el marco regulatorio nacional, considerando los siguientes aspectos clave
 - **Reconocimiento y estándares:** Establecer un marco legal que reconozca al hidrógeno verde y sus derivados como combustibles marítimos, acompañado de estándares de calidad que regulen su producción, manejo, almacenamiento y transporte.
 - **Seguridad operacional:** Garantizar que las normativas incluyan protocolos de seguridad para actividades como el cabotaje, el bunkering y la exportación, minimizando riesgos y cumpliendo con estándares internacionales. Además, en el caso de las actividades pesqueras y transporte de pasajeros, se deberá disponer de estándares de seguridad que no afecten a los pasajeros ni a los productos del mar extraídos.
 - **Competitividad:** de cara a 2030, la regulación debe cerrar la brecha de costos entre combustibles alternativos basados en hidrógeno versus fósiles como el MGO e IFOs. Bajo este contexto, se recomienda adoptar estrategias internacionales para limitar emisiones de GEI, implementar incentivos económicos para fomentar inversiones en tecnologías limpias y cumplir metas de la IMO, posicionando a Chile como un hub energético líder en combustibles marítimos sostenibles.
4. **Hito de Difusión.** Se propone realizar una actividad de presentación y difusión de la Hoja de Ruta para Jueves 8 de Mayo del 2025. En el intertanto, tanto el presente documento como la pieza gráfica de Autonomía Energética (ver Anexo 6.7) y de Hoja de Ruta (ver Anexo 6.8), son archivos de fácil diseminación del principal resultado de la hoja de ruta que corresponde al Plan Estratégico de Corto, Mediano y Largo Plazo (ver Figura 47).

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad



Figura 47: Referencia de las piezas gráficas para difusión creadas para el Concepto de Autonomía Energética Marítima (Izquierda), y para la Hoja de Ruta producto de la consultoría (Centro y Derecha)

5. Referencias

ABS. (2020). *Pathways to Sustainable Shipping*.

AGCID, Ministerio de Energía, CORFO, & Unión Europea. (2022). *Cooperación técnica para proyectos de producción, almacenamiento, transporte y uso de hidrógeno verde*.

Agunsa. (s.f.). *Bunkering*. Obtenido de <https://agunsa.com/que-hacemos/bunkering/>

Air Liquide. (2022). *Air Liquide joins the fight against climate change, committing to achieve carbon neutrality by 2050*. Obtenido de <https://mx.airliquide.com/en/air-liquide-joins-fight-against-climate-change-committing-achieve-carbon-neutrality-2050#:~:text=Located%20in%20the%20northern%20region,US%2411.7%20million%20from%20Corfo.>

Aker Horizons. (s.f.). *What do we do: Chile*. Obtenido de <https://akerhorizons.com/what-we-do/chile-2/>

Anave. (2024). *Precios de los combustibles marinos*. Obtenido de <https://anave.es/precio-de-los-combustibles-marinos/>

Baumüller. (s.f.). Obtenido de Accionamientos de hidrógeno para barcos: el futuro de la movilidad marítima sin emisiones: <https://www.baumueller.com/es/sectores/naval/accionamientos-hidrogeno>

BID. (2024). *Hoja de Ruta SAF 2050*. Obtenido de https://h2news.cl/wp-content/uploads/2024/04/HOJA-DE-RURTA_SAF2050.pdf

Bitrán, E. (2024). *Transición energética: oportunidades y desafíos para Chile*. Obtenido de Espacio Público: <https://espaciopublico.cl/transicion-energetica-oportunidades-y-desafios-para-chile/>

BMWK. (2023). *National Hydrogen Strategy Update*. Federal Ministry for Economic Affairs and Climate Action.

Bureau Veritas. (2022). *Alternative fuels outlook for shipping*.

Caraballo, J. (2021). *En República Dominicana circulan más de 23 marcas de vehículos eléctricos*. (Diario Libre) Obtenido de <https://www.diariolibre.com/economia/en-republica-dominicana-circulan-mas-de-23-marcas-de-vehiculos-electricos-CO25819812>

Consejo de la Unión Europea. (2023). «Objetivo 55»: *promover la utilización de combustibles más ecológicos en los sectores marítimo y de la aviación*. Obtenido de Consejo de la Unión Europea: <https://www.consilium.europa.eu/es/infographics/fit-for-55-refueu-and-fueu/>

Consorcio Austral. (s.f.). *Nuestros Proyectos*. Obtenido de <https://caustral.com/proyectos/>

COPEC Marine. (s.f.). *Nosotros*. Obtenido de https://ww2.copec.cl/marine-fuels?gad_source=1&gclid=Cj0KCQiA_qG5BhDTARIsAA0UHSLa8LARA4knUMJuyj3PpDolp1-JEgzGZRbwlyb6ozQkRjkr6Bxx5hwaApPbEALw_wcB#nosotros-mf

CORFO. (s.f.). *Corfo firma acuerdos para financiar los primeros proyectos de Hidrógeno Verde a escala industrial en Chile*. Obtenido de https://www.corfo.cl/sites/Satellite?c=C_NoticiaNacional&cid=1476732098406&d=Tou

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

ch&pagename=CorfoPortalPublico%2FC_NoticiaNacional%2FcorfoDetalleNoticiaNacionalWeb

Cryospain. (2021). *Barcos impulsados por metanol: combustible alternativo al GNL*. Obtenido de <https://cryospain.com/es/barcos-impulsados-por-metanol>

Danish Shipping. (2022). *Towards Zero: Strategy of Danish Shipping 2022 - 2025*.

Dieterich, V., Buttler, A., Hanel, A., Spliethoff, H., & Fendt, S. (2020). *Royal Society of Chemistry*. Obtenido de Power-to-liquid via synthesis of methanol, DME or Fischer–Tropsch-fuels: a review: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2020/ee/d0ee01187h>

Direct Ferries. (s.f.). Obtenido de Stena Germanica: https://www.directferries.es/stena_line_stena_germanica.htm

DIRECTEMAR. (2021). *Estrategia General de la Administración Marítima de Chile*. Obtenido de <https://www.directemar.cl/directemar/site/docs/20230517/20230517092504/estrategia.pdf>

DIRECTEMAR. (2023). *Boletín Estadístico Marítimo 2023*. Obtenido de https://www.directemar.cl/directemar/site/docs/20230703/20230703133157/bem_2023_baja2.pdf

DIRECTEMAR. (2024). *Boletín Estadístico Marítimo*. Obtenido de https://www.directemar.cl/directemar/site/edic/base/port/boletin_maritimo.html

DIRECTEMAR. (2024a). *Unidades Navales*. Obtenido de http://armada.cl/armada/site/edic/base/port/unidades_navales.html

DNV. (2018). *Maritime Assessment of Selected Alternative Fuels and Technologies*.

DNV. (2024). *Energy Transition Outlook*. Obtenido de <https://www.dnv.com/energy-transition-outlook/>

DNV. (2024). *Regulations FuelEU, EU ETS, MRV*.

DNV. (2024a). *Maritime Forecast 2050*.

DNV. (2024b). *Rising to the Challenge of a Hydrogen Economy*.

DOE. (s.f.). *US Department of Energy*. Obtenido de Alternative Fuels Data Center: <https://afdc.energy.gov/fuels/emerging-dme>

EERA. (2024). *Ocean-Going Vessel Decarbonization Technology Assessment*. Energy & Environmental Research Associates.

El Magallánico. (2024). *RWE avanza con proyecto de Hidrógeno Verde Vientos Magallánicos: En Laguna Blanca*. Obtenido de <https://elmagallanico.com/2024/01/rwe-avanza-con-proyecto-de-hidrogeno-verde-vientos-magallanicos-en-laguna-blanca>

Engineering Toolbox. (2003). *Fuels - Higher and Lower Calorific Values*. Obtenido de The Engineering Toolbox: https://www.engineeringtoolbox.com/fuels-higher-calorific-values-d_169.html

European Commission. (2024). *Questions and Answers on Regulation (EU) 2023/1805 on the use of renewable and low-carbon fuels in maritime transport, and amending Directive 2009/16/EC*. Obtenido de <https://transport.ec.europa.eu/transport-modes/maritime/decarbonising-maritime-transport-fueleu-maritime/questions-and->

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

answers-regulation-eu-20231805-use-renewable-and-low-carbon-fuels-maritime-transport_en

Fortescue. (2024). *World's first use of ammonia as a marine fuel in a dual-fueled ammonia-powered vessel in the Port of Singapore*. Obtenido de <https://fortescue.com/news-and-media/news/2024/03/15/world-s-first-use-of-ammonia-as-a-marine-fuel-in-a-dual-fueled-ammonia-powered-vessel-in-the-port-of-singapore>

Foxon, T. (2013). *Encyclopedia of Energy, Natural Resource, and Environmental Economics*. Elsevier Science.

Fraunhofer. (2022). *Conversion of LNG Terminals for Liquid Hydrogen of Ammonia*.

Fraunhofer. (s.f.). *Power-to-MEDME*. Obtenido de Fraunhofer Chile: <https://www.fraunhofer.cl/es/proyectos/power-to-medme.html>

Friosur. (s.f.). *Flota y planta*. Obtenido de <https://www.friosur.cl/flota-y-planta/>

Frontera. (2023). *Chile podría convertirse en exportador de hidrógeno verde*. Obtenido de <https://fronterarg.com/chile-podria-convertirse-en-exportador-de-hidrogeno-verde/>

GIZ. (2023). *Encadenamientos productivos de la industria del hidrógeno verde y derivados en Magallanes y la Antártica Chilena: perspectivas, desafíos y oportunidades*.

GIZ. (2024). *Solar NH3-Pool Chile: Conceptos para el desarrollo de un parque industrial sostenible de hidrógeno/amoníaco verde en la región de Antofagasta (Chile)*.

Global Maritime Forum. (s.f.). *Getting to Zero Coalition*. Obtenido de Industry Roadmap: https://assets.ctfassets.net/gk3lrimlph5v/R8y3ohX2sddnAFO7zfWDc/0d9cd4a007204155d7359594ba8d28c4/Getting_to_Zero_Coalition_Industry_Roadmap.pdf

Gobierno de Chile. (2017). *Plan de Acción Nacional de Cambio Climático*.

Gobierno de Chile. (2020). *Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC) de Chile*.

Gobierno de Chile. (2023). *Programa Desarrollo Productivo Sostenible*. Obtenido de Gobierno de Chile: <https://programadps.gob.cl/>

Gobierno de Chile; ECLP2050. (2021). *Estrategia Climática de Largo Plazo de Chile*.

Gobierno de Países Bajos. (2015). *The Dutch Maritime Strategy 2015 - 2025*.

Gobierno de Países Bajos. (2022). *Global Climate Strategy*.

Gobierno Noruego. (2019). *The Government's Action Plan for Green Shipping*. Norwegian Ministry of Climate and Environment.

Gonzalez, F. (2023). *Eshidrogeno*. Obtenido de El buque de hidrógeno: la sostenibilidad en el transporte marítimo: <https://eshidrogeno.com/buque-de-hidrogeno/>

H2 Chile. (Septiembre de 2024). *Mapa de proyectos*. Obtenido de <https://h2chile.cl/mapa-de-proyectos/>

H2 Green Mining. (s.f.). *About*. Obtenido de <https://h2greenmining.cl/>

H2LAC. (14 de Diciembre de 2023). *La primera exportación comercial de combustibles sintéticos desde Chile hacia Europa*. Obtenido de <https://h2lac.org/noticias/la-primera-exportacion-comercial-de-combustibles-sinteticos-desde-chile-hacia-europa/>

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

- H2news(a). (2022). *Proyecto TANGO permitirá desarrollar el corredor de hidrógeno verde desde Chile hasta Europa*. Obtenido de <https://h2news.cl/2022/05/10/proyecto-tango-permitira-desarrollar-el-corredor-de-hidrogeno-verde-desde-chile-hasta-europa/>
- H2news(b). (2024). *Power to MEDME: Primer piloto en Chile para producir éter dimetilico y metanol para la minería e industria pesada*. Obtenido de <https://h2news.cl/2024/01/09/power-to-medme-primer-piloto-en-chile-para-producir-eter-dimetilico-y-metanol-para-la-mineria-e-industria-pesada/>
- H2news(c). (2024). *La alemana INERATEC y COPEC firman una alianza estratégica para impulsar la disponibilidad de e-Fuel en Chile*. Obtenido de <https://h2news.cl/2024/05/31/la-alemana-ineratec-y-copec-firman-una-alianza-estrategica-para-impulsar-la-disponibilidad-de-e-fuel-en-chile/>
- H2V Biobío. (2024). *Hoja de Ruta 2024 - 2050*. Programa Estratégico Regional.
- H2V Magallanes. (s.f.). *Proyectos*. Obtenido de <https://www.h2vmagallanes.cl/proyectos>
- Hapag-Lloyd. (s.f.). *Services Information*. Obtenido de <https://www.hapag-lloyd.com/es/services-information.html>
- Iberdrola. (s.f.). *Metanol verde: el combustible que puede acelerar la transición energética del transporte marítimo*. Obtenido de <https://www.iberdrola.com/conocenos/nuestra-actividad/hidrogeno-verde/metanol-verde#:~:text=metanol%20verde%20se%20utiliza%20como,potencial%20en%20el%20transporte%20mar%C3%ADtimo.&text=Tanque%20de%20almacenamiento%20AI%20ser,sencillo%20de%20almacenar%20y%20>
- IEA. (2024). *Global Hydrogen Review*. International Energy Agency.
- IMO. (2018). *IMO Strategy on Reduction of GHG Emissions from Ships*. Obtenido de International Maritime Organization: https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/MediaCentre/HotTopics/Documents/EEXI%20and%20CII%20Sheets/Infographic%2001_general.pdf
- IMO. (2023). *2023 IMO Strategy on Reduction of GHG Emissions from Ships*. Obtenido de <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/2023-IMO-Strategy-on-Reduction-of-GHG-Emissions-from-Ships.aspx>
- Intelligence, M. (s.f.). *Análisis de participación y tamaño del mercado de propulsión marina tendencias de crecimiento y pronósticos (2024-2029)*. Obtenido de <https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/marine-propulsion-engine-market>
- Intelligence, M. (s.f.). *Tamaño del mercado de construcción naval y análisis de participación tendencias de crecimiento y pronósticos (2024-2029)*. Obtenido de <https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/ship-building-market>
- IRENA. (2021). *A Pathway To Decarbonize the Shipping Sector by 2050*. International Renewable Energy Agency.
- JSTRA. (2020). *Roadmap to Zero Emission from International Shipping*. Japan Ship Technology Research Association.
- La Prensa Austral. (2023). *Millonario proyecto de hidrógeno verde espera concesión para instalarse en terrenos fiscales*. Obtenido de

