

**PROVINCIA DE TIERRA DEL FUEGO,  
ANTÁRTIDA E ISLAS DEL ATLÁNTICO SUR**

**CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES**

**EMBARCACIÓN PILOTO FUEGUINA A HIDROGENO  
EPFH2**

**EX-2023-00001393- -CFI-GES#DC**

**FACULTAD DE INGENIERÍA  
DE LA UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES**

Julio 2023

ING. CARLOS M. BRAÑAS  
ING. RAÚL E. PODETTI  
ING. FERNANDO SÁNCHEZ CHECA  
ING EMANUEL ALEJANDRO VAZQUEZ

## 1. ÍNDICE GENERAL

<b>1. ÍNDICE GENERAL .....</b>	<b>1</b>
<b>2. RESUMEN EJECUTIVO.....</b>	<b>2</b>
<b>3. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>4</b>
<b>4. OBJETIVO, ALCANCE Y DOTACIÓN.....</b>	<b>6</b>
<b>5. TAREAS Y ESTUDIOS.....</b>	<b>9</b>
<b>6. CASOS NAVALES DE CERO EMISIONES / HIDRÓGENO.....</b>	<b>11</b>
6.1 INTRODUCCIÓN .....	11
6.2 RELEVAMIENTO Y PERSPECTIVAS DE LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA EN EL SECTOR MARÍTIMO .....	12
6.3 HOJA DE RUTA DE LA APLICACIÓN DE DISTINTAS TECNOLOGÍAS DE APLICACIÓN PARA LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA .....	14
6.4 CASOS.....	16
6.5 CONCLUSIONES .....	31
<b>7. ASPECTOS TECNOLÓGICOS DE INTERÉS SOBRE EL HIDRÓGENO.....</b>	<b>33</b>
7.1 ANÁLISIS DE COMBUSTIBLES BAJO EN EMISIONES. ....	33
7.2 PROPIEDADES FÍSICAS.....	36
7.3 ESTADO DEL ARTE DE LOS SISTEMAS DE PROPULSIÓN .....	52
7.4 CONCLUSIONES .....	61
7.5 REFERENCIAS .....	61
<b>8. OPORTUNIDADES NAVALES FUEGUINAS PARA EL HIDRÓGENO.....</b>	<b>63</b>
8.1 EL SECTOR NAVAL FUEGUINO .....	63
8.2 IDENTIFICACIÓN DE OPORTUNIDADES NAVALES FUEGUINAS PARA USAR H <sub>2</sub> .....	66
8.3 COMPARATIVA DE LAS ALTERNATIVAS CONSIDERADAS .....	74
8.4 SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS MÁS CONVENIENTES .....	82
<b>9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>86</b>

## 2. RESUMEN EJECUTIVO

A través de este estudio se identifica el tipo de embarcación ideal para que sea el piloto para empezar a utilizar Hidrógeno naval en Tierra del Fuego.

Para llegar a esa elección se realizaron los siguientes 3 estudios previos que se presentan en el trabajo:

El ing. Fernando Sánchez Checa desarrolló un análisis de los casos globales de embarcaciones que actualmente están utilizando hidrógeno o algunos de sus *carriers* y consideró también los proyectos más importantes que están en estudio actualmente a nivel mundial.

Es interesante resaltar que varios de los casos mundiales más destacados coinciden con el tipo de buque seleccionado para el piloto de Tierra del Fuego.

El ing. Emanuel Alejandro Vazquez desarrolló un análisis de los aspectos tecnológicos del uso del Hidrógeno en general y en aplicaciones navales en particular trabajando en las siguientes cuatro alternativas: Hidrógeno gaseoso comprimido, Hidrógeno licuado, Amoníaco y Metanol.

Para cada una de ellas analizó el mercado y las características técnicas en cuanto a: Acondicionamiento inicial, Almacenamiento, Transporte, Acondicionamiento final y Seguridad.

El ing. Raúl E. Podetti desarrolló un análisis de las oportunidades navales fueguinas considerando las actividades logísticas marítimas, la pesca, la explotación de hidrocarburos costa afuera, el turismo, la logística polar antártica y la cuestión portuaria.

Atendiendo a todas esas realidades fueguinas se propusieron la siguiente siete embarcaciones posibles para utilizar el Hidrógeno naval: lanchas centolleras, catamaranes turísticos, embarcaciones portuarias, usinas flotantes, portacontenedores y buques polares.

Estas alternativas fueron valorizadas en relación a ocho criterios que contemplaban diferentes aspectos de la factibilidad del uso del Hidrógeno así como su efecto de replicabilidad a futuro.

Finalmente se definió que el buque portacontenedor sería el más conveniente piloto para uso de hidrógeno en TdF y se recomendaron una serie de pasos a seguir, estimándose también las duraciones de estas etapas futuras para poder contar en 24 meses con una primera embarcación prototipo.

### 3. INTRODUCCIÓN

La Provincia de Tierra del Fuego, Antártida e Islas del Atlántico Sur, está interesada en el desarrollo del Hidrógeno como vector energético y para ello viene realizando una serie de estudios para establecer sus capacidades y competitividad a nivel global.

Adicionalmente, la Provincia busca identificar aplicaciones propias para el uso del Hidrógeno que se producirá a futuro. Una de las aplicaciones más obvias por tratarse justamente de una isla, es la aplicación naval.

Por esa razón, a través del Consejo Federal de Inversiones, la Provincia de Tierra del Fuego, Antártida e Islas del Atlántico Sur, avanza con este estudio orientado a la selección de la más conveniente embarcación piloto fueguina a Hidrógeno.

El Consejo Federal de Inversiones solicitó a la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires la realización de este estudio y ésta, designó a un grupo de cuatro profesionales para su realización.

Esta es la primera etapa de un proceso virtuoso que culminará con el diseño, construcción y operación del primer buque propulsado por Hidrógeno en la región lo que permitirá además, desarrollar capacidades en este sentido.

La labor se dividió en siete tareas organizadas en tres estudios a carga de cada consultor y bajo la coordinación de un cuarto consultor.

Un estudio analizó los casos globales de embarcaciones que actualmente están utilizando hidrógeno o algunos de sus carriers y consideró también los proyectos más importantes que están en estudio actualmente a nivel mundial.

Otro estudio desarrolló un análisis de los aspectos tecnológicos del uso del Hidrógeno en general y en aplicaciones navales en particular trabajando en las siguientes cuatro alternativas: Hidrógeno gaseoso comprimido, Hidrógeno licuado, Amoníaco y Metanol.

Y el tercer estudio desarrolló un análisis de las oportunidades navales fueguinas considerando las actividades logísticas marítimas, la pesca, la

explotación de hidrocarburos costa afuera, el turismo, la logística polar antártica y la cuestión portuaria. De allí surgieron siete alternativas que se valorizaron con ocho diferentes criterios para seleccionar la más conveniente.

Finalmente se recomiendan pasos de acción siguientes para dar continuidad al proceso, aportando plazos estimados posibles para sus realizaciones.

## 4. OBJETIVO, ALCANCE Y DOTACIÓN

El **Objetivo** del presente estudio es:

Identificar la mejor oportunidad para el uso naval del Hidrógeno en la provincia de Tierra del Fuego, Antártida e Islas del Atlántico Sur, considerando especialmente su impacto social, ambiental y económico.

Desarrollar, analizar y comparar alternativas de proyectos navales que utilicen al Hidrógeno como vector energético en la provincia de Tierra del Fuego, Antártida e Islas del Atlántico Sur.

El **Alcance** de este estudio se limita a la resolución de las siguientes temáticas planteadas:

- Selección del tipo de embarcación para el desarrollo del Piloto, considerando:
  - Facilidad de adaptación al uso de Hidrógeno o portador químico del mismo.
  - Oportunidad de producción escalable a nivel fueguino según demanda nacional y de exportación en función de los estudios realizados previamente en la provincia.
  - Aporte a la difusión del conocimiento del uso del hidrógeno en la provincia de Tierra del Fuego y en todo el territorio de la República Argentina.
  
- Selección del combustible a utilizar y del sistema de propulsión ya sea mediante un motor de combustión interna o algún tipo de pila de combustible, considerando:
  - Necesidades operativas de la embarcación.
  - Capacidades de desarrollo locales de operación y mantenimiento.
  - Suministro del hidrógeno o portador químico a la embarcación, basado en la información ya desarrollada en estudios anteriores en Tierra del Fuego
  - Producción, almacenamiento y distribución.

- Servicios auxiliares intermedios.
  - Posible impacto de producción en la industria local
  - Otros varios
- Entre otros temas a resolver se mencionan:
- el tipo de armador (estatal o privado, nacional o extranjero),
  - la forma de contratación de la construcción de la embarcación,
  - el tipo de operación que realizaría, el plan de monitoreo de su operación, etc.

La **Dotación** consiste en consultores que elaboraron el trabajo. Sus CVs reducidos, se presentan a continuación:

- Carlos María Brañas, ingeniero Naval y Mecánico
- Raúl E. Podetti, ingeniero Naval
- Fernando Sánchez Checa, ingeniero Naval
- Emanuel Alejandro Vazquez, ingeniero Químico

**Carlos M. Brañas.** Ingeniero Naval y Mecánico (UBA). Trabajó en Nickman y Asoc., empresa de peritajes navales y desde 1983 en una empresa internacional de navegación donde desarrolló importantes programas de reparaciones, diseño y gestión de grandes proyectos de conversión, principalmente en el exterior. En 1990 fundó Consulmar, consultora destacada en el área naval en Argentina y en el exterior, dónde se desempeña hasta el presente. Fue director y representante nacional en el Instituto Panamericano de Ingeniería Naval (IPIN), presidente de la Asociación Argentina de Ingeniería Naval (AAIN) y es Académico de Número de la Academia Nacional de Ingeniería y miembro de su Instituto del Transporte. Es miembro activo del Vector Naval de la Facultad de Ingeniería de la UBA, habiendo participado de los trabajos recientes *Dragado, Exportaciones Navales, Hidrovía y Offshore*.

**Raúl E. Podetti.** Ingeniero Naval (ITBA), Master of Sciences in Engineering (University of Michigan), Master en Dirección de Empresas (IAE). Dirigió su propio astillero SANYM, de Buenos Aires, fue armador pesquero y vice

presidente del Astillero Rio Santiago. Se desempeñó en la política sectorial desde la Federación de la Industria Naval Argentina (FINA), retirándose como vice presidente en 2018. Desde entonces es consultor, profesor de postgrado en el ITBA e investigador. Su interés por el impacto ambiental en el sector naval lo llevó a cursar una Maestría en Economía y Derecho del Cambio Climático. Es miembro activo del Vector Naval, siendo autor de los trabajos recientes *Dragado, Exportaciones Navales, Hidrovía y Offshore*. Es fundador y director de la Colección Azul ([www.industrianaval.com.ar](http://www.industrianaval.com.ar)).

**Fernando Sánchez Checa.** Es Ingeniero Naval (ITBA) y obtuvo una diplomatura de posgrado en Gestión de Puertos y Vías Navegables (ITBA). Trabajó en astilleros y navieras, pero su mayor experiencia es como consultor, habiéndose destacado como Asesor de la Presidencia de Comisión de Industria de la H. C. Diputados de la Nación durante el tratamiento de las leyes de Industria Naval y Marina Mercante. Fue Coordinador Ejecutivo del Foro Industria Naval y Cadena de Valor, Consultor internacional de la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial, para su programa de Desarrollo de Proveedores, Jefe Dpto. PyMI de la UIA y Director del Eurocentro UIA (Programa AL- INVEST de Comisión Europea de internacionalización de Pymes) y Coordinador ejecutivo de once cadenas de valor de la Secretaría de Industria de la Nación. Es miembro activo del Vector Naval, habiendo participado de los trabajos recientes *Dragado, Exportaciones Navales, Hidrovía y Offshore*.

**Emanuel A. Vazquez.** Es Ingeniero Químico (UBA) y Magister en Dirección Industrial (UBA) (tesis en curso). Posee experiencia en desarrollo de proyectos de Ingeniería & Construcción relacionados con la industria energética latinoamericana y europea en el área Comercial y Diseño de Procesos colaborando en las etapas Comerciales, Desarrollo de Ingeniería y ejecución en Construcción. Su especial interés por sector energético lo llevo a ser miembro del Instituto Argentino de la Energía "General Mosconi" y del Proyecto Vectores de la Universidad de Buenos Aires habiendo participado en los trabajos realizados por el Vector Nuclear.

## 5. TAREAS Y ESTUDIOS

El trabajo fue organizado en 6 tareas que definieron 3 grupos de estudios específicos a cargo de uno de los tres consultores más un coordinador, el ingeniero naval y mecánico **Carlos María Brañas**.

El grupo 1 de estudios se denominó: **Casos Navales de Cero Emisiones / Hidrógeno** y estuvo a cargo del ingeniero naval **Fernando Sánchez Checa** y concentró las siguientes tareas:

### Estudio del Hidrógeno como vector energético en el sector naval:

Revisión y análisis de la literatura disponible en relación con las aplicaciones navales afines a la propulsión con combustibles del tipo “cero emisiones”, especialmente el hidrógeno y sus portadores químicos como el amoníaco y el metanol.

### Benchmarking y Literature Review de aplicaciones navales cero emisiones:

Búsqueda y análisis de casos de interés a nivel internacional haciendo foco en el tipo de embarcaciones, la tecnología de propulsión, el combustible utilizado y su aplicación.

El grupo 2 de estudios se denominó **Aspectos tecnológicos del Hidrógeno** y estuvo a cargo del ingeniero **Emanuel Alejandro Vázquez** y concentró la siguiente tarea:

### Definición y valorización de la tecnología conforme criterios de análisis.

Definir y valorizar los principales criterios de análisis según su Impacto Social, Económico y Ambiental en función de las siguientes variables:

Costos, Madurez tecnológica, Logística, Producción y Almacenamiento, Barreras de adopción, Vector exportador, Desarrollo industrial, etc.

El grupo 3 de estudios se denominó **Oportunidades Navales Fueguinas para el Hidrógeno** y estuvo a cargo del ingeniero naval **Raúl E. Podetti** y concentró las siguientes tareas:

Descripción general el sector naval fueguino e identificación de posibles oportunidades del hidrógeno:

Descripción general del sector naval fueguino y análisis de los aspectos específicos de aplicación al área naval fueguina.

Análisis de oportunidades navales para el Hidrógeno en la provincia:

Analizar e identificar los aspectos específicos de la tecnología de pilas de combustible, así como también la tecnología de combustibles alternativos como amoníaco o metanol para motores de combustión interna.

Análisis del suministro del Hidrógeno, amoníaco, metanol u otro derivado en Tierra del Fuego teniendo en cuenta los análisis previamente realizados.

Identificación de aplicaciones navales locales que tengan mayores probabilidades de éxito:

Identificación de oportunidades navales fueguinas con mayor potencial de éxito para el desarrollo del piloto.

Comparativa de alternativas seleccionadas y proponer un caso promisorio para el desarrollo conceptual y posterior proyecto de construcción.

A continuación se presenta cada uno de los tres estudios por separado.