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

- <https://laprensaaustral.cl/2023/10/21/millonario-proyecto-de-hidrogeno-verde-espera-concesion-para-instalarse-en-terrenos-fiscales/>
- Litoral Press. (2024). *Inversores de proyecto de H2V “Llaquedona” expusieron avances al Gobierno Regional*. Obtenido de https://litoralpress.cl/sitio/Prensa_Texto?LPKey=5IAS3Q3HNQMKMOY2X7APVCMQ4R25RX3LNXLBKZRSRHR663ORS2MA
- MAN. (2021). *The Methanol fuelled MAN B&W LGIM Engine*. Obtenido de https://www.man-es.com/docs/default-source/document-sync-archive/the-methanol-fuelled-man-b-w-lgim-engine-eng.pdf?sfvrsn=36b925d2_7
- MAN Energy Solutions. (2023). Obtenido de <https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/About/Events/Documents/Regional%20conference%20in%20Asia%20and%20the%20Pacific/presentation%209%20-%20Sangbae%20Cha.pdf>
- Mao, X., & Meng, Z. (2022). *Decarbonizing China's coastal shipping: The role of fuel efficiency and low-carbon fuels*. International Council on Clean Transportation.
- Marine and Naval Engineering. (2021). Obtenido de *Hidrógeno y amoníaco: combustibles del futuro para buques*: <https://marineandnavalengineering.com/articulos/hidrogeno-amoniaco-combustibles-futuro-buques/#:~:text=El%20hidr%C3%B3geno%20como%20propulsi%C3%B3n%20en,motor%20el%C3%A9ctrico%2C%20la%20cual%20mueve>
- Mazurova, K., Miyassarova, A., Eliseev, O., Stytsenko, V., Glotov, A., & Stavitskaya, A. (2023). *Fischer–Tropsch Synthesis Catalysts for Selective Production of Diesel Fraction*. Catalysts.
- MHI. (2020). *Mitsubishi Heavy Industries Invests in Monolith Materials*. Obtenido de Mitsubishi Heavy Industries: <https://www.mhi.com/news/201130.html>
- Ministerio de Economía, Fomento y Turismo . (2023). *Política Nacional Logístico-Portuaria*.
- Ministerio de Energía. (2019). *Decreto Supremo 103 sobre las especificaciones de calidad de combustibles líquidos para uso marino*.
- Ministerio de Energía. (2020). *Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde*. Gobierno de Chile.
- Ministerio de Energía. (2020). *Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde*. Santiago de Chile.
- Ministerio de Energía. (30 de Agosto de 2021). *Planificación Energética de Largo Plazo*.
- Ministerio de Energía. (2022). *Política Energética Nacional - Transición Energética de Chile*.
- Ministerio de Energía. (2024). *Plan de Trabajo de Regulaciones Habilitantes Para el Desarrollo de la Industria de Hidrógeno en Chile 2024 - 2030*.
- Ministerio de Energía. (2024a). *Hoja de Ruta SAF 2050*.
- Ministerio de Energía. (2024b). *Plan de Acción de Hidrógeno Verde 2023 - 2050*.
- Ministerio de Energía. (s.f.). *Regulación Nacional de Combustibles Líquidos, Gaseosos y Sólidos*.
- Ministerio de Minería. (2002). *Decreto 132/79 - Establece Normas Técnicas, de Calidad y de Procedimientos de Control Aplicables al Petróleo Crudo, a los Combustibles Derivados de Este y a Cualquier Otra Clase de Combustibles*. Obtenido de Biblioteca del Congreso Nacional de Chile: <https://bcn.cl/2kcm7>

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

- Ministerio de Minería. (2021). *Biblioteca del Congreso Nacional de Chile*. Obtenido de Decreto de Ley 2.224 - Crea al Ministerio de Energía y a la Comisión Nacional de Energía: <https://bcn.cl/2mcwz>
- Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones. (1997). *Biblioteca del Congreso Nacional de Chile*. Obtenido de Resolución 96 - Actualiza y Modifica Reglamento de Manipulación Y Almacenamiento de Cargas Peligrosas en Recintos Portuarios: <https://bcn.cl/2m9l5>
- Ministerio del Medio Ambiente. (2017). *Plan de Acción Nacional de Cambio Climático 2017 - 2022*.
- Ministerio del Medio Ambiente. (2021). *Estrategia Climática a Largo Plazo*.
- Ministerio del Medio Ambiente. (2022). *Informe del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero 1990 - 2020*. Obtenido de <https://snichile.mma.gob.cl/documentos/>
- Ministerio del Medio Ambiente. (2024). *Ministerio del Medio Ambiente*. Obtenido de Estructura Organizacional: <https://mma.gob.cl/estructura-organizacional/#:~:text=Dise%C3%B1ar%20y%20fortalecer%20pol%C3%ADticas%2C%20leyes,trabajo%20a%20nivel%20de%20cuencas.>
- Mitsui O.S.K. (2024). *Clean Alternative Ship Fuels*.
- MMMCZCS. (2022a). *Preparing Container Vessels for Conversion to Green Fuels*. Mærsk McKinney Møller Center for Zero Carbon Shipping.
- MMMCZCS. (2022b). *The Chilean Green Corridors Network Pre-Feasibility Study Summary*.
- MMMCZCS. (2023). *A Framework for Developing Just and Inclusive Green Shipping Corridors*.
- MOL Group. (2024). *Clean Alternative Ships Fuels*.
- MPA. (2022). *Maritime Singapore Decarbonisation Blueprint: Working Towards 2050*. Maritime and Port Authority of Singapore.
- Mundo Marítimo. (2023). Obtenido de Metanol toma la delantera en la industria marítima, pero requiere aún la inversión de miles de millones de dólares: <https://www.mundomaritimo.cl/noticias/metanol-toma-la-delantera-en-la-industria-maritima-pero-requiere-aun-la-inversion-de-miles-de-millones-de-dolares>
- Mundo Marítimo. (Marzo de 2024). *América Latina observa impulso histórico en los precios de los búnkeres como consecuencia de la guerra en Ucrania*. Obtenido de <https://www.mundomaritimo.cl/noticias/america-latina-observa-impulso-historico-en-los-precios-de-los-bunkeres-como-consecuencia-de-la-guerra-en-ucrania>
- NAPA. (3 de Febrero de 2022). *How the Fit For 55 legislation will affect the shipping industry – and how you can prepare*. Obtenido de <https://www.napa.fi/eu-fit-for-55-for-shipping/>
- Office of Energy Efficiency & Renewable Energy. (s.f.). *Energy.Gov*. Obtenido de Maritime Decarbonization: <https://www.energy.gov/eere/maritime-decarbonization>
- Oxford Institute for Energy Studies. (2024). *E diesel in the Shipping Sector*.
- Portal Portuario. (2024). Obtenido de Fortescue Green Pioneer: <https://portalportuario.cl/realizan-primer-abastecimiento-y-uso-mundial-de-amoniaco-como-combustible-marino/fortescue-green-pioneer/>

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

- Power Technology. (2024). *Power plant profile: HOASIS Solar PV Park, Chile*. Obtenido de <https://www.power-technology.com/marketdata/power-plant-profile-hoasis-solar-pv-park-chile/>
- Renewables Now. (2023). *Verano Energy plans a green hydrogen giga project in Chile*. Obtenido de <https://renewablesnow.com/news/verano-energy-plans-a-green-hydrogen-giga-project-in-chile-830605/>
- Renting Finders. (s.f.). Obtenido de Glosario de Términos - Diésel: <https://rentingfinders.com/glosario/diesel/>
- Revista Energías Renovables. (2020). Obtenido de Metanol, amoníaco, hidrógeno... así son los combustibles "alternativos" del transporte marítimo: <https://www.energias-renovables.com/movilidad/asi-son-los-combustibles-del-transporte-maritimo-20201123>
- Ricardo. (2023). *STUDY ON THE READINESS AND AVAILABILITY OF LOW- AND ZERO-CARBON SHIP TECHNOLOGY AND MARINE FUELS*. Ricardo Energy & Environment.
- RTB Energy. (s.f.). *Otway Green Energy*. Obtenido de <https://rtbenergy.cl/portfolio/otway-green-energy/>
- SAAM Towage. (s.f.). *Experiencia Local*. Obtenido de <https://www.saamtowage.com/chile/experiencia-local/?lang=es>
- Salmonexpert. (2023). Obtenido de Construyen primer barco de trabajo propulsado por hidrógeno para la acuicultura: <https://www.salmonexpert.cl/barco-hidrogeno-salmar/construyen-primer-barco-de-trabajo-propulsado-por-hidrogeno-para-la-acuicultura/1510146>
- Sánchez-Bastardo, N., Schlogl, R., & Ruland, H. (2020). *Methane Pyrolysis for CO₂-Free H₂ Production: A Green Process to Overcome Renewable Energies Unsteadiness*. Chemie Ingenieur Technik.
- SEA. (2020). *Declaración de Impacto Ambiental: Proyecto Piloto de Descarbonización y Producción de Combustibles Carbono Neutral*. Obtenido de <https://infofirma.sea.gob.cl/DocumentosSEA/MostrarDocumento?docId=6e7c7dcd2b1c3afdfbd2f257113b0281c634710>
- SEIA(a). (2021). *Ficha del Proyecto: HyEx - Producción de Hidrógeno Verde*. Obtenido de https://seia.sea.gob.cl/expediente/ficha/fichaPrincipal.php?modo=normal&id_expediente=2152970568
- SEIA(b). (2021). *Ficha del Proyecto: HyEx - Síntesis de Amoníaco Verde*. Obtenido de https://seia.sea.gob.cl/expediente/ficha/fichaPrincipal.php?modo=normal&id_expediente=2152971033
- SEIA(c). (2024). *Ficha del Proyecto: Proyecto Volta - Planta de Hidrógeno y Amoníaco Verde*. Obtenido de https://seia.sea.gob.cl/expediente/ficha/fichaPrincipal.php?modo=normal&id_expediente=2161262741
- SEIA(d). (2024). *Ficha del Proyecto: Proyecto integral para la producción y exportación de amoníaco verde - HNH ENERGY*.
- SEIA(e). (2023). *Ficha del Proyecto: Planta de combustibles carbono neutral Cabo Negro*. Obtenido de

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

https://seia.sea.gob.cl/expediente/ficha/fichaPrincipal.php?modo=ficha&id_expediente=2160078437

SPIRETH. (s.f.). Obtenido de Methanol as a clean, low-emission alternative ship fuel: <http://www.u3450026.fsdata.se/>

SSI. (2020). *Roadmap to a sustainable shipping industry*. Sustainable Shipping Initiative.

Statkraft. (2021). *Statkraft Chile se adjudica cofinanciamiento para estudios de proyecto de hidrógeno y amoníaco verdes*. Obtenido de <https://www.statkraft.cl/sala-de-prensa/2021/statkraft-chile-se-adjudica-cofinanciamiento-para-estudios-de-proyecto-de-hidrogeno-y-amoniacos-verdes/>

Stena Line. (s.f.). Obtenido de Stena Germanica: <https://stenaline.com/about-us/our-ships/stena-germanica/>

Sui, C., Vos, P. d., Stapersma, D., Visser, K., & Ding, Y. (2020). *Fuel Consumption and Emissions of Ocean-Going Cargo Ship with Hybrid Propulsion and Different Fuels over Voyage*. Journal of Marine Science and Engineering.

Susterra. (s.f.). *Hidrógeno Verde*. Obtenido de <https://susterra.cl/hidrogeno-verde/>

TEG Chile. (s.f.). *Proyecto Gente Grande*. Obtenido de <https://tegchile.cl/blog/proyecto-gente-grande/>

Tejera, A. (2021). *El metanol se postula como la alternativa definitiva a los combustibles tradicionales en el transporte marítimo*. Obtenido de Diario del Puerto: <https://www.diariodelpuerto.com/maritimo/el-metanol-se-postula-como-la-alternativa-definitiva-a-los-combustibles-tradicionales-en-el-transporte-maritimo-EQgd16280821946504840>

TFG Marine. (2024). *Modernising marine fuel delivery*. Obtenido de https://www.tfgmarine.com/media/lz3kqjq3/2024_tfgmarine_modernising_marine_fuel_delivery_whitepaper.pdf

Vermeire, M. B. (2021). *Everything you need to know about marine fuels*. Chevron Marine Products.

VesselFinder. (s.f.). Obtenido de STENA GERMANICA: <https://www.vesselfinder.com/es/vessels/details/9145176>

Villa Caro, R. (2022). *Fundación Exponav*. Obtenido de El hidrógeno en el ámbito marítimo: posibilidades del buque de hidrógeno: <https://exponav.org/blog/puertos-y-buques/el-hidrogeno-en-el-ambito-maritimo-posibilidades-del-buque-de-hidrogeno/>

Villa Caro, R. (2024). *Amoníaco: ¿combustible marítimo del futuro?* Obtenido de Fundación Exponav: <https://exponav.org/blog/construccion-naval/amoniacos-combustible-maritimo-del-futuro/>

Villa Caro, R. (2024). *Dinamo Técnica*. Obtenido de Nuevos Combustibles en el Transporte Marítimo: Amoníaco y Metanol: <https://dinamotecnica.es/2024/04/nuevos-combustibles-transporte-maritimo-amoniacos-metanol.html>

Wärtsilä. (2020). *Future Fuels*.

Wärtsilä. (2024). *Sustainable fuels for shipping by 2050*.

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

WinGD. (2024). *Ammonia Dual-Fuel Engines X-DFA*. Obtenido de <https://www.wingd.com/en/documents/general/brochures/wingd-ammonia-faq-booklet/>

World Resource Institute. (Mayo de 2014). *Estándar de Política y Acción*. Obtenido de [transparency-partnership: https://www.transparency-partnership.net/sites/default/files/u2055/spanish_-_policy_and_action_standard_6.9.15.pdf](https://www.transparency-partnership.net/sites/default/files/u2055/spanish_-_policy_and_action_standard_6.9.15.pdf)

6. Anexos

6.1. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE PETRÓLEOS DIÉSEL PARA USO MARINO. RECUPERADO DEL DECRETO SUPREMO 103 (Ministerio de Energía, 2019).

Características		Unidad	Límite	Categorías						Métodos de Ensayo ASTM		
				DMX	DMA	DFA	DMZ	DFZ	DMB		DFB	
Viscosidad cinemática a 40 °C		mm ² /s	Máximo	5,50	6,00		6,00		11,00		D445, D7042	
			Mínimo	1,40	2,00		3,00		2,00			
Densidad a 15 °C		Kg/m ³	Máximo	-	890,0		890,0		900,0		D4052, D1298	
Índice de Cetano			Mínimo	45	40		40		35		D4737	
Azufre		% m/m	Máximo	0,50	0,50		0,50		0,50		D2622, D4294, D5453	
Punto de inflamación		°C	Mínimo	43,0	60,0		60,0		60,0		D93, D3828, D6450, D7094	
Ácido sulfhídrico (H ₂ S) (a)		mg/kg	Máximo	2,00	2,00		2,00		2,00		D7621	
Número ácido (b) (c)		mg KOH/g	Máximo	0,5	0,5		0,5		0,5		D664	
Sedimento total por filtración caliente		% m/m	Máximo	-	-		-		0,10 (d)		D4870	
Estabilidad a la oxidación (b)		g/m ³	Máximo	25	25		25		25 (e)		D2274	
Biodiésel (a)		% v/v	Máximo	-	-	7,0	-	7,0	-	7,0	EN14078, D7963, D7371	
Residuo carbonoso - Micro método sobre 10% residuo		% m/m	Máximo	0,30	0,30		0,30		-		D4530	
Residuo carbonoso - Micro método		% m/m	Máximo	-	-		-		0,3		D4530	
Punto de enturbiamiento (f)	invierno	°C	Máximo	-16	informar		informar		-		D2500	
	verano	°C	Máximo	-16	-		-		-			
Punto de Obstrucción Filtrado en Frío (POFF) (b) (f)	invierno	°C	Máximo	-	informar		informar		-		D6371	
	verano	°C	Máximo	-	-		-		-			
Punto de escurrimiento (superior) (f)	invierno	°C	Máximo	-	-6		-6		0		D97, D5949, D5950, D6892, D7346	
	verano	°C	Máximo	-	0		0		6			
Apariencia (g)				Claro y brillante (h)						(d)		D4176
Agua		% v/v	Máximo	-	-		-		0,30 (d)		D95	
Cenizas		% m/m	Máximo	0,010	0,010		0,010		0,010		D482	
Lubricidad (b) (i)		µm	Máximo	520	520		520		520 (e)		D6079, D7688	

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

6.2. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE PETRÓLEOS RESIDUALES PARA USO MARINO. RECUPERADO DEL DECRETO SUPREMO 103 (Ministerio de Energía, 2019).