## 6. CASOS NAVALES DE CERO EMISIONES / HIDRÓGENO.

Ing. Fernando Sánchez Checa

### 6.1 INTRODUCCIÓN

Se estima que el transporte marítimo mundial representa el 3% de las emisiones de CO<sub>2</sub> que provoca la actividad humana a nivel global lo que representa que si la Industria Naviera fuera un país, sería el noveno emisor de gases de efecto invernadero del mundo.

Al igual que todos los sectores industriales, el Sector Marítimo ya se encuentra trabajando en la transición energética con un compromiso de reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero en un 50 % poniendo como meta el año 2050 y partiendo de los niveles de emisión del año 2008.

Para lograrlo, la Industria Naval está en la búsqueda de combustibles alternativos que sean más limpios de producir y a su vez menos contaminantes durante su combustión.

En esta línea de trabajo se tiene al GNL como un combustible de transición que reduce en una forma significativa los gases sulfurosos SO<sub>x</sub>, nitrosos NO<sub>x</sub> y las partículas materiales PM pero sólo logra disminuir en un 22 % el CO<sub>2</sub>.

En este marco la Unión Europea (UE) y la Organización Marítima Internacional (OMI) desarrollan nuevos objetivos y regulaciones climáticas tales como el paquete legislativo de la UE "Fit for 55" que exigirá una reducción del 55 % de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en todos los sectores, paralelamente como se mencionó anteriormente la OMI tiene por objetivo reducir las emisiones totales de los GEI provenientes del del transporte marítimo internacional en al menos un 50 % para el 2050, pero también la OMI estableció medidas de corto plazo para lograrlo como lo es el Índice de eficiencia energética de los buques existentes (eexi) y el indicador de intensidad de carbono (CII) que ya entraron en vigor en noviembre del 2022.

Evidentemente para cumplir con estos objetivos, la industria marítima necesitará acceso a combustibles bajos en carbono, neutrales en carbono y sin carbono.

Las soluciones actuales incluyen propulsar barcos con gas natural licuado (GNL) utilizando motores de dos combustibles (duales) o una combinación de combustibles alternativos y sistemas eléctricos híbridos.

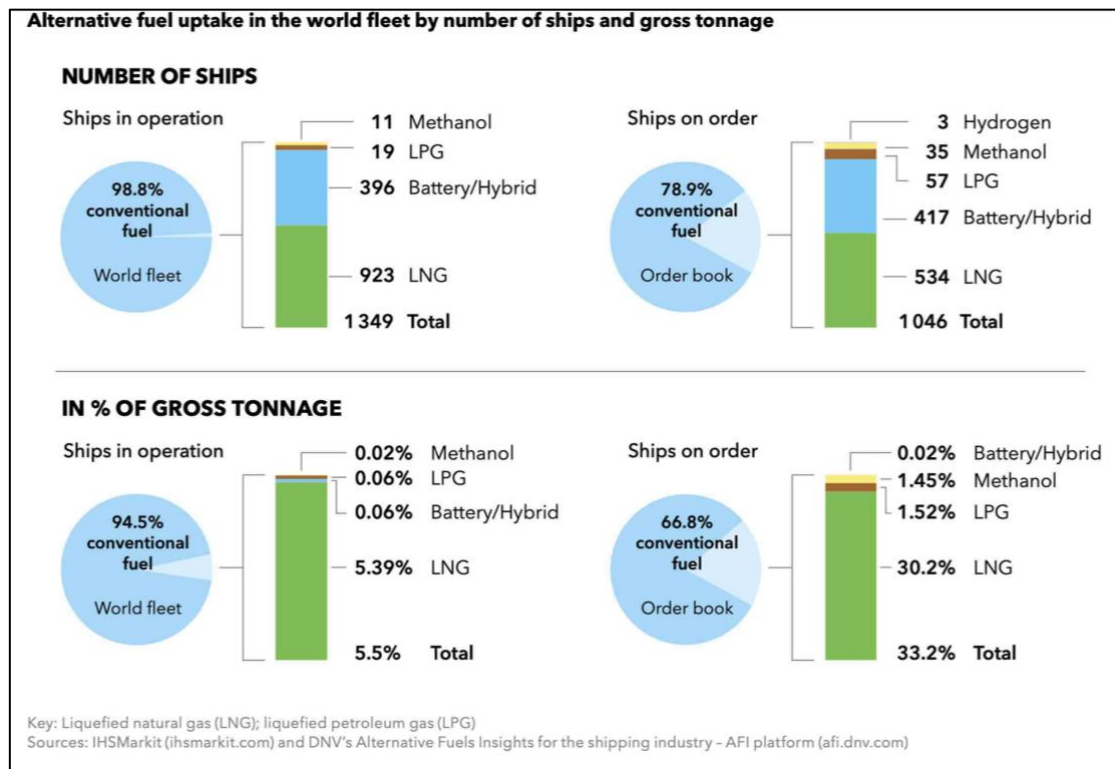
No obstante a estas opciones, se están dando pasos cada vez más importantes dirigidos a la próxima generación basada en una transición a alternativas más bajas en carbono tales como biocombustibles, metanol, hidrógeno y amoníaco.

Cuando son producidos por una cadena de suministro verde, cada uno de estos combustibles futuros puede clasificarse como bajos en carbono, neutrales en carbono o de cero carbono desde la producción hasta su uso a bordo.

Todas las opciones de combustible alternativo están acompañadas de beneficios y desafíos. Los requisitos previos para la introducción de un nuevo combustible incluyen la disponibilidad de suficientes instalaciones de producción y distribución, así como una infraestructura de abastecimiento adecuada. Además, los nuevos combustibles en muchos casos requieren amplias modificaciones en las instalaciones de a bordo, lo que conduce a una mayor complejidad y costo.

## **6.2 RELEVAMIENTO Y PERSPECTIVAS DE LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA EN EL SECTOR MARÍTIMO**

En el último informe del Det Norske Veritas (DNV) sobre la perspectiva de Transición Energética 2022 denominado “*Maritime Forecast to 2050*” (Pronóstico del Sector Naviero al 2050 en materia de transición energética) hay un esquema donde se ve la cantidad total de la flota mercante mundial, la cantidad de barcos que están siendo propulsados por energías más limpias en comparación con los combustibles marinos convencionales. También se muestra los porcentajes en relación a la cartera de nuevas construcciones que están en curso y los mismos datos anteriores pero relacionados al arqueo bruto de la flota y de las nuevas construcciones.



Crédito: DNV

Como es de suponer la cantidad de buques impulsados a energías más limpias ocupan un porcentaje ínfimo (1,2 %) en relación al total de la flota mercante pero ya las estadísticas lo empiezan a detectar e incluso a poder segmentar por tipo de combustible y tecnología empleada.

Al analizar estos datos vemos que en el total de la flota mercante los barcos a LNG y los híbridos de batería representan la mayor cantidad con 923 y 396 unidades respectivamente, pero al observar estos mismos datos en comparación al arqueo bruto vemos que los propulsados a LNG representan un % muy superior al de los híbridos con baterías fundamentalmente porque estas soluciones se están aplicando por ahora en embarcaciones más pequeñas.

Otra lectura que hay que hacer es segmentar los 923 buques propulsados a LNG ya que de ese total 630 son metaneros y utilizan el mismo gas que transportan como carga para su propia propulsión con lo cual son 293 los buques de otro tipo que son propulsados por LNG.

En cuanto a la propulsión basada en metanol y GLP también están empezando a salir en las estadísticas tanto en la flota mercante actual con 11 y 19 buques respectivamente como en las nuevas construcciones que se están llevando a cabo con 35 y 57 nuevas unidades respectivamente.

Analizando más en profundidad la cartera de nuevas construcciones vemos que el 21,1 % corresponde a buques propulsado por combustibles y tecnologías más amigables con el ambiente.

De los 1046 buques ambientalmente amigables en construcción, 534 corresponden a LNG de los cuales 167 son metaneros y 367 son buques de otro tipo alimentados por LNG. Por otro lado, hay 417 buques híbridos por baterías que se están construyendo lo cual en poco tiempo se va a duplicar a la flota existente con este tipo de propulsión.

También se encuentran en construcción 57 unidades a LPG y 35 propulsados por metanol lo cual prácticamente triplicarán a la flota existente en cada uno de estos segmentos.

En relación a los buques propulsados por metanol la experiencia estaba sesgada para los buques petroleros de los cuales están navegando 11 en la actualidad y otros 14 están en construcción o con el contrato ya firmado. El resto de los buques a metanol serán grandes portacontenedores que estarán dimensionados para transportar entre los 16.000 a 24.000 TEUs.

Por último, ya hay tres buques propulsados por hidrógeno que actualmente se están construyendo (en realidad dos porque dado que el informe del DNV es del año pasado y hay uno que ya fue botado) Se trata del MF Hydra del cual más adelante entraremos en detalle.

Es para destacar que, la gran mayoría de los casos que usan combustibles alternativos también pueden utilizar fuel oil.

Cabe señalar que si bien últimamente se habla mucho del amoníaco, este tipo de combustible todavía no se ve reflejado en ninguna unidad de la flota mercante actual y tampoco se ha detectado ninguno en las nuevas construcciones, pero si hay varios proyectos en consideración a lo cual nos referiremos luego.

Una breve serie de tiempo del estudio del DNV muestra que, si excluimos a los transportadores de GNL que utilizan parte del gas que transportan para su propulsión, tenemos que en el 2022, un 18 % de las nuevas construcciones usarían combustibles alternativos contra un 12 % del 2021 y un 6 % del 2019.

### **6.3 HOJA DE RUTA DE LA APLICACIÓN DE DISTINTAS TECNOLOGÍAS DE APLICACIÓN PARA LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA**

El siguiente mapeo de las tecnologías existentes elaborado por el DNV está basado en la actual maduración de los convertidores de energía capaces

de usar hidrógeno, metanol y amoníaco como portadores de energía y de la tecnología de Captura y Almacenamiento de Carbono (CCS) a bordo.

A los convertidores de energía se los categorizó en motores de dos tiempos, motores de cuatro tiempo, calderas auxiliares y celdas de combustible.

En cuanto a sus usos, tenemos que los motores de dos tiempos son los utilizados para la propulsión de los buques más grandes siendo los que tienen la mayor cantidad de potencia instalada dentro de la flota mercante mundial y por consecuencia representan la mayor cantidad del consumo del combustible y las emisiones marítimas.

Por el lado de los motores de cuatro tiempos se los utilizan tanto en la propulsión como en la generación de energía auxiliar a bordo y por cantidad representan el 82 % del mercado naval.

Las calderas en general se las utilizan para la generación de vapor con el objetivo de proveer calefacción a bordo y son las que representan la menor cantidad de consumo de combustible y de las emisiones.

Por el lado de las celdas de combustibles la proyección es que se integren en los sistemas híbridos en las próximas décadas.

La escala utilizada significa:

TRL 4= Tecnología validada en laboratorio.

TRL 9= Sistema real probado en un entorno operativo.

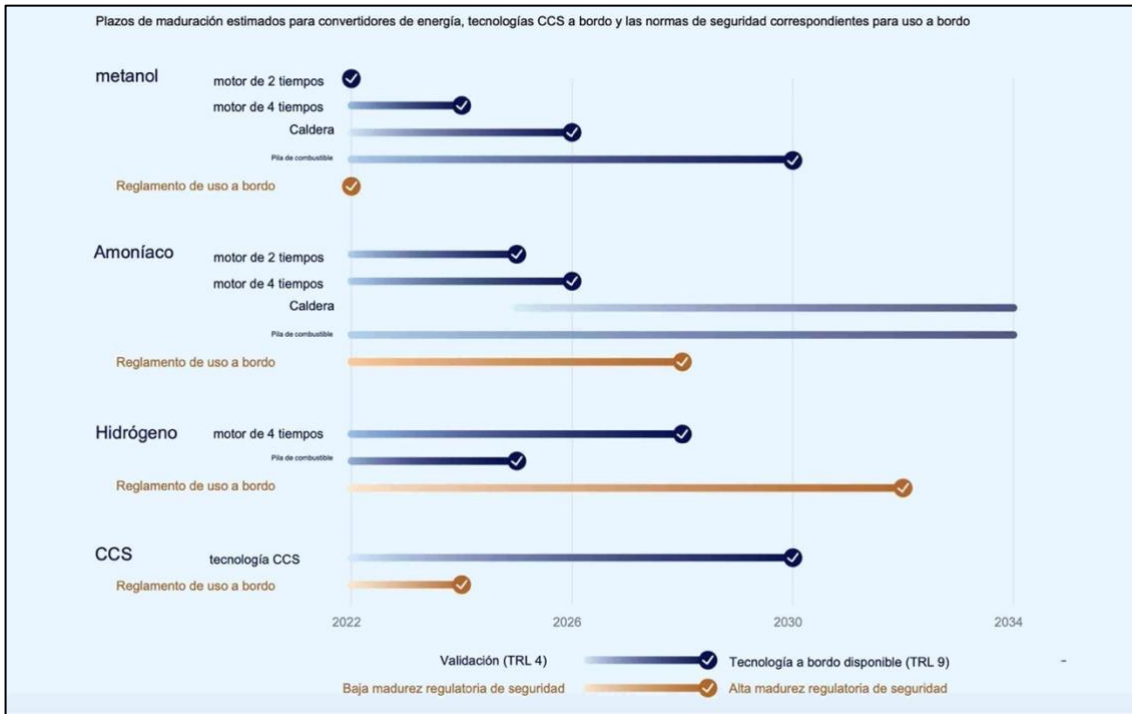
Un papel fundamental para el desarrollo de estas tecnologías es el normativo relativo a la seguridad a bordo.

El GNL y GLP no están reflejados en este esquema debido a que son tecnologías consideradas relativamente maduras.

Otro aspecto que hay que tener en cuenta en el análisis de este esquema es la disponibilidad de los distintos combustibles considerados como la infraestructura de distribución, los precios, incentivos, etc., los cuales afectaran la adopción de la tecnología elegida.

Por último la adopción exitosa de la tecnología de CCS va a depender de tener una infraestructura totalmente desarrollada para la cadena de valor del CO<sub>2</sub>.

Del análisis del esquema se observa que la madurez de la tecnología del metanol está por encima de las tecnologías del amoníaco y de la del hidrógeno.



Crédito: DNV

## 6.4 CASOS

A continuación se presentan algunos ejemplos de casos concretos, proyectos pilotos y proyectos avanzados de las distintas tecnologías que se están aplicando en la industria naval y marítima.

Como en todos los casos se trata de tecnologías muy recientes y donde todavía, en algunos casos se sigue experimentando. La confidencialidad de los proyectos hace que los ejemplos no sean muchos y las especificaciones técnicas no estén completas

### Caso 1

Balearia botó en Astilleros Armon el pasado 29 de septiembre del 2022 el *Cap. De Barbaria* que es el primer Ferry diesel - eléctrico que le permitirá realizar maniobras de aproximación a puerto con motores eléctricos sin emitir gases de efecto invernadero y sin generar ruidos.