Características		Unidad	Límite	Categorías				Categorías						Métodos de Ensayo ASTM	
				RMA	RMB	RMD	RME	RMG				RMK			
				10	30	80	180	180	380	500	700	380	500		700
Viscosidad cinemática a 50 °C		mm²/s	Máximo	10,00	30,00	80,00	180,0	180,0	380,0	500,0	700,0	380,0	500,0	700,0	D445, D7042
Densidad a 15 °C		Kg/m³	Máximo	920,0	960,0	975,0	991,0	991,0				1010,0			D4052, D1298
Índice de aromaticidad de carbono calculado (CCAI) (a)			Máximo	850	860	860	860	870				870			(b)
Azufre (c)		% m/m	Máximo	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50				0,50			D2622, D4294, D5453
Punto de inflamación		°C	Mínimo	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0				60,0			D93, D3828, D6450, D7094
Ácido sulfhídrico (H₂S) (d)		mg/kg	Máximo	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00				2,00			D7621
Número ácido (a) (e)		mg KOH/g	Máximo	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5				2,5			D664
Sedimento total por envejecimiento		% m/m	Máximo	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10				0,10			D4870
Residuo carbonoso - Micro método		% m/m	Máximo	2,50	10,00	14,00	15,00	18,00				20,00			D4530
Punto de escurrimiento (superior) (f)	invierno	°C	Máximo	0	0	30	30	30				30			D97, D5949, D5950, D6892, D7346
	verano	°C	Máximo	6	6	30	30	30				30			
Agua		% v/v	Máximo	0,30	0,50	0,50	0,50	0,50				0,50			D95
Cenizas		% m/m	Máximo	0,040	0,070	0,070	0,070	0,100				0,150			D482
Vanadio		mg/kg	Máximo	50	150	150	150	350				450			D5184, D5863, D6728
Sodio (a)		mg/kg	Máximo	50	100	100	50	100				100			D5184, D5863, D6728
Aluminio + Silicio (g)		mg/kg	Máximo	25	40	40	50	60				60			D5184, D6728
Aceite Lubricante Usado (ALU) (h)				Informar				Informar						D5184, D6728	

6.3. PROYECTOS DE H2 Y DERIVADOS EN CHILE

En el presente Anexo se listan y caracterizan 34 proyectos de los 73 anunciados en Chile hasta septiembre del año 2024.

Tabla 13: Información general de proyectos Power-to-X en Chile. Fuentes: Servicio de Evaluación de Impacto Ambiental (2021) (2021) (2024) (2024) (2023); Servicio de Evaluación Ambiental (2020); H2Chile (2024); (CORFO, s.f.); (Air Liquide, 2022); (Renewables Now, 2023); (Aker Horizons, s.f.); (AGCID, Ministerio de Energía, CORFO, & Unión Europea, 2022); (Susterra, s.f.); (H2 Green Mining, s.f.); (Power Technology, 2024); (Statkraft, 2021); GIZ (2024) (2023); H2news (2022) (2024) (2024); (H2V Magallanes, s.f.); (TEG Chile, s.f.); (La Prensa Austral, 2023); (Litoral Press, 2024); (RTB Energy, s.f.); (El Magallánico, 2024); (Frontera, 2023); (Consorcio Austral, s.f.).

#	Nombre proyecto	Ubicación	Desarrolladores	Etapas de desarrollo	Tipo	Producto final	Fecha Comienzo de Operación (COD)	Capacidad de electrólisis [MW]	Capacidad de producción anual	Uso final
1	Green Pegasus	Antofagasta	-Glenfarne Energy Transition -Samsung Engineering	No reportado	Power-to-Ammonia	Amoníaco	No reportado	No reportado	H2: 89.000 t NH3: 459.000 t	Exportación
2	Power-to-MEDME	Antofagasta	Fraunhofer	Factibilidad	Power-to-eFuels	Metanol; Dimetil Éter (DME)	2026 – 2027	12	DME: 5.000 t	Demanda Interna (sector minería e industria pesada)
3	INNA	Antofagasta	-AES Andes	Factibilidad	Power-to-Ammonia	Amoníaco	No reportado	No reportado	No reportado	No reportado
4	AMER	Antofagasta	-Air Liquide -EDF Renewables -Proman -SOWITC -COPEC	Factibilidad	Power-to-Methanol	Metanol	No reportado	80	H2: 10.500 t (estimación) MeOH: 60.000 t	Exportación
5	Los Amigos del Verano	Antofagasta Tal-Tal	-Siemens -Verano Energy	Prefactibilidad	Power-to-Ammonia	Hidrógeno, Amoníaco	Fase 1: 2027 Fase 2: TBD Fase 3: TBD Fase 4: 2033	Fase 1: 5.000 Fase 2: 5.000 (10.000) Fase 3: 5.000 (15.000) Fase 4: 10.000 (25.000)	Fase 1, 2 y 3 (c/u): H2: 500.000 t (estimación) NH3: 2.800.000 t (estimación) Fase 4 (total): H2: 2.500.000 (estimación) NH3: 14.000.000 (estimación)	No reportado
6	Faraday	Antofagasta Taltal	-Mainstream RP -Aker Horizons	Factibilidad	Power-to-Ammonia	Amoníaco	2027	Fase 1: 600 Fase 2: 1.800 (2.400)	Fase 2: H2: 250.000 t NH3: 1.300.000 t	Exportación
7	GENESIS	Antofagasta La Negra	Antuko	Factibilidad	Power-to-Hydrogen	Hidrógeno	2027 – 2028	100	H2: 15.000 t	Demanda interna
8	HYDRUS	Antofagasta	-Antuko -Alkeymia	Temprana	Power-to-Ammonia	Amoníaco	2028 – 2029	1.000	NH3: 800.000 t	Preliminarmente exportación
9	CORVUS	Antofagasta	Antuko	Temprana	Power-to-eFuels	No definido (preliminar:	No reportado	80	8.000 – 9.000 t	No definido

#	Nombre proyecto	Ubicación	Desarrolladores	Etapa de desarrollo	Tipo	Producto final	Fecha Comienzo de Operación (COD)	Capacidad de electrólisis [MW]	Capacidad de producción anual	Uso final
						diésel sintético)				
10	H2 Green Mining	Antofagasta Calama	-Susterra -Star Energy Partners	Evaluación Ambiental	Power-to-Ammonia	Hidrógeno	Fase 1: 2027 Fase 2: 2030 Fase 3: 2032	Fase 1: 20 Fase 2: 80 (100) Fase 3: 100 (200)	Fase 1: H2: 3.200 t Fase 2: H2: 16.000 t Fase 3: H2: 32.000 t	Demanda Interna (sector minería)
11	HOASIS	Antofagasta La Negra	TGI GECOMP	Prefactibilidad	Power-to-Hydrogen	Hidrógeno, Amoníaco, Fertilizantes	2027	2100	H2 (cap. Max): 133.000 t NH3: 700.000 t	Exportación; Demanda Interna
12	HyEx	Antofagasta: Tocopilla (Fase 1) Baquedano (Fase 2)	-Engie -Enaex	Fase 1: DIA aprobada, FEED planta H2 y NH3 Fase 2: Factibilidad	Power-to-Ammonia	Amoníaco para nitrato de amonio	Fase 1: 2025 Fase 2: 2030	Fase 1: 26 Fase 2: 2.800	Fase 1: H2: 3.200 t (estimación) NH3: 18.000 t Fase 2: H2:125.000 (estimación) NH3: 700.000	Demanda Interna
13	METH2 Atacama	Atacama	SOWITEC	Prefactibilidad	Power-to-Methanol	Metanol	No reportado	300	H2: 40.000 (estimación) MeOH: 225.000 (estimación)	Exportación; Demanda Interna
14	Paracelsus (atacama Hydrogen Hub)	Antofagasta Mejillones	Humboldt Hidrógeno Verde	Prefactibilidad	Power-to-Hydrogen	Hidrógeno; Amoníaco	Fase 1: 2027 Fase 2: 2035	2000	NH3: 600.000 t	Exportación
15	Pauna Green Future	Antofagasta María Elena	Statkraft	Prefactibilidad	Power-to-Hydrogen	Hidrógeno; Amoníaco	2027	447	H2: 29.000 t NH3: 162.000 t	Exportación; Demanda Interna (Hidrógeno Sector Minero)
16	Solar NH3 Pool Chile	Antofagasta Mejillones	-Soventix Chile -Solar Invest -Pabettin	Prefactibilidad	Power-to-Ammonia	Amoníaco	Fase 1: 2028 Fase 2: 2035	Fase 1: 800 Fase 2: 800 (1.600)	Fase 1: H2: 56.500 t NH3: 320.000 t Fase 2: H2: 56.500 NH3: 320.000	Exportación

#	Nombre proyecto	Ubicación	Desarrolladores	Etapa de desarrollo	Tipo	Producto final	Fecha Comienzo de Operación (COD)	Capacidad de electrólisis [MW]	Capacidad de producción anual	Uso final
17	Tango	Antofagasta	-HyNewGen -Gasco -Vopak -Linde -Port of Rotterdam	Factibilidad	Power-to-Ammonia	Amoníaco	Fase 1: 2027 Fase 2: No reportado	Fase 1: 200 Fase 2: 500	Fase 1: H2: 31.000 t (estimación) NH3: 172.000 t Fase 2: H2: 46.000 t (77.000 t) (estimación) NH3: 258.000 t (430.000 t)	Exportación
18	Volta	Antofagasta Mejillones	MAE Energy	Evaluación de Impacto Ambiental	Power-to-Ammonia	Amoníaco	Fase 1: 2027 Fase 2: 2030	Fase 1: 350 Fase 2: 350	Fase 1: H2: 55.000 t NH3: 310.000 t Fase 2: H2: 55.000 NH3: 310.000	Exportación; Demanda Interna
19	Proyecto e-Fuels	Biobío	-INERATEC -COPEC (COPEC Wind Ventures)	Exploratoria	Power-to-Liquids	eFuels	No reportado	No reportado	3.500 t	Demanda Interna
20	Cabeza de Mar	Magallanes Punta Arenas	-Free Power -GH Energy	Factibilidad	Power-to-Ammonia	Amoníaco	2030	700	H2: 80.000 t NH3: 450.000 t	Exportación
21	Energía Verde Austral	Magallanes y la Antártica Chilena Laguna Blanca	EDF Andes	Prefactibilidad	Power-to-Ammonia	Amoníaco	2032	1000	H2: 100.000 t (estimación) NH3: 570.000 t	Exportación
22	Gente Grande	Magallanes y la Antártica Chilena Primavera y Porvenir	-TEG -Haura Energy -Hive Energy	Preparación EIA	Power-to-Ammonia	Amoníaco	2029	2.500 - 3.000	H2: 230.000 - 270.000 t (estimación) NH3: 1.300.000 - 1.500.000 t	Exportación
23	H2 Magallanes	Magallanes y la Antártica Chilena San Gregorio	Total Eren	Preparación EIA	Power-to-Ammonia	Amoníaco	2028	8000	H2: 800.000 t NH3: 7.000.000 t	Exportación
24	H2V Frontera	Magallanes y la Antártica Chilena Bahía Lomas	Acciona Nordex Green Hydrogen (Consorcio)	Prefactibilidad	Power-to-Ammonia	Amoníaco	2031	228	H2: 25.000 t (estimación) NH3: 140.000 t (estimación)	Exportación
25	Haru Oni	Magallanes y la Antártica Chilena Punta Arenas	-HIF -Enel Green Power -Siemens -Gasco -ENAP -Porsche -Exxon Mobile	Operativo	Power-to-eFuels	eFuels	2022	1,2	Metanol: 900 t eFuels: 130.000 litros	Exportación

#	Nombre proyecto	Ubicación	Desarrolladores	Etapa de desarrollo	Tipo	Producto final	Fecha Comienzo de Operación (COD)	Capacidad de electrólisis [MW]	Capacidad de producción anual	Uso final
26	Llaquedona Green Hydrogen	Magallanes y la Antártica Chilena Tierra del Fuego	-Sociedad de Inversores Albatros -Alfanar -CIP	Factibilidad y preparación EIA	Power-to-Ammonia	Amoníaco	2030	2.500 - 3.000	H2: 180.000 t (estimación) NH3: 1.000.000 t	Exportación; Demanda Interna
27	Otway Green Energy	Magallanes y la Antártica Chilena Isla Riesco	Ultraterra	Prefactibilidad	Power-to-Ammonia	Amoníaco	No reportado	No reportado	No reportado	Exportación
28	Vientos Magallánicos	Magallanes y la Antártica Chilena Laguna Blanca	RWE	Prefactibilidad	Power-to-Ammonia	Amoníaco	2030	542	H2:61.950 t NH3: 350.000 t	Exportación
29	Punta Delgada	Magallanes y la Antártica Chilena	EDF Renewables	Prefactibilidad	Power-to-Ammonia	Amoníaco	2032	1500	H2: 180.000 t (estimación) NH3: 1.000.000 t	Exportación
30	HNH	Magallanes y la Antártica Chilena San Gregorio	ASOE Chile Diez SpA (100%): -CIP -Austria Energy -Ökowind	Evaluación Ambiental	Power-to-Ammonia	Amoníaco	Fase 1: 2030 Fase 2: 2032	Fase 1: 1.000 Fase 2: 2.000	Fase 1: H2: 140.000 t (estimación) NH3: 800.000 t Fase 2: H2: 140.000 (280.000) (estimación) NH3: 800.000 (1.600.000)	Exportación
31	HIF Cabo Negro	Magallanes y la Antártica Chilena Punta Arenas	-HIF -Enel Green Power -ENAP	Evaluación de Impacto Ambiental	Power-to-eFuels	eFuels	2027	240	173.600 (Metanol) o 70.000 (Gasolina) + 8.030 (GL)	Exportación; Demanda Interna
32	Proyecto Acuario	Magallanes y la Antártica Chilena San Gregorio	Consorcio Austral	Prefactibilidad	Power-to-Ammonia	Amoníaco	No reportado	No reportado	H2: 240.000 t NH3: 1.000.000 t	Exportación
33	Proyecto Sagitario	Magallanes y la Antártica Chilena Porvenir	Consorcio Austral	Prefactibilidad	Power-to-Ammonia	Amoníaco	No reportado	No reportado	H2: 240.000 t NH3: 1.000.000 t	Exportación
34	Ammonia Austral Chile	Magallanes y la Antártica Chilena San Gregorio	-Austria Energy -Ökowind	Factibilidad	Power-to-Ammonia	Amoníaco	Fase 1: 2031 Fase 2: 2033 Fase 3: 2034	3.400	Fase 1: NH3: 670.000 t Fase 2: NH3: 670.000 t (1.340.000 t) Fase 3 : NH3: 660.000 t (2.000.000 t)	Exportación

6.4. SISTEMATIZACIÓN DE BRECHAS IDENTIFICADAS

En el presente anexo se presentan las brechas identificadas para la transición energética del transporte marítimo agrupadas por los ejes estratégicos definidos.