Por otro lado el barco será un laboratorio de pruebas para el uso del hidrógeno verde. En él se instalará una celda de combustible de hidrógeno comprimido de 100 KW, la de mayor capacidad que existe actualmente, para llevar a cabo una experiencia piloto en el uso de esta energía más ecoeficiente, que podría llegar a usarse para el consumo eléctrico de a bordo.



Crédito: Balearia

El barco será *double ended*, es decir, operativo tanto por proa como por popa, lo que agilizará las operaciones de embarque y desembarque y las maniobras en puerto. Está previsto que empiece a operar el verano de 2023. El buque tiene 83 metros de eslora y 15 de manga, y podrá navegar a una velocidad de 12,5 nudos con capacidad para 350 pasajeros y 14 camiones, y operará entre Ibiza y Formentera.

El buque contará con un sistema de almacenamiento de energía con baterías de litio que le va a permitir tener una autonomía de 12 hs. en puerto y una toma de conexión a tierra. El *Cap. De Barbaria* comenzará sus servicios como *H2 Ready* con una instalación de 100 kw una capacidad de almacenamiento que permitirá su uso durante 24 hs y el suministro del 30 % de la energía requerida por el buque (el *Cap. De Barbaria* será un laboratorio de Hidrogeno verde a pequeña escala para aprender en un proyecto real y aplicar esos conocimientos para cuando este combustible esté más maduro).



Crédito: Balearia

## Caso 2

La naviera Norled acaba de poner en marcha el *MF Hydra* que es el primer Ferry y buque del mundo propulsado por Hidrogeno Líquido (LH2) construido por el astillero Westcon Yards. Esto ocurrió el 31 de marzo del corriente año. El Ferry realizará viajes triangulares entre los puertos de Hjelmeland, Skipavik y Nesvik al sur de Noruega.

El Ferry realizará viajes triangulares entre los puertos de Hjelmeland, Skipavik y Nesvik al sur de Noruega.

Tiene una eslora de 82,4 m y puede navegar a 9 nudos usando dos pilas de combustible de 200 kw, una batería de 1,36 a 1,5 MWh (Corvus Energy) y dos generadores diesel de 440 kw que impulsarán propulsores Shottel. A bordo lleva un tanque de H<sub>2</sub> líquido de 80 m<sup>3</sup> para el almacenamiento del hidrógeno.

El Ferry esta dimensionado para transportar 300 pasajeros y 80 autos.

El hidrógeno es transportado desde la planta química de Leuna (Alemania) donde la compañía energética Linde lo produce mediante una membrana de intercambio protónico (PEM) en su electrolizador de 24 MW. También Linde se encargó de construir e instalar el almacenamiento del hidrógeno tanto a bordo como en tierra, el sistema de distribución y todos los elementos de seguridad para su operación.

Operando el 50% mediante hidrógeno, los depósitos del buque han de ser recargados cada tres semanas, demostrando su superioridad sobre los barcos alimentados solo eléctricamente que tienen que recargar sus baterías cada vez que llegan a puerto.

En caso de un fallo múltiple del sistema de hidrógeno y las baterías el buque puede ser propulsado utilizando biodiesel en sus generadores.

La empresa trabajó con varios socios internacionales como Linde Engineering de Alemania, Ballard de Dinamarca que fue la encargada de desarrollar las pilas de combustible junto a Westcon de Noruega que se encargó de equipar y completar el buque en conjunto con el integrador de Sistemas SEAM, también de Noruega.



Crédito: Norled

### Caso 3

En diciembre del 2021 entró en funcionamiento el Catamarán *SEA CHANGE* de 21 m de eslora diseñado para transportar 75 pasajeros. Lo realizó la empresa Incat Crother en el astillero All American Marine para la naviera Switch Maritime.

El buque operará en la bahía de San Francisco y tuvo sus primeras pruebas en el Astillero All American Marine ubicado en Bellingham, en Washington, previo a su entrega al armador.

Lleva una pila de combustible de Hidrógeno de 360 Kw fabricada por Cummins que es alimentada por una serie de depósitos de alta presión capaces de acumular hasta 246 kg de hidrógeno.

El sistema propulsivo desarrollado por BAE Systems está formado por dos motores de 300 Kw c/u y una batería de 100 kwh que hace de intermediario entre la pila de combustible y el motor eléctrico.

Merced a esta configuración el buque tiene una autonomía de 555 km a una velocidad de 20 nudos.

El hidrógeno usado en este proyecto proviene de fuentes renovables (es producido en California mediante un electrolizador alimentado a energía solar fotovoltaica).



Crédito: Switch Maritime

#### Caso 4

El 16 de mayo se botó el Remolcador *Hydro tug 1*, siendo el primer remolcador de puerto del mundo propulsado por hidrógeno.

El Astillero constructor fue Armón donde también participó la empresa CMB Tech., siendo el destino el Puerto de Amberes, Brujas.

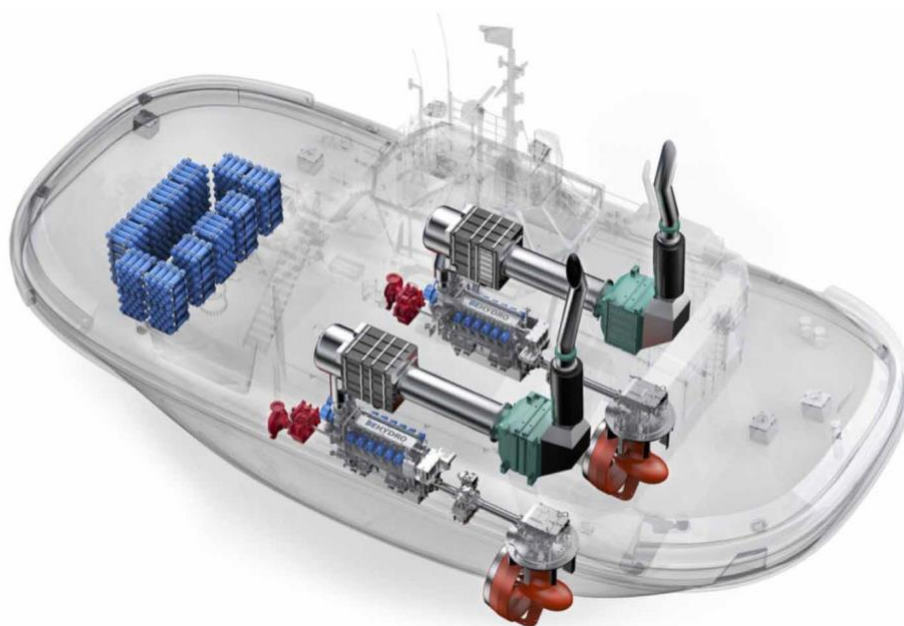
El remolcador esta propulsado por dos motores duales de velocidad media BeHydro V12 el cual puede funcionar con hidrógeno y combustible convencional.

El sistema de propulsión principal del HydroTug consiste en dos Schottel Rudder Propellers tipo SRP 460 (2.000 kW cada uno) con diámetros de hélice de 2,4 metros. Con esta configuración de propulsores, el buque de 31 metros de eslora y 12,5 metros de manga alcanzará una fuerza de arrastre de unas 65 toneladas. Puede almacenar 415 kg de hidrógeno comprimido en seis tanques.

La tecnología de combustible dual incluye una serie de filtros de partículas y un catalizador de última generación, logrando con ello que el remolcador genere emisiones con una huella de carbono ínfima en comparación con un remolcador convencional. La combustión de hidrógeno no emite CO<sub>2</sub> y el filtro de partículas combinado con el catalizador tiene como objetivo unas emisiones mínimas de NOx y partículas.



Crédito: Cmb.tech



## Caso 5

ABB, junto con Maritime Partners, Elliott Bay Design Group y e1 Marine firmaron un acuerdo para desarrollar un remolcador de empuje propulsado por hidrógeno para operar en el río Mississippi.

El operador será Maritime Partners, un propietario con sede en Nueva Orleans de cerca de 550 remolcadores, barcazas y otros activos marítimos.

El remolcador de 27 m de eslora se llamará *Hydrogen One* y está diseñado para el empuje de barcazas a lo largo del río Mississippi convirtiendo metanol en hidrógeno a bordo. Cuenta con un generador de hidrógeno que convierte una mezcla de metanol y agua en hidrógeno de alta pureza para pilas de combustible. El hidrógeno generado en este proceso se introduce en las pilas de combustible para generar electricidad.

Se dice que la producción de hidrógeno a bordo eliminará las complejidades típicamente asociadas con el combustible directo y el almacenamiento de hidrógeno. Este enfoque no produce emisiones de material particulado y menos del 80% de emisiones de CO<sub>2</sub> en comparación con una solución de electrolizador que utiliza energía eléctrica derivada de fuentes de combustibles fósiles. Si el metanol proviene de una fuente de energía renovable, la cadena energética será neutra en carbono.



Crédito: Elliott Bay Design Group

La autonomía del *Hydrogen One* con carga completa, a una velocidad de 7 nudos, será de 550 millas (cuatro días).

La potencia del remolcador será de 2.700 CV siendo 1.700 cv generado por pilas de combustible y los 1.000 CV restantes proporcionados por la batería.

ABB proporcionará la planta de propulsión eléctrica completa para el barco, incluidos motores eléctricos, transformadores, así como la integración de pilas de combustible y baterías.

Las pilas de combustible convierten la energía química del hidrógeno en electricidad mediante una reacción electroquímica.

## Caso 6

Maersk anunció hace un par de años la construcción de 18 buques portacontenedores de 17.000 TEUs diseñados para operar con metanol.

El 28 de noviembre del 2022 Astilleros Hyundai realizó el primer corte de acero, estando su entrega programada para principios del 2024. Tendrán una eslora de 350 m y una manga de 53,34 m.

La propulsión de estos buques se está desarrollando en colaboración con fabricantes como MAN, Hyundai (Himsen) y Alfa Laval, siguiendo un enfoque dual de doble combustible, siendo su intención operar a tiempo completo con metanol.

Podrán usar combustible tradicional, bajo en azufre, cuando no haya metanol disponible. Los buques tendrán un tanque de 16.000 m<sup>3</sup>, lo que significa que son capaces de completar un viaje de ida y vuelta, por ejemplo, entre Asia y Europa, con metanol.

Maersk había dicho anteriormente que el diseño de estos buques permite una eficiencia energética mejorada del 20% en comparación con el promedio de la industria para buques de este tamaño. Además, la nueva clase proporcionará aproximadamente una mejora del 10% en la eficiencia con respecto a la primera clase de Hong Kong de 15.000 TEUs de Maersk.

Actualmente, Maersk proyecta ganar experiencia en la operación de metanol con un buque *feeder* más pequeño, el cual también está siendo construido en los Astilleros Hyundai y se entregará a fines del primer semestre del 2023. Tendrá una eslora de 171,9 m y una manga de 32 m con 2.100 TEUs más 400 refrigerados.

En la misma línea otras navieras también anunciaron la construcción de nuevos portacontenedores propulsados con metanol. Tal es el caso de CMA CGM que en junio del 2022 firmó un contrato para la construcción de seis

buques. Por otro lado COSCO (China) ordenó la construcción de 12 portacontenedores propulsados con metanol.

Para que esto sea una realidad, Maersk acaba de suscribir el pasado mes de noviembre del 2022 un acuerdo con el gobierno español para poner en marcha un proyecto de producción de hidrógeno verde por un valor de 10.000 millones de euros de forma de constituir un *hub* para la producción de metanol verde (derivado del hidrógeno) con dos grandes plantas de producción ubicadas en Galicia y Andalucía.

Estiman que este proyecto podría generar 85.000 empleos totales.

Por otro lado, el proyecto establece que cada molécula de hidrógeno debe provenir de fuentes renovables lo que dará origen a la firma de varios acuerdos con distintos operadores de parques solares y eólicos a lo largo de toda España para poder dar abastecimiento por un total de 4.000 megavatios que es lo que se estima que se necesitara para poder producir el metanol verde proyectado.

El metanol verde se obtiene a través de la hidrogenación de moléculas de dióxido de carbono capturado de la atmosfera, sometido a una reacción química que se combina con hidrógeno a través de la electrólisis. El objetivo es producir para el año 2030 dos millones de toneladas de metanol verde, estando la primera planta operativa en el 2027. La compañía comunicó que tiene un proyecto similar en Egipto junto a un proyecto que se está construyendo actualmente en Dinamarca. Para los puertos españoles puede significar una ventaja muy significativa, ya que obligará a los buques a hacer allí, una parada obligada para su abastecimiento.

De acuerdo a estimaciones de Bloomberg el hidrógeno verde podría alcanzar ventas globales en el año 2050 del orden de los 700.000 millones de euros/año.

## Caso 7

Durante el año 2022 COSCO (cuarta mayor naviera del mundo) anunció la compra de doce buques portacontenedores de 24.000 TEUs con propulsión dual a metanol y combustible convencional.

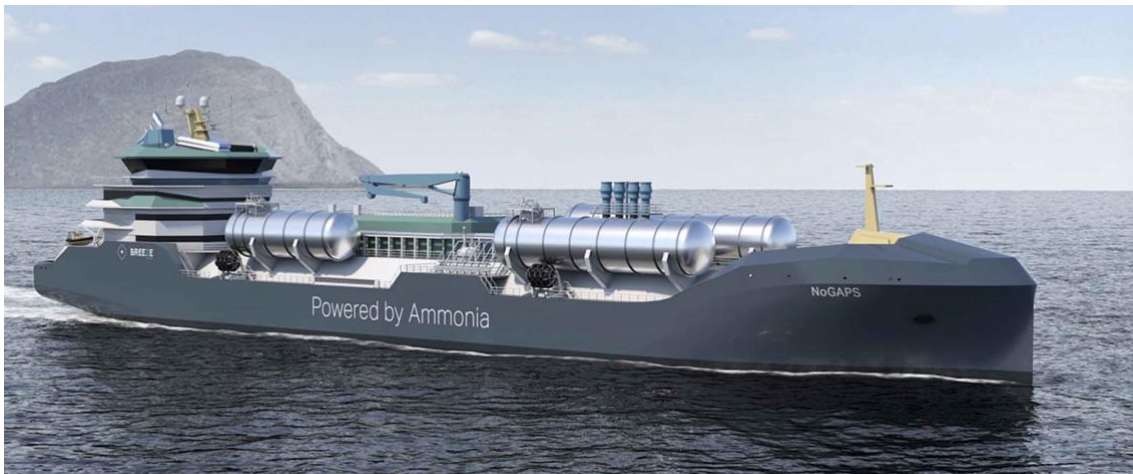
Está previsto que los buques entren en funcionamiento entre el 2026 y el 2028 y serán construidos por los Astilleros Dalian Cosco KHI Ship Engineering (Dacks) y Nantong Cosco KHI Ship Engineering (Nacks), ambos dependientes de COSCO y de Kawasaki Heavy Industries.

Las naves serán, cinco para COSCO y siete para OOCL, con un costo de 240 millones de U\$S c/u y operarán en la ruta ASIA – EUROPA.