Tabla 14: Brechas en el eje estratégico "Gobernanza, acuerdos y alianzas".

#	Brechas
1.1	Falta de actores con rol de coordinadores: se necesita coordinación en temas de I+D para evitar duplicación, pero faltan actores que coordinen el trabajo de todos.
1.2	Falta vinculación entre la academia y la industria: programas educativos deben estar alineados con las necesidades del mercado. Hay escasez de formación especializada.
1.3	Faltan planes integrados de la Costa Oeste Sudamericana que fomenten el desarrollo de rutas marítimas bajas en carbono.

Tabla 15: Brechas en el eje estratégico "Infraestructura portuaria".

#	Brechas
2.1	Falta de capacidad de almacenamiento de productos que se comercializan en puertos (H2V, metanol, otros).
2.2	Falta de instalaciones para el almacenamiento y producción de H2V y derivados en puertos.
2.3	No existe Infraestructura para suministrar y almacenar los combustibles alternativos marinos.
2.4	Sistema portuario no preparado respecto a infraestructura y equipamiento.
2.5	Pocos años restante de concesiones portuarias en la mayoría del territorio del país que inviabiliza inversiones de infraestructura habilitante para combustibles alternativos marinos. Entre el 2030 y 2035 se debe hacer nuevas concesiones.

Tabla 16: Brechas en el eje estratégico "Logística para el suministro".

#	Brechas
3.1	Falta de integración de la logística portuaria unificando todos los combustibles en una red única.
3.2	Necesidad de distintos combustibles carbono neutrales para la descarbonización en puertos y embarcaciones, como hidrógeno verde en puertos y metanol en barcos.
3.3	No existe un sistemas de suministro a buques de los nuevos combustibles alternativos que asegure la disponibilidad a lo largo de Chile.
3.4	Falta de colaboración de actores privados en condiciones de mercado preexistentes. Ej: embarcaciones de distintas tecnologías en un mismo puerto.
3.5	Falta desarrollo y/o adaptación de una red logístico-portuaria para transporte y almacenamiento de amoníaco y DME.
3.6	Falta de mecanismos de compra/venta entre actores para evitar la volatilidad de mercado.
3.7	Es necesario integrar el concepto de infraestructura de uso compartido para abastecimiento de la industria marítima (poner estanque de almacenamiento fuera o cerca del puerto que lleguen luego a los terminales)

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

Tabla 17: Brechas en el eje estratégico "Desarrollo tecnológico".

#	Brechas
4.1	Falta de desarrollo tecnológico para el almacenamiento de estos combustibles.
4.2	Falta definir el/los combustibles alternativos que serán parte de los combustibles a ser suministrados en el corto, mediano, largo plazo para entender en que tecnología dual invertir
4.3	No está cuantificado el Impacto tecnológico en los activos que se encuentran en operación.
4.4	No hay espacio para almacenamiento de combustible sin sacrificar autonomía para metanol y DME (2,4 veces almacenamiento actual), estanques dedicados (metanol).
4.5	Gasto de retrofit es más caro que convencional, motor nuevo (30% - 40%). No hay proveedores internacionales ni locales.
4.6	No hay disponibilidad inmediata de motores duales-metanol nuevo, en el corto plazo recién en 2026/2027. Sin información DME.
4.7	No hay ganancia en la vida útil de las Lanchas con muchos años de servicio por cuenta de hacer retrofit (retrofit no aumenta vida útil de los motores).
4.8	El uso de Diésel sintético aun no en etapa comercial masiva, se encuentra en etapa TRL 6-7 (fase demostración).
4.9	El retrofit impacta la disponibilidad de la embarcación, en un año aproximadamente se puede hacer retrofit
4.10	Falta I+D en sistemas de almacenamiento y en sistemas de propulsión (H2 y derivados).
4.11	Falta I+D en aplicaciones marítimas.
4.12	Inexistencia de espacios de pilotaje y validación: proyectos piloto aplicación H2V para el transporte marítimo.
4.13	Necesidad de estudios y metodologías para la evaluación ciclo de vida de combustibles marítimos alternativos.
4.14	Mientras no contemos con una cadena de logística local (repuestos), debido a propiedad intelectual, existe mayor riesgo y dificultad de lograr real independencia y autonomía en la operación marítima nacional.
4.15	Baja madurez tecnológica de las tecnologías existentes y poca inversión y financiamiento interno para el desarrollo de tecnologías nuevas. Falta especialización del sector en nuevas tecnologías.

Tabla 18: Brechas en el eje estratégico "Capital humano".

#	Brechas
5.1	Limitada oferta de trabajadores en regiones: esta nueva industria generará muchos nuevos empleos con foco en regiones como Magallanes. Sin embargo, falta capital humano en las regiones donde más de requerirá.
5.2	Estandarizar perfiles necesarios para cambiar la cadena de valor de la industria del mundo civil y militar de la institución.
5.3	Falta de perfiles de corrosionistas: es un tema que será sumamente relevante y que además de que actualmente hay muy pocos, tampoco se aborda en los programas de formación.

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

#	Brechas
5.4	Escasez de formación especializada: falta definir las ventanas en las cuales se necesitará ese talento humano. Ej: operadores cuando los proyectos comiencen a operar.
5.5	Brecha de género: según la línea base realizada 75% son varones.
5.6	Falta de equipo de miembros de la Armada para poder soportar la transición energética del sector marítimo

Tabla 19: Brechas en el eje estratégico "Desarrollo social y ambiental".

#	Brechas
6.1	Estandarizar la revisión de los proyectos según características de la región, desde el punto de vista medioambiental.
6.2	Impacto del lugar que aloje un nuevo puerto. Por ejemplo: vulnerabilidad en la seguridad por presencia de mayor personas "externas" al territorio.
6.3	No existe una política que considere la circularidad de la industria marítima, en el contexto de embarcaciones mayores de alta edad y requerimientos de desguace
6.4	No existe un sello o estándar que determine la huella de carbono de nuestros productos principales de exportación para hacer trazabilidad de este atributo a mercados internacionales
6.5	No existe una plataforma de reportabilidad de las emisiones para el contexto del cabotaje (en la industria pesquera si hay algo)
6.6	Las persona perciben que el amoníaco es toxico. Esto hace disminuir la relevancia del amoníaco y su rol en la descarbonización de la industria marítima.
6.7	La toxicidad del amoníaco es percibida como un gran obstáculo, como algo que no se está resolviendo por parte de los tecnólogos al momento de desplegar las soluciones al mercado

Tabla 20: Brechas en el eje estratégico "Regulación".

#	Brechas
7.1	Falta normar en base a cambios seleccionados para reconvertir/retrofit embarcaciones.
7.2	Se requiere generar regulaciones que mejoren la competitividad de este nuevo mercado.
7.3	Inexistencia de medidas coercitivas para el uso de combustibles bajos en carbono.
7.4	Falta regulación para operación en naves con nuevos energéticos.
7.5	No están regulados los nuevos combustibles (mezcla de entidades, hoy Min. Salud).
7.6	Falta de regulación en Chile para los vehículos que operen con hidrógeno verde (lanchas, buques, etc. Entran en esta categoría). Fuera de la guía SEC y el DS 13.
7.7	Necesidad de habilitar la normativa necesaria que permita establecer condiciones de seguridad y calidad mínimas de la industria.
7.8	Indicar en las normas la información que de certeza tecnológica y a las inversiones.
7.9	Faltan Programas estatales y sectoriales que incentiven la transición energética de esta industria.

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

#	Brechas
7.10	Carencia de política explícita para la adaptación de puertos que permita ir habilitando la infraestructura requerida (en las concesiones actuales sujetas a modificación y en las nuevas).
7.11	Falta de adaptación normativa para el almacenamiento y la logística.
7.12	Falta de metas e incentivos (no monetarios) definidos para la reducción de emisiones.
7.13	Necesidad de actualizar los combustibles marítimos para poder comercializar en el futuro combustibles alternativos en Chile
7.14	Se requiere actualizar labores de inspección y fiscalización de las futuras embarcaciones pesqueras que utilicen combustibles alternativos (deben ser inspeccionados cada 2 años)

Tabla 21: Brechas en el eje estratégico "Financiamiento y competitividad".

#	Brechas
8.1	Muy altos precios de nuevos combustibles, y la disponibilidad nacional no es suficiente actualmente ni para hacer pruebas ni certificaciones.
8.2	Falta generar instrumentos o mecanismos financieros para incentivar la reconversión y transición energética, disminuyendo sus costos y propiciando su competitividad.
8.3	No existen instrumentos o mecanismos de financiamiento a etapas tempranas de desarrollo en proyectos de alto riesgo/incertidumbre tecnológica como H2V o e-Fuels (lo que hay es para pilotaje I+D y baja escala).
8.4	Faltan instrumentos que puedan integrar otros factores en las evaluaciones económicas que incluya emisiones por ejemplo. Análisis puro costo-beneficio no da para metanol, DME o diésel. Son más caros y CAPEX más caro. Diésel sintético al menos no requiere retrofit.
8.5	Falta de esquemas de incentivos económicos con foco a la industria marítima nacional.
8.6	Falta crear un mercado de CO ₂ que penalice las emisiones
8.7	Falta generar instrumentos que apalanquen e escalamiento de nuestra capacidad en astilleros

6.5. FICHAS DE PLANES DE ACCIÓN

 EJE 1		EJE N°1: GOBERNANZA ACUERDOS Y ALIANZAS	
INICIATIVA 1.1		RESULTADO ESPERADO	
Implementar gobernanza para la transición energética de la industria marítima. La cual será, liderada por la Armada de Chile y el Centro de Aseguramiento Energética. En esta iniciativa se estructurará, definirá e implementará una gobernanza en la que se asignen las responsabilidades y funciones de las diferentes entidades y la forma de relacionarse en el marco de la Hoja de Ruta (HdR) (público, privada, academia, tecnólogos/OEMs, entre otros).		Coordinación efectiva en el corto plazo (2025-2030) de las acciones, actores y recursos para materializar los objetivos estratégicos de la Hoja de Ruta.	
PLAZO	- Corto plazo (2025 – 2030)		
BRECHA CUBIERTA			
- Baja efectividad en la coordinación entre actores tomadores de decisión, con roles y responsabilidades poco definidos, especialmente entre entidades e instituciones a nivel central y regional/local. - Falta de continuidad de planes e iniciativas debido a alta rotación de cargos políticos de tomadores de decisión (discontinuidad).			
ACCIONES			
1	Desarrollar estructura y gobernanza del Centro de Aseguramiento Energético, indicando los roles y funciones dentro de la Hoja de Ruta (HdR).		
2	Creación de equipo Directivo , presidido por la Armada.		
3	Creación de equipo Ejecutivo , que tenga un líder/gerente/gerenta que reporte al equipo Directivo y que coordine a los niveles Operativos según líneas estratégicas de la Hoja de Ruta.		
4	Crear equipos de los niveles Operativos , uno por cada línea estratégica de la Hoja de Ruta.		
5	Definir un rol dentro del equipo Ejecutivo, encargado de crear alianzas, visibilizar el sector y buscar apalancamiento de recursos financieros para la ejecución de la Hoja de Ruta.		

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

6	Establecer revisiones periódicas (trimestrales o semestrales, por ejemplo) que permitan garantizar que la Hoja de Ruta se mantenga alineada y contribuya al avance coordinado con iniciativas nacionales relevantes, tanto en términos energéticos (ej. Estrategia de H2V, Hoja de Ruta SAF), sectoriales (Plan de Construcción Naval Continua, Planes de Desarrollo Logístico Portuarios), descarbonización (Planes Sectoriales de Mitigación, NDC, Estrategia Climática de Largo Plazo) y de desarrollo local (Planes Regionales y/o Municipales), entre otros.		
7	Desarrollar reportes de gestión para comunicar y diseminar al ecosistema el progreso en las iniciativas de la HdR.		
HITOS		RESPONSABLES INICIATIVAS	
- Hito 1: Gobernanza constituida al 2025. - Hito 2: Primer reporte de gestión publicado en 2026, Primer Trimestre.		- Armada de Chile. - Gobernanza Centro de Aseguramiento Energético.	
INDICADORES		EJECUTORES INVOLUCRADOS	
- Nº de Miembros partícipes del nivel Directivo, Ejecutivo y Operacional. - Equipos conformados: Directivo, Ejecutivo y Operacional. - Cantidad de brechas cerradas de la Hoja de Ruta por año. - Cantidad de reportes de gestión publicados y difundidos a nivel ciudadano en Corto Plazo, Mediano Plazo y Largo Plazo.		- Armada de Chile. - Gobernanza Centro de Aseguramiento Energético. - Academia. - Sector Público. - Sector Privado (desarrolladores, tecnólogos, astilleros, operadores marítimos, operadores portuarios, otros).	