COSCO todavía no detalló como será el plan para adquirir el Metanol verde necesario para la propulsión de los buques para su uso con bajas o nulas emisiones de carbono (ya sea como biocombustible o sintetizado con el uso de electrólisis).

### Caso 8

DNV ha otorgado al Mærsk Mc-Kinney Møller Center for Zero Carbon Shipping en colaboración con los socios de Nordic Green Ammonia Powered Ships (NoGAPS) BW Epic Kosan, Yara, MAN Energy Solutions, Wärtsilä, Global Maritime Forum y Breeze Ship Design una Aprobación Preliminar (*Approval in Principle*) para el diseño de un gasero propulsado por amoníaco: el *M/S NoGAPS*. Los certificados fueron presentados durante la feria Nor-Shipping en el stand de DNV.



Crédito: DNV

En el camino hacia un futuro de cero emisiones de carbono hay múltiples combustibles que permiten llegar a ese resultado. Una de las opciones prometedoras es el amoníaco, cuando se produce de forma sostenible a partir de H<sub>2</sub> generado mediante electricidad renovable. Aprovechar el potencial del amoníaco y superar los desafíos técnicos del combustible ha unido a estos socios en el proyecto NoGAPS, con el objetivo de tener un transportador de amoníaco alimentado por amoníaco en operación en la región nórdica.

En la primera fase (2020 – 2021) del proyecto NoGAPS, los socios desarrollaron una prueba de concepto para superar las barreras a la adopción del combustible, con un enfoque en la seguridad y la eficiencia, la cadena de suministro del combustible y la viabilidad comercial general.

La segunda fase del proyecto NoGAPS se extiende desde 2022 hasta 2025, durante este período el proyecto producirá un diseño de barco detallado para un transportador de amoníaco propulsado por amoníaco, el M/S NoGAPS, que sentará las bases para una licitación del astillero y la construcción del barco. El diseño contará con todas sus especificaciones técnicas, informado y comunicado al ecosistema más amplio de actores en el transporte marítimo propulsado por amoníaco para promover la estandarización en el sector.

El trabajo abordará los desafíos en el diseño de embarcaciones identificados en el proyecto NoGAPS inicial, que incluyen: Seguridad (materiales y configuración para almacenamiento de combustible y sala de máquinas, ubicación de la tripulación, sistemas de contención, etc.); tamaño y ubicación óptimos del tanque y la eficiencia energética, entre otros temas.

El objetivo a mediano plazo (2024/2025) del proyecto es tener el M/S NoGAPS en operación en la región. Finalmente el objetivo de impacto a largo plazo (más allá del 2025) del proyecto es establecer la infraestructura, los modelos operativos y comerciales para el transporte marítimo propulsado por amoníaco en la región.

Esto acelerará la descarbonización del ecosistema marítimo nórdico, estimulará la inversión y el crecimiento del empleo en el sector.

### Caso 9

Damen y Boluda (segundo operador mundial de remolcadores) anunciaron que están trabajando en el desarrollo de un remolcador de puerto de cero emisiones a metanol basado en el diseño del Damen RSD-E Tug 2513 con una eslora de 24,73 m y una fuerza de bolardo de 70 ton, el cual será entregado a fines del 2024 o principio del 2025.

### Caso 10

El 26 de octubre del 2011 se botó el trasbordador *New York Hornblower Hybrid* a través del cual se puede visitar la estatua de la Libertad en Nueva York.

El barco utiliza un paquete de distintas energías limpias como energía solar, energía eólica y diésel de bajas emisiones, el New York Hornblower Hybrid también funciona con pilas de combustible de hidrógeno lo que lo convierte en el primer transbordador híbrido de hidrógeno del mundo.

Mide 52 m de eslora por 12 m de manga y transportará 600 pasajeros propulsado con celdas de combustible de hidrógeno (32 Kw), con paneles solares (20 Kw) y con dos aerogeneradores de (5 Kw). La propulsión principal es con 2 motores de inducción de CA de 700 HP.



Crédito: New York Hornblower Hybrid

### Caso 11

El *Viking Energy* fue el primer barco de suministro de plataformas offshore PSV propulsado a LNG y actualmente está siendo reconvertido para operar con amoníaco. Empezará a operar en 2024 propulsado a hidrógeno basado en el uso de amoníaco obtenido a partir de energías renovables.



Crédito: Eidesvik

El Instituto alemán Fraunhofer está trabajando en el desarrollo de una pila de combustible de alta temperatura a base de amoníaco verde para el transporte marítimo.

El instituto Fraunhofer lidera un consorcio europeo el cual recibió 10 millones de euros de la UE para desarrollar la primera celda de combustible a base de amoníaco del mundo para su aplicación en el transporte marítimo.

El amoníaco cuando se utiliza como combustible marino es tan ecológico como el hidrógeno pero su manejo es más fácil y seguro.

El *Viking Energy* del armador Eidesvik está al servicio de Equinor. Cuenta con una celda de combustible de amoníaco de 2 MW lo que le garantiza operar durante 3.000 hs/año con combustible limpio.

El amoníaco tiene una serie de ventajas sobre el hidrógeno que lo podemos resumir en:

Almacenamiento: El hidrógeno debe ser almacenado a  $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$  ó a presiones de aproximadamente 700 bar en formagaseosa, mientras que el amoníaco líquido se puede almacenar a una temperatura de  $-33\text{ }^{\circ}\text{C}$  a presión normal (atmosférica), ó a  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  a 9 bar.

Transporte: Las condiciones de almacenamiento del amoníaco son mejores; adicionalmente se reduce la complejidad del transporte que resulta más seguro y económico.

Asimismo, el amoníaco es menos explosivo que el hidrógeno.

El objetivo es que del 60% al 70% del consumo de energía provenga del amoníaco durante el período de prueba. Además, se quiere demostrar que la tecnología puede suministrar hasta el 90 por ciento de la demanda total de energía estando el consumo de energía restante a bordo alimentado por GNL, que fue el principal combustible de *Viking Energy* desde 2003.

Recientemente, el DNV dio la Aprobación Preliminar (Approval in Principle AiP) del diseño del sistema marino de celdas de combustible de óxido sólido (SOFC) alimentado con amoníaco de 1 MW. Dos módulos del sistema SOFC aprobado por AiP serán instalados en el *Viking Energy*.

## Caso 12

El 29 de abril del 2022 se bautizó en Noruega el prime portacontenedores eléctrico y autónomo del mundo. El *Yara Birkeland* es el primer buque de carga que además de ser 100% eléctrico es completamente autónomo. Construido

para la compañía noruega Yara International, realizará la ruta entre las ciudades noruegas Herøya y Brevik.



El Yara Birkeland cuenta con una batería de 7 MWh alimentando a dos hélices eléctricas Azipull de 900 Kw y dos propulsores de túnel de 700 kW. El resultado de ello es una velocidad máxima de 13 nudos.

Las especificaciones técnicas del buque son:

Eslora= 80 m

Manga= 15 m

Calado= 5 m

DWT= 3.200 t; 120 TEU

Velocidades = 6 nudos de servicio y 12 nudos la máxima

Potencia = Baterías 6,8 MW

Costo = 25 Millones de U\$D

Según datos de la empresa el buque puede reemplazar unos 40.000 viajes/año en camiones con motores diesel.

### Caso 13

El granelero de autodescarga *Whit Orca* genera cero emisiones en todas sus operaciones. El proyecto del armador noruego Egil Ulvan Rederi recibió la Aprobación Preliminar (AiP) por parte del Lloyd's Register (LR).

El buque estará propulsado por hidrógeno almacenado en forma comprimida. El motor de combustión de hidrógeno se optimizará para aumentar su eficiencia.