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

 EJE 1		EJE N°1: GOBERNANZA ACUERDOS Y ALIANZAS	
INICIATIVA 1.2		RESULTADO ESPERADO	
Posicionar la industria marítima en la agenda de transición energética y de descarbonización. Deberá considerar el posicionamiento tanto a nivel nacional como internacional. Debe enfocarse en destacar y comunicar que la industria marítima será un sector que permitirá el desarrollo para la demanda interna de combustibles alternativos marítimos derivados del hidrógeno, contribuyendo a la visión de autonomía energética marítima.		La industria marítima, incluyendo a la Armada, será al 2040 el principal offtaker de combustibles renovables basados en hidrógeno producidos en Chile (creación de mercado). Mercado del eDiesel proveniente de proyectos de SAF será prioritariamente el transporte marítimo. Captación de recursos monetarios, nacionales e internacionales, para apoyar la financiación de las iniciativas de la HdR.	
PLAZO	- Corto Plazo (2025 – 2030) – Etapa de posicionamiento - Mediano y Largo plazo (2030 - 2050)- Etapa de consolidación		
BRECHA CUBIERTA			
• Baja efectividad en la coordinación entre actores tomadores de decisión, con roles y responsabilidades poco definidos, especialmente entre entidades e instituciones a nivel central y regional/local. • Faltan Programas estatales y sectoriales que incentiven la transición energética de esta industria. • Necesidad de actualizar los combustibles marítimos para poder comercializar en el futuro combustibles alternativos en Chile. • Faltan planes integrados de la Costa Oeste Sudamericana que fomenten el desarrollo de rutas marítimas bajas en carbono. • Falta de alineación de iniciativas articuladas con políticas nacionales ambientales.			
ACCIONES			
1	Posicionar al sector en agenda de Hidrógeno Verde y CORFO, con foco a visibilizar al sector como aquel que podrá fomentar demanda de eDiesel, Metanol y Amoníaco.		
2	Posicionar al sector en la agenda de Hidrógeno Verde y Hoja de Ruta de SAF, para el trabajo de financiación de proyectos y competitividad al uso para la industria marítima de eDiesel que se genere como subproducto.		
3	Posicionar al sector en la agenda de descarbonización y cambio climático, trabajando con MTT y MMA en los Planes Sectoriales de Mitigación.		
4	Posicionar al sector en la Mesa de Bunkering de Cancillería para comenzar la agenda que informe a la IMO respecto de la HdR, los primeros puertos Chilenos para suministro de combustibles alternativos, entre otros.		
5	Posicionamiento del sector en gremios de la industria (pesquero, mercante, astilleros, puertos), en asociaciones Hidrógeno Verde (nacionales y regionales), en		

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

	desarrolladores, gobiernos locales y regionales, Academia.		
6	Posicionamiento interno en la Armada enmarcado en su Plan de Defensa y Adaptación al Cambio Climático; también con DIRECTEMAR y su Plan de Transición Energética, para coordinación de las acciones de offtake de combustibles alternativos.		
7	Posicionamiento internacional para comenzar a crear alianzas con navieras internacionales en la configuración de corredores verdes, en colaboración con los desarrolladores de proyectos de exportación y mercados internacionales de offtake.		
8	Posicionamiento regional (Latinoamérica y el Caribe) en el marco del trabajo que se está haciendo con el BID para el esquema de certificación de productos (H2 y derivados) para exportación, CerHiLAC. Esta iniciativa busca poder certificar los primeros proyectos de exportación, incluida la huella del transporte marítimo.		
9	Posicionamiento con países de la región (Latinoamérica y el Caribe) apalancados con el MoU entre las Armadas de Chile y Colombia, comenzar conversaciones con Panamá que busca importar derivados del H2 para eBunkering.		
10	Buscar alianzas con organismos que promueven la atracción de inversión y financiamiento al país, tanto de entidades nacionales como internacionales, que sean destinados exclusivamente a la adopción de combustibles alternativos para la industria marítima en Chile.		
HITOS		RESPONSABLES INICIATIVAS	
Hito 1: Evento de difusión de la Hoja de Ruta hecho en 2025, para socializar los insumos técnicos de los tres estudios de la etapa de diagnóstico de la Armada.		- Armada de Chile. - Gobernanza Centro de Aseguramiento Energético.	
INDICADORES		EJECUTORES INVOLUCRADOS	
- Cantidad de reuniones y/o talleres y/o eventos de posicionamiento territoriales y sectoriales realizados al año. - Nº de acuerdos de offtake (MoU u otros) firmados para suministro combustibles alternativos e industria marítima (Nº MoU/año). - Cantidad de recursos movilizados vs recursos ejecutados al año (USD movilizados/USD ejecutados). - Demanda de eDiesel consumida en el transporte marítimo proveniente de la industria del SAF (t eDiesel/año).		- Armada de Chile. - Gobernanza Centro de Aseguramiento Energético. - Academia y Centros de Investigación (nacional e internacional). - Sector Público (Ministerios con Planes Sectoriales de Mitigación, CORFO, Cancillería, otros). - Sector Privado (desarrolladores, tecnólogos, astilleros, operadores marítimos, operadores portuarios, gremios, otros). - Embajadas. - Banca Multilateral, Fondos de Infraestructura, agencias de cooperación internacional como GIZ, Invest Chile, ProChile. - Armadas de Latinoamérica y el Caribe.	

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

 EJE 2		EJE N°2: INFRAESTRUCTURA PORTUARIA	
INICIATIVA 2.1		RESULTADO ESPERADO	
Definir y establecer rutas de navegación (nacional/internacional) operadas por embarcaciones mayores con combustibles alternativos para cinco regiones del país. Las regiones que se priorizarán en la primera etapa de la Hoja de Ruta (HdR) serán: Antofagasta, Valparaíso, Biobío, Los Lagos, Magallanes y la Antártica Chilena.		Posicionar al 2035 a Chile como hub energético de combustibles alternativos derivados del H2 para la industria marítima.	
PLAZO	- Corto Plazo y Mediano plazo (2025 – 2035)		
BRECHA CUBIERTA			
- Falta de instalaciones para el almacenamiento, producción de H2V y derivados en puertos - No existe Infraestructura para suministrar los combustibles alternativos marinos. - Falta de definición de los combustibles alternativos que serán suministrados en el corto, mediano, largo plazo en cada región, lo cual dificulta la toma de decisiones sobre en qué tecnología invertir. - Dificultad de establecer rutas de navegación que utilicen combustibles alternativos dada la falta de infraestructura en puertos para el almacenamiento y suministro a embarcaciones.			
ACCIONES			
1	Continuar el avance de cara a la implementación de los corredores verdes analizados con el Ministerio de Energía, para corredores internacionales y analizar ampliación hacia las 5 regiones priorizadas.		
2	Considerando los proyectos de producción con COD al 2029/2032, desarrollar estudios para determinar cuál será el primer puerto (región y ubicación) donde se habilitaría al 2030 el suministro de Metanol Verde para la industria marítima. Informar a la OMI.		
3	Considerando los proyectos de producción con COD al 2029/2032, Desarrollar estudios para determinar cuáles serán los puertos para las 5 regiones priorizadas donde se habilitaría al 2035 el suministro de combustibles alternativos para la industria marítima (eDiesel y/o Metanol Verde y/o Amoníaco Verde). Informar a la OMI.		
4	Desarrollar estudios de caso para diagnosticar potencial de rutas de navegación para las cinco regiones priorizadas, que incluya operaciones tanto de pasajeros, carga.		
6	Implementar los corredores con las mejores condiciones resultantes de los estudios anteriores, considerando la infraestructura portuaria existente y sus adecuaciones a requerir, así como también aspectos sociales, organizacionales, tecnológicas, territoriales y ambientales.		

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

HITOS	RESPONSABLES INICIATIVAS
- Hito 1: Comenzar las operaciones del primer corredor demostrativo, nacional y/o internacional, al 2030 con Metanol Verde. - Hito 2: Al 2035 tener cinco (5) puertos con su infraestructura asociada para suministro de combustibles alternativos derivados del H₂. - Hito 3: Al 2050 todas las regiones de Chile tendrán 1 o más puertos para el suministro de combustibles alternativos derivados del H₂.	- Gobernanza Centro de Aseguramiento Energético. - Ministerio de Transportes. - Ministerio de Energía.
INDICADORES	EJECUTORES INVOLUCRADOS
- Demanda de Metanol Verde consumido en el transporte marítimo (t MeOH/año). - Demanda de Amoníaco Verde consumido en el transporte marítimo (t NH₃/año). - Demanda de eDiesel consumido en el transporte marítimo (t eDiesel/año). - Cantidad de regiones con puertos con infraestructura habilitada para suministro de combustibles alternativos derivados del H₂. - Cantidad de rutas de navegación, nacionales e internacionales, operando con combustibles alternativos.	- Armada de Chile, Directemar. - Gobernanza Centro de Aseguramiento Energético. - Sector Público (Ministerio de Transportes, Ministerio de Energía, MOP, Ministerio de Defensa, CORFO, Cancillería, otros). - Sector Privado (desarrolladores, tecnólogos, astilleros, operadores marítimos, operadores portuarios, gremios, distribuidores de combustibles marinos otros). - Embajadas.

 EJE 2		EJE N°2: INFRAESTRUCTURA PORTUARIA	
INICIATIVA 2.2		RESULTADO ESPERADO	
Desarrollar planes de adecuación, inversión y construcción para puertos de Chile. Esta iniciativa busca definir planes priorizados para la adaptación y construcción de nueva infraestructura en puertos públicos, basados en diagnósticos y proyecciones de las necesidades de almacenamiento, transferencia y bunkering de combustibles alternativos marinos. En una etapa inicial, se buscará priorizar los planes para puertos que estén en las 5 regiones priorizadas: Antofagasta, Valparaíso, Biobío, Los Lagos, Magallanes y la Antártica Chilena.		Planes de desarrollo y adaptación de infraestructura portuaria y logística, tanto para concesiones existentes como futuras. Estrategia de manejo de contratos de concesión (actuales y futuros) para habilitar el suministro de combustibles alternativos.	
PLAZO	- Corto plazo (2025 – 2030)		
BRECHA CUBIERTA			
• Falta de instalaciones para el almacenamiento, producción y suministro de H2V y derivados en puertos. • Falta de viabilidad para realizar inversiones en infraestructura portuaria habilitante para combustibles alternativos marinos debido a la proximidad del vencimiento de las concesiones portuarias en el territorio nacional. • Falta de un sistema de suministro a buques de los nuevos combustibles alternativos que asegure la disponibilidad a lo largo de Chile. • Falta de definición de los combustibles alternativos que serán suministrados en el corto, mediano, largo plazo en cada región, lo cual dificulta la toma de decisiones sobre en qué tecnología invertir.			
ACCIONES			
1	Definir conjunto de estudios prioritarios para orientar los planes de desarrollo portuario con almacenamiento, transferencia y bunkering de combustibles alternativos (y la transición desde actuales).		
2	Conseguir financiamiento, licitar y ejecutar los estudios marco para: a) Identificar el rol de cada tipo de combustibles alternativos y su cronograma de desarrollo. b) Identificar el rol potencial de cada puerto respecto de estos combustibles alternativos. c) Identificar la infraestructura necesaria para almacenamiento, transferencia y bunkering, para cada puerto, para cada combustible alternativo, en los tiempos definidos.		
3	Establecer la gobernanza a nivel de puertos que se integre a la gobernanza propuesta en el Eje 1 de la Hoja de Ruta, para implementar las adaptaciones definidas en los estudios marco, lo que puede incluir, entre otras: a) Adaptar planes maestros de desarrollo de puertos.		

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

	b) Establecer convenios de financiamiento. c) Generar institucionalidad para el seguimiento.		
4	Analizar potenciales alianzas público-privada con puertos y concesiones actuales presente en las 5 regiones prioritarias para acelerar la primera etapa de implementación de corredores según Iniciativa 2.1. Se deberá evaluar potenciales acciones para poder viabilizar planes de inversión en caso de que las concesiones están por terminar (Ej. establecer mecanismos extraordinarios de extensión de concesiones si los puertos toman un rol de bunkering de combustibles alternativos en la primera etapa).		
5	Con base a los resultados de los estudios previos, desarrollar nuevos elementos contractuales para las futuras concesiones que se realicen a los puertos, considerando el resto de las regiones del país que deberán en el mediano y largo plazo también progresivamente ir habilitando el suministro de combustibles alternativos derivados del hidrógeno verde (eDiesel, Metanol y Amoníaco).		
6	Desarrollar una guía de manejo de combustibles alternativos, con foco en Amoníaco, identificando riesgos, medidas de seguridad a tener en cuenta y recomendaciones para su manejo. Hacer difusión desde DIRECTEMAR y desde el Centro de Aseguramiento Energético.		
HITOS		RESPONSABLES INICIATIVAS	
• Hito 1: Plan de estudios y financiamiento definido en 2025. • Hito 2: Alianza identificada y establecida con un puerto para habilitar el primer corredor de Metanol 2026.		• SEP (Sistema de Empresas Públicas de Min. Hacienda). • Gobernanza Centro de Aseguramiento Energético. • Ministerio de Transportes.	
INDICADORES		EJECUTORES INVOLUCRADOS	
• Porcentaje del plan de estudios ejecutado por año. • Porcentaje de Planes Maestros Portuarios adaptados por año. • Porcentaje de la infraestructura del plan construida por año.		• Min. Hacienda, Dipres. • EEPP (Empresas Públicas del Estado, portuarias). • Operadores de terminales portuarios. • Proveedores de servicios portuarios. • Armada, DIRECTEMAR. • Centro de Aseguramiento Energético.	

 EJE 3		EJE N°3: LOGÍSTICA PARA EL SUMINISTRO	
INICIATIVA 3.1		RESULTADO ESPERADO	
Desarrollar estrategia integral para cinco regiones de Chile que defina el/los puertos, combustibles alternativos a suministrar; y logística de abastecimiento asociada. Esta estrategia buscará determinar con claridad si un puerto proporcionará combustibles marinos alternativos y, en caso afirmativo, especificar cuáles derivados del hidrógeno (uno o más) serán ofrecidos. También esta estrategia indicará si el abastecimiento se hará con proyectos emplazados en la misma región o si se justificara un abastecimiento entre regiones. Las regiones que se priorizarán en la primera etapa de la Hoja de Ruta (HdR) serán: Antofagasta, Valparaíso, Biobío, Los Lagos, Magallanes y la Antártica Chilena.		Regiones de Antofagasta, Valparaíso, Biobío, Los Lagos, Magallanes y la Antártica Chilena con su rol definido para suministro de 1 o más combustibles alternativos.	
PLAZO	- Corto Plazo (2025 – 2030)		
BRECHA CUBIERTA			
• Falta de instalaciones para el almacenamiento, producción de H2V y derivados en puertos. • No existe Infraestructura para suministrar los combustibles alternativos marinos. • Falta de definición de los combustibles alternativos que serán suministrados en el corto, mediano, largo plazo en cada región, lo cual dificulta la toma de decisiones sobre en qué tecnología invertir. • Falta de viabilidad para realizar inversiones en infraestructura portuaria habilitante para combustibles alternativos marinos debido a la proximidad del vencimiento de las concesiones portuarias en el territorio nacional. • Falta de un sistema de suministro a buques de los nuevos combustibles alternativos que asegure la disponibilidad a lo largo de Chile.			
ACCIONES			
1	Profundizar los análisis desarrollados en la HdR para las 5 regiones prioritarias, con el desarrollo de estudios de viabilidad técnica y económica para identificar los trade-off de suministrar 1 o más combustibles alternativos versus la disponibilidad de la oferta entre las regiones analizadas.		
2	En base a los resultados previos, elaborar planes logísticos de abastecimiento a puertos ubicados en las cinco regiones priorizadas, en conjunto con proveedores de servicios de suministro de combustibles marinos, infraestructura disponible (vialidad, ductos, intermodalidad sobre todo en casos de zonas más aisladas y extremas como Magallanes y la Antártica Chilena).		

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

3	Entender los impactos ambientales de las distintas estrategias de suministro y abastecimiento de combustibles marinos. Contabilizar las emisiones <i>well-to-wake</i> para cada caso.		
4	Identificar los requerimientos normativos para el transporte seguro de combustibles marítimos, en base a los más altos estándares internacionales.		
HITOS		RESPONSABLES INICIATIVAS	
Hito 1: Tener al 2035 una red de logística de abastecimiento de combustibles alternativos para 5 regiones y al menos 1 puerto por región.		- Armada de Chile. - Gobernanza Centro de Aseguramiento Energético. - Ministerio de Energía. - Ministerio de Transportes.	
INDICADORES		EJECUTORES INVOLUCRADOS	
- Capacidad anual de almacenamiento de combustibles alternativos por región/puerto (t o m3 por tipo de combustible/año). - Capacidad de suministro diario por combustible alternativo (t o m³/día). - Modo de abastecimiento, capacidades y frecuencia.		- Sector Público (Ministerio de Transportes, Ministerio de Energía, MOP, Ministerio de Defensa, CORFO, Cancillería, SEC, DIRECTEMAR). - Sector Privado (desarrolladores, tecnólogos, astilleros, operadores marítimos, operadores portuarios, gremios, distribuidores de combustibles marinos otros). - Gobiernos regionales y locales.	

 EJE 3		EJE N°3: LOGÍSTICA PARA EL SUMINISTRO	
INICIATIVA 3.2		RESULTADO ESPERADO	
Evaluar infraestructura de uso común con fines de abastecimiento para cinco (5) regiones de Chile. Esta iniciativa buscará sinergias con definiciones de inversiones de infraestructura de uso común que se está promoviendo para los grandes proyectos de exportación de derivados del H2 en Chile. Las regiones que se priorizarán en la primera etapa de la Hoja de Ruta (HdR) serán: Antofagasta, Valparaíso, Biobío, Los Lagos, Magallanes y la Antártica Chilena.		Regiones de Antofagasta, Valparaíso, Biobío, Los Lagos, Magallanes y la Antártica Chilena con sus definiciones de requerimientos de infraestructura de uso común.	
PLAZO	- Corto Plazo (2025 – 2030)		
BRECHA CUBIERTA			
- Falta de instalaciones para el almacenamiento, producción de H2V y derivados en puertos - No existe Infraestructura para suministrar los combustibles alternativos marinos. - Falta de definición de los combustibles alternativos que serán suministrados en el corto, mediano, largo plazo en cada región, lo cual dificulta la toma de decisiones sobre en qué tecnología invertir. - Falta de viabilidad para realizar inversiones en infraestructura portuaria habilitante para combustibles alternativos marinos debido a la proximidad del vencimiento de las concesiones portuarias en el territorio nacional. - Falta de un sistema de suministro a buques de los nuevos combustibles alternativos que asegure la disponibilidad a lo largo de Chile. - Falta de integración del concepto de infraestructura de uso compartido para el abastecimiento de la industria marítima.			
ACCIONES			
1	Posicionar en la agenda de los principales hubs de H2 y derivados de Chile, la necesidad de habilitar infraestructura de almacenamiento común para fines de abastecimiento de combustibles alternativos a embarcaciones.		
2	Desarrollar estudios de caso y modelación de cadenas de valor para las regiones que no serán hubs productivos de H2 y derivados de gran escala (Valparaíso y Los Lagos), para determinar potenciales ubicaciones de infraestructura de almacenamiento de uso común por parte de los desarrolladores.		
3	Entender los impactos ambientales de las alternativas emplazadas como infraestructura de uso común para el abastecimiento de combustibles fósiles.		
4	Trabajar con gobierno central y regional, además de fondos privados, la cofinanciación de infraestructura de uso común para viabilizar los proyectos de carácter estratégico para la industria, en pro a la autonomía energética		

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

marítima.	
HITOS	RESPONSABLES INICIATIVAS
Hito 1: Tener al 2035 la primera infraestructura de uso común para almacenamiento de amoníaco como combustible alternativo, para al menos 1 región de las priorizadas.	- Armada de Chile. - Gobernanza Centro de Aseguramiento Energético. - Ministerio de Energía.
INDICADORES	EJECUTORES INVOLUCRADOS
- Capacidad anual de almacenamiento de combustibles alternativos por región/puerto (t o m³ por tipo de combustible/año). - Modo de abastecimiento, capacidades y frecuencia. - Entidad/Entidades que proveen combustible alternativo almacenado (1 o más proyectos de producción).	- Sector Público (Ministerio de Transportes, Ministerio de Energía, MOP, Ministerio de Defensa, CORFO, Cancillería, SEC, DIRECTEMAR). - Sector Privado (desarrolladores, tecnólogos, astilleros, operadores marítimos, operadores portuarios, gremios, distribuidores de combustibles marinos otros). - Gobiernos regionales y locales.

 EJE 4		EJE N°4: DESARROLLO TECNOLÓGICO	
INICIATIVA 4.1		RESULTADO ESPERADO	
Diagnosticar todas las flotas mayores respecto de opciones tecnológicas para la adopción de combustibles alternativos (adaptación, retrofit o recambio). Esta iniciativa busca entender, para la flota mayor (586 unidades al 2024), cuales serán los combustibles alternativos factibles de utilizar (eDiesel, metanol o Amoniaco) a partir del análisis caso a caso de vida útil, perfil operacional, tipo de servicios, disponibilidad tecnológica y de combustibles alternativos, entre otros. Esto es importante para poder entender bien como serían las demandas asociadas por tipo de combustible alternativo en las distintas temporalidades, ya que no todas las embarcaciones serán susceptibles a retrofit		Flota Mayor caracterizada en términos de viabilidad para uso de combustibles alternativos por medio de adaptación, retrofit o recambio	
PLAZO	- Corto plazo (2025 – 2030)		
BRECHA CUBIERTA			
- Falta de definición de los combustibles alternativos que serán suministrados en el corto, mediano, largo plazo en cada región, lo cual dificulta la toma de decisiones sobre en qué tecnología invertir - Ausencia de una cuantificación del impacto técnico que tendría la adopción de nuevas tecnologías de propulsión basadas en combustibles alternativos sobre los activos actualmente en operación para las distintas actividades marítimas y pesqueras - Costo de la adaptación/reconversión/recambio de embarcaciones utilizadas en actividades marítimas y pesqueras es significativamente mayor que el de una opción de tipo convencional, con una disponibilidad de oferta limitada de proveedores a nivel local e internacionales - Falta de espacios para la ejecución y validación de proyectos piloto orientados a aplicación del uso de combustibles alternativos en el transporte marítimo			
ACCIONES			
1	Desarrollar en 2025 un estudio para adaptación/retrofit/renovación para embarcaciones mayores utilizadas en actividades marítimas y pesqueras, evaluando su antigüedad, estado de conservación y la adecuación a las normativas ambientales, de seguridad vigentes, entre otros.		
2	Desarrollar en 2026 un plan, en base a los resultado anteriores, que priorice el trabajo para adaptación/retrofit/renovación en las cinco (5) regiones priorizadas (Antofagasta, Valparaíso, Biobío, Los Lagos y Magallanes y la Antártica Chilena)		
3	Diagnosticar en 2026 necesidades de demanda de combustibles alternativos según el plan definido para adaptación/retrofit/renovación en las cinco (5) regiones priorizadas. Difundir los resultados desde la gobernanza para dar señales a la		

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

	industria		
4	Cuantificar en 2026 costos asociados al por el plan definido para adaptación/retrofit/renovación en las cinco (5) regiones priorizadas. Identificar mecanismos de financiación público-privados y de cooperación internacional. Difundir los resultados desde la gobernanza para dar señales a la industria y gobierno central para definiciones de mecanismos de co-financiamiento y/o incentivos		
5	Expandir al 2030, basado en el trabajo hecho para 5 regiones, del plan para adaptación/retrofit/renovación, abarcando a todas las embarcaciones mayores que operan en el país		
HITOS		RESPONSABLES INICIATIVAS	
Hito 1: Plan de Flotas Mayores desarrollado en 2026		- Centro de Aseguramiento Energético - Armada	
INDICADORES		EJECUTORES INVOLUCRADOS	
Cantidad de Planes de Flotas publicados por región y tipo de combustible alternativo		- Centro de Aseguramiento Energético - Sector Público (Ministerio de Transportes, Ministerio de Energía, CORFO) - Sector Privado (desarrolladores, tecnólogos, astilleros, operadores marítimos, operadores portuarios, gremios, distribuidores de combustibles marinos otros).	

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

 EJE 4	EJE N°4: DESARROLLO TECNOLÓGICO	
INICIATIVA 4.2		RESULTADO ESPERADO
Fortalecimiento de capacidades de la industria naval, astilleros y proveedores de tecnología para el desarrollo de pilotos. Esta iniciativa busca poder establecer capacidades de astilleros y red de proveedores de tecnologías requeridas para el uso de combustibles alternativos en las cinco regiones prioritarias regiones priorizadas (Antofagasta, Valparaíso, Biobío, Los Lagos y Magallanes y la Antártica Chilena)		Capacidades de Astilleros creadas (nuevas o ampliación de las existentes) para 5 regiones Desarrollo red de proveedores de tecnologías para sistemas de propulsión de combustibles alternativos Pilotos para distintas actividades asociadas a flotas mayores
PLAZO	- Corto Plazo (2025-2030) - Mediano Plazo (2031-2040)	
BRECHA CUBIERTA		
- Costo de la adaptación/reconversión/recambio de embarcaciones utilizadas en actividades marítimas y pesqueras es significativamente mayor que el de una opción de tipo convencional, con una disponibilidad de oferta limitada de proveedores a nivel local e internacionales - Falta de espacios para la ejecución y validación de proyectos piloto orientados a aplicación del uso de combustibles alternativos en el transporte marítimo - Falta de desarrollo de tecnología en sistemas de almacenamiento y en sistemas de propulsión en base a combustibles alternativos - Ausencia de una cadena de logística local de repuestos a nivel nacional, lo que genera un mayor riesgo y dificulta la consecución de la autonomía energética en la operación marítima nacional.		
ACCIONES		
1	Diagnosticar en 2026 necesidades capacidades requeridas de astilleros según resultados de Iniciativa 4.1. Estas capacidades de astilleros serán para existentes o nuevos. Cuantificar costos asociados a la habilitación de astilleros (existentes y nuevos) para cubrir nuevas necesidades provenientes del plan. Difundir los resultados desde la gobernanza para dar señales a la industria	
2	Desarrollar capacidades de astilleros y de producción de combustibles alternativos, con foco en las cinco regiones priorizadas al 2035.	
3	Diseñar e implementar estrategias de inclusión de mujeres en la dotación de los Astilleros, haciendo sinergias con el programa de Ministerio de Energía llamado “Energía + Mujer”	
4	Mapear red de tecnólogos en conjunto con el sector privado perteneciente a la industria marítima y academia. Explorar mecanismos de desarrollo de nuevas actividades productivas junto a CORFO, con foco en sistemas de propulsión marítimo para Metanol y Amoníaco (Inspirado en el llamado de Corfo para Plantas	

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

	de Ensamble de Electrolizadores a ser instalados en Chile).
HITOS	RESPONSABLES INICIATIVAS
- Hito 1: Tener al 2035 astilleros nuevos y/o repotenciados para las cinco regiones priorizadas - Hito 2: Tener al 2030 1 piloto de embarcaciones con combustibles alternativos (eDiesel o Metanol Verde para actividad comercial marítima)	- Centro de Aseguramiento Energético - Armada - CORFO
INDICADORES	EJECUTORES INVOLUCRADOS
- Cantidad de nuevos astilleros por región - Cantidad de astilleros reacondicionados por región - Cantidad de Tecnólogos/proveedores con actividad comercial por región (representación directa o a través de distribuidores) - Cantidad de embarcaciones operando con combustibles alternativos para actividad comerciales marítimas	- Centro de Aseguramiento Energético - Sector Público (Ministerio de Transportes, Ministerio de Energía, CORFO) - Sector Privado (tecnólogos, astilleros, operadores marítimos, operadores portuarios, gremios, distribuidores de combustibles marinos otros). - Gobiernos regionales

 EJE 4	EJE N°4: DESARROLLO TECNOLÓGICO	
INICIATIVA 4.3		RESULTADO ESPERADO
Desarrollo de estrategia Armada para retrofit y diseño/construcción de nuevas naves que utilicen combustibles alternativos. Esta iniciativa busca proyectar los resultados del pilot de la Lancha de Servicios generales al resto delas embarcaciones de la Armada, apalancándose además del Plan de Construcción Continua		Plan de transformación y construcción del 100% de la flota de la Armada
PLAZO	- Corto Plazo (2025-2030)	
BRECHA CUBIERTA		
- Falta de definición de los combustibles alternativos que serán suministrados en el corto, mediano, largo plazo para la Armada - Ausencia de una cuantificación del impacto técnico que tendría la adopción de nuevas tecnologías de propulsión basadas en combustibles alternativos sobre los activos actualmente en operación para las distintas actividades de la Armada - Costo de la adaptación/reconversión/recambio de embarcaciones utilizadas en la Armada es significativamente mayor que el de una opción de tipo convencional, con una disponibilidad de oferta limitada de proveedores a nivel local e internacionales - Falta de espacios para la ejecución y validación de proyectos piloto orientados a aplicación del uso de combustibles alternativos en el transporte marítimo		
ACCIONES		
1	Implementar el piloto de Lancha de Servicios Generales de la Armada con sistema dual de Metanol y Diesel, que permita la transición gradual y flexibilidad operativa. Evaluación de resultados (rendimiento, eficiencia, operativos, mantenimiento)	
2	Desarrollar en 2025 un estudio para adaptación/retrofit/renovación para embarcaciones de la Armada, evaluando su antigüedad, estado de conservación y la adecuación a las normativas ambientales, de seguridad vigentes, entre otros. Se deberá priorizar en el corto plazo y mediano plazo sistemas duales con Metanol y en el largo plazo sistemas duales Amoniaco	
3	Desarrollar capacidades internas en la Armada y la colaboración industrial, apalancados del Plan de Construcción Continua y el Centro de Aseguramiento Energético, para la construcción propia de embarcaciones nuevas con tecnologías de propulsión duales. Se buscará fomentar alianzas para el desarrollo de tecnologías y suministro de combustibles alternativos.	
4	Diagnosticar en 2026 necesidades de demanda de combustibles alternativos según el plan definido para adaptación/retrofit/renovación de las embarcaciones de la Armada. Difundir los resultados desde la gobernanza para dar señales a la industria	
5	Cuantificar en 2026 costos asociados al por el plan definido para adaptación/retrofit/renovación de la Armada.. Difundir los resultados desde la gobernanza para dar señales a la industria y gobierno central para definiciones de	

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

	mecanismos de co-financiamiento	
HITOS	RESPONSABLES INICIATIVAS	
Hito 1: Tener al 2030 1 piloto de embarcaciones con combustibles alternativos (eDiesel o Metanol Verde para flota Armada)	- Centro de Aseguramiento Energético - Armada	
INDICADORES	EJECUTORES INVOLUCRADOS	
- Cantidad de embarcaciones operando con combustibles alternativos para flota Armada - Cantidad de embarcaciones construidas por la Armada con sistemas de propulsión dual	- Centro de Aseguramiento Energético - Sector Público (Ministerio de Transportes, Ministerio de Energía, Ministerio de Defensa) - Sector Privado (tecnólogos, astilleros, operadores marítimos, operadores portuarios, gremios, distribuidores de combustibles marinos otros). - Gobiernos regionales	

 EJE 5		EJE N°5: CAPITULO HUMANO	
INICIATIVA 5.1		RESULTADO ESPERADO	
Desarrollar e implementar una estrategia nacional para la industria marítima que combine formación técnica y universitaria, investigación y desarrollo en torno tecnologías y combustibles alternativos. Esta iniciativa busca poder formar capital humano y brindar las competencias necesarias para la adopción de tecnologías y combustibles alternativos para la industria marítima.		Profesionales y técnicos capacitados para potenciar el desarrollo de la industria del hidrógeno y sus derivados, junto con sus aplicaciones en Chile. Centro de Aseguramiento Energético creado y operando.	
PLAZO	- Corto plazo (2025 – 2030) - Mediano plazo (2030 – 2040)		
BRECHA CUBIERTA			
• Limitada oferta de trabajadores en regiones: esta nueva industria generará muchos nuevos empleos con foco en regiones como Magallanes. Sin embargo, falta capital humano en las regiones donde más de requerirá. • Falta de perfiles de corrosionistas: es un tema que será sumamente relevante y que además de que actualmente hay muy pocos, tampoco se aborda en los programas de formación. • Brecha de género: según la línea base realizada 75% son varones. • Falta profesionales con perfiles navales (construcción, operación, mantención) y de sistemas de propulsión con combustibles alternativos			
ACCIONES			
1	Diseño del Centro de Aseguramiento energético al 2025: estructura y gobernanza, modelo de negocios y servicios, laboratorios, oferta de capacitación inicial		
2	Fundar el Centro de Aseguramiento energético al 2026, desarrollo de vinculación publico/privada, alianzas internacionales, exploración de tecnologías para la adopción nacional y desarrollo de capacitaciones		
3	Realizar estudio para determinar las capacidades, técnicas y profesionales, requeridas a nivel nacional para el desarrollo de la industria del hidrógeno verde y derivados en Chile (corto plazo).		
4	Realizar estudio para determinar las capacidades, técnicas y profesionales, requeridas a nivel nacional para el desarrollo de la industria del hidrógeno verde y derivados en Chile (corto plazo).		
5	Diseñar estrategia para el desarrollo de las capacidades requeridas, definiendo acciones y temporalidad de ellas, incluyendo el diseño e implementación de mallas curriculares (corto plazo), estrategias de género. Hacer revisión y mejor periódica de la estrategia.		

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

6	Diseñar e implementar mallas para la formación técnica superior y profesional con capacidades para el desarrollo, operación y mantenimiento de equipos e infraestructura en puertos para el almacenamiento y suministro de combustibles alternativos.		
7	Diseñar e implementar mallas para la formación técnica superior y profesional con capacidades para el construcción naval y uso de tecnologías de propulsión con combustibles alternativos.		
8	Hacer sinergias con programa del Ministerio de Energía y el programa “Energía + Mujer” para motivar la participación de mujeres en estas carreras		
HITOS		RESPONSABLES INICIATIVAS	
• Fundación del Centro de Aseguramiento Energético en 2026 • Estrategia publicada, 2026. • Implementación de mallas curriculares, 2030.		• Centro de Aseguramiento Energético • Armada	
INDICADORES		EJECUTORES INVOLUCRADOS	
• Cantidad de capacitaciones hechas por el Centro al año • Cantidad de publicaciones científicas realizadas al año • Cantidad de titulados anuales según las mallas de formación especializada. • Cantidad de mujeres titulados anuales según las mallas de formación especializada.		• Centro de Aseguramiento Energético • Armada • Entidades educacionales • Ministerio de Educación • Gobiernos Regionales y Municipalidades • Ministerio de Energía	

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

 EJE 5		EJE N°5: CAPITAL HUMANO	
INICIATIVA 5.2		RESULTADO ESPERADO	
Diseñar e implementar plan de capacitación especializado para el uso de combustibles alternativos (H2 y derivados) en la industria marítima: manejo y seguridad en puerto y embarcaciones, capacidad en astilleros. Esta iniciativa busca poder tener capital humano para los primeros pilotos que se buscan impulsar al 2030 (re-skilling)		Técnicos y profesionales preparados para la implementación en el corto plazo de los pilotos de uso de combustibles alternativos para embarcaciones.	
PLAZO	- Corto plazo (2025 – 2030)		
BRECHAS CUBIERTAS			
- Limitada oferta de trabajadores en regiones: esta nueva industria generará muchos nuevos empleos con foco en regiones como Magallanes. Sin embargo, falta capital humano en las regiones donde más de requerirá. - Falta de perfiles de corrosionistas: es un tema que será sumamente relevante y que además de que actualmente hay muy pocos, tampoco se aborda en los programas de formación. - Brecha de género: según la línea base realizada 75% son varones. - Falta de equipo de miembros de la Armada para poder soportar la transición energética del sector marítimo.			
ACCIONES			
1	Realizar estudio para determinar las capacidades, técnicas y profesionales, requeridas en los pilotos de uso de combustibles alternativos, tanto para dotación civil como de la Armada		
2	Diseñar e implementar plan de capacitación dirigido a profesionales y técnicos con formación de ingeniería y/o naval para una complementar conocimiento apalancado de la implementación de los pilotos de combustibles alternativos		
3	Coordinar trabajo territorial y con el Gobierno Central en las 5 regiones priorizadas para identificar alianzas con instituciones educativas que apoyen en la captación de interesados/as (hombres y mujeres) que sean parte del personal que apoye la implementación de los primeros pilotos		
HITOS		RESPONSABLES INICIATIVAS	
Hito 1: Desarrollo de la primera capacitación, 2026 por el Centro de Aseguramiento Energético		- Centro de Aseguramiento Energético - Armada	

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

INDICADORES	EJECUTORES INVOLUCRADOS
• N° de capacitaciones realizadas • N° de profesionales y técnicos capacitados	• Centro de Aseguramiento Energético • Armada • Entidades educacionales • Astilleros, tecnólogos • Ministerio de Energía, Ministerio de Educación

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

 EJE 6		EJE N°6: DESARROLLO SOCIAL Y AMBIENTAL	
INICIATIVA 6.1		RESULTADO ESPERADO	
Desarrollo de una guía del SEIA para proyectos de abastecimiento de combustibles alternativos en Chile, que considere infraestructura y cadenas de suministro en puertos.		Agilizar proceso preparación de Estudio de Impacto Ambiental en la implementación de la infraestructura para el suministro en puertos.	
PLAZO	- Corto plazo (2025 – 2030)		
BRECHAS CUBIERTAS			
• Estandarizar la revisión y plazos de los proyectos según características de la región, desde el punto de vista medioambiental. • Falta unificar los criterios de evaluación del SEIA. • Falta claridad en como llevar a cabo estos nuevas cadenas de suministro y su correcto manejo • Percepción del Amoníaco como tóxico y asimetría de información respecto de su uso como combustibles alternativos			
ACCIONES			
1	Diseñar y publicar guía para proyectos de abastecimiento de combustibles alternativos en Chile, considerando infraestructura y cadenas de suministro.		
2	Capacitar equipo revisor en SEA y SEIA para este nuevo tipo de proyectos en torno al uso de combustibles alternativos e infraestructura en puertos		
3	Evaluar la estandarización de los plazos de revisión que tomarían este tipo de proyectos, de manera de dinamizar la implementación de los proyectos de la infraestructura requeridos para el cumplimiento de las metas de adopción al 2030 y 2035 de la Hoja de Ruta		
HITOS		RESPONSABLES INICIATIVAS	
• Hito 1: Publicación de guía en plataforma del SEA, 2026.		• SEA • SEIA	
INDICADORES		EJECUTORES INVOLUCRADOS	
• Cantidad de proyectos revisados posterior a la publicación de la guía • Cantidad de proyectos aprobados posterior a la publicación de la guía • Tiempos de revisión posterior a la publicación de la guía		• Ministerio del Medio Ambiente • Centro de Aseguramiento Energético • Sector Público (Ministerio de Transportes, Ministerio de Energía, MOP, Ministerio de Defensa, CORFO, Cancillería, SEC, DIRECTEMAR). • Sector Privado (desarrolladores, tecnólogos, astilleros, operadores marítimos, operadores portuarios, gremios, distribuidores de combustibles marinos otros).	

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

	• Gobiernos regionales y locales
--	--

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

 EJE 6		EJE N°6: DESARROLLO SOCIAL Y AMBIENTAL	
INICIATIVA 6.2		RESULTADO ESPERADO	
Centralizar un inventario de emisiones de GEI para las embarcaciones mayores de Chile y establecer sistemas de reportabilidad. Esta iniciativa busca contribuir en el monitoreo del sector marítimo y su descarbonización para llevar una trazabilidad en el cumplimiento de las NDC y metas de cambio climático del país.		Sistema de reporte para las embarcaciones mayores de emisiones de GEI del sector marítimo de Chile.	
PLAZO	- Corto plazo (2025 – 2030)		
BRECHAS CUBIERTAS			
• No existe una plataforma de reportabilidad de las emisiones para el contexto del cabotaje (en la industria pesquera si hay algo) • Los sectores mercantes, remolcadores y de pasajeros no deben reportar sus emisiones, solo lo hace la industria minera • Poca visibilidad del sector marítimo, reducido acceso a la información a la hora de poder construir los inventarios de emisiones de GEI • No se lleva registro de otros contaminantes de interés para el cambio climático y su gestión en la industria marítima, como el uso de refrigerantes y las emisiones de Black Carbon.			
ACCIONES			
1	Diseñar un sistema de reportabilidad de emisiones para la industria marítima enfocado en embarcaciones mayores, tomando como base lo establecido para las embarcaciones de la industria pesquera. Este debe estar alineado con el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (INGEI) y acoplarse a este con el objetivo de centralizar la información.		
2	Establecer metodologías para registrar otros contaminantes de interés para el Ministerio del Medio Ambiente (MMA), entre ellos el uso de refrigerantes y las emisiones de black carbon		
3	Crear una campaña de Huella Chile (MMA) dedicada a los actores dueños de las embarcaciones mayores de Chile, para que se comiencen a establecer las líneas bases y el diagnóstico en términos de capacidades y acceso a la información		
4	Estandarizar metodologías para las emisiones del ciclo de vida de los combustibles alternativos a ser utilizados, para tener una referencia objetiva del impacto en las reducciones (Emisiones well-to-wake). Capacitar a los distintos actores a través del Centro de Aseguramiento Energético		

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

HITOS	RESPONSABLES INICIATIVAS
• Hito 1: Sistema de reportabilidad en uso, 2026. • Hito 2: Campaña Huella Chile implementada, 2026	• Ministerio de Medio Ambiente • Centro de Aseguramiento Energético
INDICADORES	EJECUTORES INVOLUCRADOS
• Porcentaje de embarcaciones mayores reportando sus emisiones de GEI. • Entidades que forman parte del programa Huella Chile • Cantidad de personas capacitadas en la estimación de emisiones de Ciclo de vida de combustibles alternativos	• Sector Público (Ministerio de Transportes, Ministerio de Energía, DIRECTEMAR). • Sector Privado (operadores marítimos, empresa pesqueras, operadores portuarios, gremios, distribuidores de combustibles marinos otros). • Gobiernos regionales y locales

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

 EJE 6		EJE N°6: DESARROLLO SOCIAL Y AMBIENTAL	
INICIATIVA 6.3		RESULTADO ESPERADO	
Desarrollar e implementar un plan de comunicaciones sobre los combustibles alternativos para el transporte marítimo, dirigido a la ciudadanía y con propósitos educativos. Esta iniciativa busca complementar otras acciones que se vienen dando a nivel de Plan de Acción de H2 verde para trabajar la capa ciudadana con los proyectos de descarbonización, en este caso, asociados a la industria marítima		Población educada respecto a los combustibles alternativos y la oportunidad de ser autónomos energéticamente en el sector marítimo.	
PLAZO	- Corto plazo (2025 – 2030)		
BRECHAS CUBIERTAS			
- Las personas tienden a mostrar una predisposición negativa hacia el amoníaco debido a que es toxico. Esto hace disminuir la relevancia del amoníaco y su rol en la descarbonización de la industria marítima. - Bajo conocimiento del uso de combustibles alternativos derivados del hidrógeno - Bajo conocimiento de los impactos y beneficios de usar combustibles alternativos en la industria marítima			
ACCIONES			
1	Diseñar plan de diseminación respecto al uso de hidrógeno y sus derivados como combustible en la industria marítima. Buscar sinergias con los esfuerzos en diseminación que desarrolla el Ministerio de Energía en el marco del Plan de Acción de Hidrógeno Verde		
2	Iniciar un trabajo de implementación del plan de difusión en las 5 regiones priorizadas, luego extender al resto del territorio		
2	Integrar a las mallas curriculares escolares un tópico que aborde la descarbonización, incluido el transporte marítimo, y donde se revisen las tecnologías disponibles junto con sus implicancias (autonomía energética, descarbonización, sostenibilidad).		
3	Vincular instituciones educativas de manera temprana en proyectos e iniciativas relacionadas a la descarbonización de la industria marítima.		
4	Crear visitas técnicas entre instituciones educacionales y los pilotos que se empiecen a desarrollar para el uso de combustibles alternativos (ejemplo lo que hace HIF en la región de Magallanes y la Antártica Chilena)		

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

HITOS	RESPONSABLES INICIATIVAS
- Comienzo implementación plan de diseminación, 2026. - Vinculación establecida con educaciones educativas, 2027. - integración en mallas curriculares escolares, 2030.	- Centro de Aseguramiento Energético - Ministerio de Energía - Ministerio de Educación
INDICADORES	EJECUTORES INVOLUCRADOS
- Campañas realizadas de difusión por región - Cantidad de escuelas que incluyen en sus mallas curriculares temáticas de uso de combustibles alternativos marítimos - Cantidad de visitas técnicas hechas desde centros de educación a los pilotos de uso de combustibles alternativos	- Armada - Entidades Educativas - Sector Público (Ministerio de Transportes, Ministerio de Energía, Ministerio del Medio Ambiente). - Sector Privado (desarrolladores, tecnólogos, astilleros, operadores marítimos, operadores portuarios, gremios, distribuidores de combustibles marinos otros). - Gobiernos regionales y locales

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

EJE 7		EJE N°7: REGULACIÓN	
INICIATIVA 7.1		RESULTADO ESPERADO	
Establecer leyes que estipulen como mandatorias las metas de descarbonización y uso de combustibles bajos en carbono para la descarbonización del transporte marítimo propuestas en la Estrategia Climática a Largo Plazo, Contribución Determinada a Nivel Nacional, Política Energética Nacional. Esta iniciativa busca aprovechar la ventana de oportunidad que se dará con la actualización de las NDC al 2035 para incluir de forma explícita a la industria marítima en compromisos de reducción de emisiones a dicho horizonte		Metas mandatorias para el uso de combustibles alternativos y reducción de emisiones de GEI para el sector marítimo.	
PLAZO	- Corto plazo (2025 – 2030) - Mediano plazo (2031 - 2040)		
BRECHAS CUBIERTAS			
• Se requiere generar regulaciones que mejoren la competitividad de este nuevo mercado. • Inexistencia de medidas coercitivas para el uso de combustibles bajos en carbono. • Falta de metas e incentivos (no monetarios) definidos para la reducción de emisiones. • Falta de normativa que asegure niveles de adopción de combustible alternativos en la industria marítima			
ACCIONES			
1	Identificar durante el 2025 las metas de reducción de emisiones y uso obligatorio de combustibles bajos en carbono, con plazos específicos para 2030, 2035 para aportar insumos a la actualización de la NDC 2035		
2	Crear el 2025, primer trimestre, una mesa técnica de trabajo junto al Centro de Aseguramiento Energético, la Armada, Ministerio de Energía, Ministerio de Transportes y Ministerio de Medioambiente para identificar contribución a proyectos de mitigación que se puedan incluir en la actualización de la NDC 2035. Esta actualización de NDC se dará a mediados del 2025.		
3	Desarrollar mecanismos de cumplimiento de reducción de emisiones de CO2, vía Plan Sectorial de Mitigación (PSM) del Ministerio de Transportes, para su próxima actualización que se tendrá que hacer luego de publicada las nuevas NDC 2035 por parte del Ministerio del Medio Ambiente		
4	Identificar sinergias con otros PMS, ejemplo Minería, para acoplar reducción de emisiones de alcance 3 de transporte asociado a la minería nacional por vía marítima, de cara a las actualizaciones que se darán a estos planes por las NDC 2035.		
5	Evaluar una estrategia de cumplimiento, orientada al mediano/largo plazo, donde el MMA, a solicitud del Ministerio de Transportes, puede evaluar una normativa		

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

	específica de cumplimiento de emisiones de CO2 para la industria marítima.
6	Dependiendo del punto 5 anterior, se deberá elaborar un Proyecto de Ley (PdL) que establezca como mandatorio el cumplimiento de las metas de descarbonización y uso de combustibles alternativos en el sector marítimo identificadas.
7	Posteriormente, validar Proyecto de Ley con actores involucrados y expertos, y ajustar según resultados del proceso de validación.
8	Luego, hacer la presentación de Proyecto de Ley ante el Congreso Nacional y seguimiento hasta su promulgación y posterior publicación en el Diario Oficial.
HITOS	
Actualización del PMS para el Sector Transporte, con metas para la industria marítima (2027)	- Ministerio de Transportes - Ministerio de Medio Ambiente - Centro de Aseguramiento Energético
INDICADORES	
- Cantidad de proyectos/medidas presentados de mitigación para la industria marítima comprometidos para las NDC 2035 - Cantidad de proyectos/medidas comprometidos para las NDC2035 - Cantidad de emisiones abatidas por uso de combustibles alternativos en la industria marítima	- Sector Público (Ministerio de Transportes, Ministerio de Energía, Ministerio de Minería). - Sector Privado (desarrolladores, tecnólogos, astilleros, operadores marítimos, operadores portuarios, gremios, distribuidores de combustibles marinos otros). - Gobiernos regionales y locales

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

EJE 7		EJE N°7: REGULACIÓN	
INICIATIVA 7.2		RESULTADO ESPERADO	
Modificar regulación para habilitar el uso y comercialización de estos nuevos combustibles para uso marítimo (metanol, amoniaco, e-Diesel), desde lo que es el diseño y operación de las instalaciones de producción de estos combustibles hasta su calidad, y el diseño y operación de embarcaciones.		Permitir el uso y comercialización de H2 y derivados como combustibles en el sector marítimo.	
PLAZO	- Corto plazo (2025 – 2030)		
BRECHAS CUBIERTAS			
• No están regulados los nuevos combustibles (mezcla de entidades, hoy Min. Salud). • Necesidad de habilitar la normativa necesaria que permita establecer condiciones de seguridad y calidad mínimas de la industria. • Necesidad de actualizar la normativa que regula el mercado de los combustibles marítimos para poder comercializar en el futuro combustibles alternativos en Chile. • Falta de regulación en Chile para los vehículos que operen con hidrógeno verde (lanchas, buques, etc. Entran en esta categoría). Fuera de la guía SEC y el DS 13. • Falta regulación para operación en naves de nuevos energéticos • Falta de regulación en Chile para los embarcaciones menores que operen con hidrógeno verde (lanchas, buques, etc. Entran en esta categoría). Fuera de la guía SEC y el DS 13. • Falta de adaptación normativa para el almacenamiento y la logística.			
ACCIONES			
1	Modificar el Decreto Supremo N°132 de 1979, del Ministerio de Minería que establece normas técnicas, de calidad y de procedimiento de control aplicables al petróleo crudo, a los combustibles derivados del este y a cualquier clase de combustible para regular la comercialización de combustibles alternativos en Chile.		
2	Incluir los combustibles marítimos alternativos (hidrógeno, amoníaco, metanol, DME y e-Diésel) y sus respectivas especificaciones de calidad en el Decreto Supremo N°103 del 2020, del Ministerio de Energía.		
3	Modificar el Decreto Supremo N°146 de 1987, del Ministerio de Defensa Nacional; Subsecretaría de Marina, para regular el diseño y operación de naves que utilicen combustibles alternativos.		
4	Integrar al Decreto Supremo N°160 de 2009, del Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción; Subsecretaría de Economía Fomento y Reconstrucción, para la inclusión del e-Diésel dado su molécula es la misma que un diésel de origen fósil.		
5	Proponer reglamento de seguridad para las instalaciones de producción y almacenamiento de metanol, amoníaco y DME con fines energéticos.		

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

6	Modificar el Decreto Supremo N° 618, del Ministerio de Defensa Nacional; Subsecretaría de Marina, para incluir en el reglamento la manipulación de combustibles alternativos en los recintos portuarios.	
HITOS		RESPONSABLES INICIATIVAS
- Hito 1: modificación de Decreto Supremo N°132 de 1979, del Ministerio de Minería al 2027. - Hito 2: modificación de Decretos Supremos al 2028. - Hito 3: creación reglamento de seguridad, 2030.		- Ministerio de Energía - Ministerio de Defensa Nacional - Ministerio de Minería
INDICADORES		EJECUTORES INVOLUCRADOS
N° de modificaciones/creaciones de regulación		- Gobernanza - Astilleros - Operadores portuarios - Navieras - SEC - DIRECTEMAR - Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

 EJE 7		EJE N°7: REGULACIÓN	
INICIATIVA 7.3		RESULTADO ESPERADO	
Actualizar protocolos actuales de fiscalización de embarcaciones para que incluyan aquellos de naves que utilicen combustibles alternativos.		Disponibilidad de protocolos de fiscalización para embarcaciones que utilizan combustibles alternativos.	
PLAZO	- Corto plazo (2025 – 2030)		
BRECHAS CUBIERTAS			
Se requiere actualizar labores de inspección y fiscalización de las futuras embarcaciones pesqueras que utilicen combustibles alternativos (deben ser inspeccionados cada 2 años)			
ACCIONES			
1	Revisar protocolos existentes e identificar cambios requeridos para la inclusión de embarcaciones que utilicen combustibles alternativos.		
2	Modificar protocolos existentes según cambios requeridos identificados.		
HITOS		RESPONSABLES INICIATIVAS	
- Hito 1: Protocolos actualizados y aplicación de ellos, 2028. - Hito 2: Primera revisión de protocolos actualizados, 2030.		DIRECTEMAR	
INDICADORES		EJECUTORES INVOLUCRADOS	
- Número de reuniones de coordinación entre DIRECTEMAR y otros actores para actualizar y aplicar los protocolos. - Cantidad de protocolos implementados para 2028.		- Gobernanza - Distribuidores de combustibles	

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

 EJE 8		EJE N°8: FINANCIAMIENTO Y COMPETITIVIDAD	
INICIATIVA 8.1		RESULTADO ESPERADO	
Orientar mecanismos Corfo I+D+i para financiamiento de pilotos y desarrollos tecnológicos.		Línea Corfo conformado por fondos concursables y programas de apoyo a pilotos y desarrollo tecnológico	
PLAZO	- Corto plazo (2025 – 2030)		
BRECHAS CUBIERTAS			
• Muy altos precios de nuevos combustibles, y la disponibilidad nacional no es suficiente actualmente ni para hacer pruebas ni certificaciones. • Falta generar instrumentos o mecanismos financieros para incentivar la reconversión y transición energética, disminuyendo sus costos y propiciando su competitividad. • No existen instrumentos o mecanismos de financiamiento a etapas tempranas de desarrollo en proyectos de alto riesgo/incertidumbre tecnológica como H2V o e-Fuels (lo que hay es para pilotaje I+D y baja escala). • Faltan instrumentos que puedan integrar otros factores en las evaluaciones económicas que incluya emisiones por ejemplo. Análisis puro costo-beneficio no da para metanol, DME o diésel. Son más caros y CAPEX más caro. Diésel sintético al menos no requiere retrofit. • Falta generar instrumentos que apalanquen e escalamiento de nuestra capacidad en astilleros. • Falta de mecanismos de compra/venta entre actores para evitar la volatilidad de mercado.			
ACCIONES			
1	Definir un marco presupuestario viable para este ítem al alero del comité de ministros de hidrógeno verde, con foco industria marítima		
2	Diseñar los procesos concursales y programas específicos para la industria marítima de apoyo, de acuerdo al presupuesto definido		
3	Designar una institución responsable de implementar los concursos y programas, ver si atribuciones del nuevo Centro de Aseguramiento Energético podría ser elegible		
4	Implementar esquemas de seguimiento periódico, evaluación de éxito y diseño de replicaciones sostenibles que sean publicados por el Centro de Aseguramiento Energético		
5	Ver otras iniciativas lideradas por CORFO, como el Programa Transforma Cambio Climático, que está siendo trabajado desde la División de Economía Ambiental del Ministerio del Medio Ambiente y que pudiera ayudar al mercado de compensación para este caso de transporte marítimo.		
6	Análogamente, ver iniciativas como el Facility de Hidrógeno o el programa de subastas que busca implementar GIZ, para poder explorar mecanismos que benefician la competitividad de los proyectos de adopción de combustibles alternativos derivados del hidrógeno.		

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

HITOS	RESPONSABLES INICIATIVAS
• Diseño preliminar del programa y fondos concursables 2025 • Implementación de programas y fondos concursables en 2026	• Centro de aseguramiento Energético • Corfo • Ministerio Energía • Ministerio de Transportes • Armada
INDICADORES	EJECUTORES INVOLUCRADOS
• Partidas presupuestales con fondos existentes asignados a proyectos de uso de combustibles alternativos • Partidas presupuestales con fondos nuevos asignados a proyectos de uso de combustibles alternativos	• Corfo • Ministerio Energía • Ministerio de Transportes • Armada • Ministerio de Hacienda • Ministerio de Medio Ambiente

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

 EJE 8		EJE N°8: FINANCIAMIENTO Y COMPETITIVIDAD	
INICIATIVA 8.2		RESULTADO ESPERADO	
Analizar e implementar mecanismos de financiamiento y/o incentivos para el despliegue del uso de combustibles marítimos alternativos (escalar pilotos)		Habilitar mecanismos de financiamiento y/o incentivos.	
PLAZO	- Corto plazo (2025 – 2030) - Mediano plazo (2030 – 2040)		
BRECHAS CUBIERTAS			
• Muy altos precios de nuevos combustibles, y la disponibilidad nacional no es suficiente actualmente ni para hacer pruebas ni certificaciones. • Falta generar instrumentos o mecanismos financieros para incentivar la reconversión y transición energética, disminuyendo sus costos y propiciando su competitividad. • Faltan instrumentos que puedan integrar otros factores en las evaluaciones económicas que incluya emisiones por ejemplo. Análisis puro costo-beneficio no da para metanol, DME o diésel. Son más caros y CAPEX más caro. Diésel sintético al menos no requiere retrofit. • Falta de esquemas de incentivos económicos con foco a la industria marítima nacional. • Falta crear un mercado de CO2 que penalice las emisiones.			
ACCIONES			
1	Identificar a los actores clave, como entidades públicas y de gobierno, y conformar grupo de trabajo junto con definir la entidad responsable de la iniciativa.		
2	La gobernanza desarrolla estudio de diagnóstico con el grupo de trabajo liderado por la entidad responsable): - Identificar mecanismos de financiamiento e incentivos a nivel global para el uso de combustibles marítimos alternativos, como los mercados de CO2. - Evaluar la pertinencia de los instrumentos de financiamiento e incentivos en el contexto local (Chile). Seleccionar y diseñar mecanismos de financiamiento e incentivos para el uso de combustibles alternativos en el sector marítimo en Chile.		
3	Someter la propuesta de mecanismos de financiamiento e incentivos a consulta.		
4	Implementar mecanismos de financiamiento e incentivos integrando los comentarios generados a partir de la consulta.		

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

HITOS	RESPONSABLES INICIATIVAS
• Hito 1: Obtención de los resultados del estudio en 2025. • Hito 2: Someter a consulta pública propuesta de mecanismos y desarrollo de propuesta final, 2026. • Hito 3: Mecanismos implementados, 2032.	• Ministerio de Economía • Ministerio de Energía • CORFO
INDICADORES	EJECUTORES INVOLUCRADOS
• N° de mecanismos de financiamiento globales analizados • N° incentivos aprobados • Frecuencia de reuniones del grupo de trabajo liderado por el Ministerio de Energía y CORFO.	• Gobernanza • Potenciales consumidores de combustibles alternativos • Productores de combustibles alternativos

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

 EJE 8		EJE N°8: FINANCIAMIENTO Y COMPETITIVIDAD	
INICIATIVA 8.3		RESULTADO ESPERADO	
Desarrollar mecanismos para la competitividad de productos clave de la matriz productiva nacional que usen corredores verdes para exportación		Aumentar la competitividad de los combustibles alternativos	
PLAZO	- Corto plazo (2025 – 2030) - Mediano plazo (2030 – 2040)		
BRECHAS CUBIERTAS			
Falta generar instrumentos o mecanismos financieros para incentivar la reconversión y transición energética, disminuyendo sus costos y propiciando su competitividad.			
ACCIONES			
1	Caracterizar los corredores verdes para el transporte marítimo y sus incentivos a nivel global.		
2	Priorizar los incentivos según el impacto en la competitividad de los combustibles alternativos.		
3	Definir incentivos a implementar.		
4	Definir plan de implementación de incentivos y responsable de llevarlo a cabo.		
HITOS		RESPONSABLES INICIATIVAS	
- Hito 1: Finalización del estudio de caracterización de los corredores verdes relevantes a nivel global, incluyendo análisis de incentivos existentes y aplicables a Chile, 2025. - Hito 2: Diseño y socialización de un plan preliminar de incentivos específicos, alineado con las necesidades del sector marítimo y exportador, 2028. - Hito 3: Evaluación del impacto de los incentivos piloto en la competitividad y exportaciones de productos clave, 2032.		- Ministerio de Energía - Ministerio de Economía - Ministerio de Relaciones Exteriores	
INDICADORES		EJECUTORES INVOLUCRADOS	
Nº de reuniones o talleres de socialización realizados con actores clave (sector		Listar actores involucrados en el desarrollo de las acciones.	

Entregable PT5 – Hoja de Ruta para Alcanzar la Carbono Neutralidad de la Industria Marítima al 2050

Transición energética Marítima 2050, Hoja de Ruta hacia la carbono neutralidad

marítimo, exportadores, entes gubernamentales).	
• N° de incentivos evaluados.	

6.6. SISTEMATIZACIÓN TALLER VISIÓN Y OBJETIVOS ESTRATÉGICOS

Se incluyen como anexos digitales los PDF de los lienzos virtuales generados en el desarrollo del taller en referencia, fecha 19 de noviembre 2024, donde participaron representantes de la Armada, de las consultorías que van en paralelo, Ministerio de Energía y el equipo de Hínicio.

- Taller Visión - Valores_Proposito.pdf
- Taller Visión - Objetivo Audaz_Sueño Audaz.pdf

6.7. CONCEPTO DE AUTONOMÍA ENERGÉTICA

Se incluye como anexo digital el entregable Concepto_de_Autonomia_Energetica.pdf que muestra el proceso de co-construcción del concepto, junto con la propuesta preliminar resultante.

Además se incluye la pieza gráfica de fácil difusión para el concepto propuesto.

6.8. INFOGRAFÍA HOJA DE RUTA

Se incluye como anexo digital denominado Infografía Armada.pdf