También el buque contará con un sistema de pila de combustible para la producción de energía en condiciones de baja carga.

Una parte importante de la energía necesaria para el funcionamiento del buque de 88 m de eslora y 5.500 toneladas se obtendrá directamente del viento a través de dos grandes velas tipo rotor Fletner. El buque tiene la capacidad de almacenar el exceso de energía en baterías.

A continuación se resumen los distintos casos desarrollados:

Nombre del Buque/Armador	Tipo de Buque	Especificaciones	Tecnología
Cap. De Barbarian / Balearia	Ferry	L= 83 m, B= 15 m 350 px, 14 Camiones, V=12,5 nudos	Diesel- Eléctrico, baterías, Planta piloto Celda de H <sub>2</sub> comprimido - 100 Kw
MF Hydra / Norled	Ferry	L=82,4 m, 300px, 80 autos V= 9 nudos	H <sub>2</sub> líquido, dos pilas de 200 Kw, tanque de H <sub>2</sub> de 80 m <sup>3</sup>
Sea Change / Switch Maritime.	Catamarán	L=21 m, 75 px, V=20 nudos	Pila de H <sub>2</sub> 360 Kw, tanque alta presión 246 kg H <sub>2</sub> , batería 100 Kw
Hydrotug1 / Pto. De Amberes	Remolcador de puerto	L=31 m, B=12,5m, Bollard Pull= 65 tn	2 Motores duales a H <sub>2</sub> y combustible convencional. 415 kg de H <sub>2</sub> compr.
Hydrogen One / Maritime Partners	Remolcador de empuje	L= 27m, Pot= 2.700 CV (1.700 CV generado por pila de combustibe y 1.000 CV por batería).	Generador de H <sub>2</sub> proveniente de metanol. El H <sub>2</sub> generado se introduce en una pila de combustible.
MAERSK	18 Portacontenedores	16.200 a 17.000 TEUs, L= 350 m B=53,34 m	Dual (Metanol y Fueloil bajo en Azufre)
COSCO	12 Portacontenedores	24.000 TEUs	Dual (Metanol y Fueloil)
CMA CGM	6 Portacontenedores		Dual (Metanol y Fueloil)
MAERSK	1 Portacontenedor Feeder	2.100 TEUs + 400 TEUs refrigerados L= 171,9 m	Metanol
M/S NoGAPS	Gasero (Transportador de NH <sub>3</sub> )		Amoníaco
Boluda	Remolcador de Puerto.	L= 24,73 m; Bollard Pull= 70 tn	Metanol
New York Hornblower Hybrid	Transbordador	L=52 m, B=12 m, 600 px	Híbrido (Celda de combustible H <sub>2</sub> 32 kw + paneles solares + 2 aerogeneradores + 2 motores electricos)
Viking Energy / Eidesvik	PSV	L= 94,9 m, B= 20,62 m	Transformación a una celda de combustible de Amoníaco de 2 MW
Whit Orca /Egil Ulvan	Granelero	L= 88 m, 5.500 tn	H <sub>2</sub> almacenado en forma comprimida.

## 6.5 CONCLUSIONES

Evidentemente el metanol se está imponiendo dentro del segmento de los buques que requieren mayor potencia de propulsión.

Llama la atención la integración vertical que está haciendo la principal empresa naviera de transporte de contenedores del mundo donde a la gestión de su flota y de puertos alrededor del mundo ahora se va a sumar el suministro de combustible a sus buques a través de las plantas de metanol que va a empezar a construir en España, Egipto y Noruega.

Por el lado del Hidrógeno, este se está concentrando en los buques más pequeños y en particular en el segmento de los ferris.

Por último, el amoníaco que si bien todavía no registra ningún buque propulsado por este combustible hay varios proyectos y prototipos en desarrollo, la toxicidad y la falta de regulaciones abordo ha hecho que sea el combustible que menos ha avanzado hasta el momento pero ya varios registros de clasificación han avanzado en el desarrollo de normativas y para fin de año o comienzo del próximo se espera que la remodelación del PSV Viking Energy esté terminada y cambie su propulsión de LNG a amoníaco, convirtiéndose en el primer buque del mundo propulsado por éste combustible.

## 7. ASPECTOS TECNOLÓGICOS DE INTERÉS SOBRE EL HIDRÓGENO.

Ing. Emanuel Alejandro Vazquez

### 7.1 ANÁLISIS DE COMBUSTIBLES BAJO EN EMISIONES.

El transporte naval es un sector muy heterogéneo con necesidades particulares en cada segmento, pero con la particularidad que las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) están distribuidas a lo largo de las rutas de transporte por lo que es un sector que presenta grandes desafíos a la hora de descarbonizar y, por lo tanto, no existe una única solución.

Los estudios internacionales coinciden en las siguientes propuestas:

- mejora en los diseños navales,
- mayor vida útil de las embarcaciones,
- disminución de las velocidades y
- uso de baterías y/o combustibles de origen no fósil.

El enfoque del presente análisis se centra en la última propuesta indicada. basándonos en encontrar las factibilidades técnicas de los combustibles para cada uno de los segmentos del transporte naval de interés para la Provincia de Tierra del Fuego, Antártida e Islas del Atlántico Sur.

Impulsado por la descarbonización, el porcentaje de participación en el mercado de combustibles en el sector marítimo cambiará significativamente en las próximas décadas. Para 2050, es probable que pase de ser casi completamente a base de combustibles fósiles a una mezcla dominada por el uso de combustibles bajos en carbono y sin carbono (50% hidrógeno, amoníaco y metanol), gas natural (19%, gas natural licuado) y biomasa (18%). El almacenamiento eléctrico en baterías tendrá solo una participación del 4%, reservado para el transporte marítimo de corta distancia y las paradas programadas en los puertos de los buques más grandes.

Como combustible de muy bajas emisiones o emisiones cero, el hidrógeno se presenta como un combustible en sí mismo, como así también, como materia prima base para obtener diferentes combustibles sintéticos o *e-fuels*, obteniendo así un gran número de alternativas.

Analizaremos las vías de suministro de hidrógeno consideradas en la bibliografía específica y que resultará de interés para la provincia.

Las vías de suministro y, por lo tanto, los combustibles alternativos a analizar son:

- Hidrogeno Gaseoso Comprimido.
- Hidrogeno Licuado.
- Amoniaco.
- Metanol

Para analizar los rasgos principales y los diferentes requerimientos de cada uno de los combustibles alternativos, se detallan las características más relevantes de toda la cadena de suministros del combustible comenzando por un “acondicionamiento inicial” que puede ser una simple compresión mecánica hasta la reacción de obtención del portador del hidrógeno y finalizando con una “acondicionamiento final” necesario para el uso como combustible.

Como se menciona en la referencia [-], en el sector naval para el 2050, los combustibles sintéticos como el amoniaco y metanol puede representar el 50% de la participación de mercado.

El vínculo para una transición armónica entre el estado actual y el escenario futuro mencionado se construye basándose en los siguientes tres pilares:

- Sistema de potencia a bordo flexibles en combustible,
- Tanques de almacenamiento flexibles en combustible e
- Infraestructura de combustible flexible en tierra.

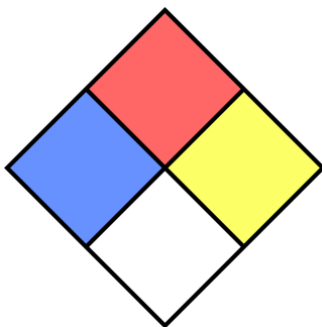


Figura 1 – Diamante de materiales peligrosos

Además, en términos de seguridad, se mencionará la clasificación dada por el “diamante de materiales peligrosos” que se ve en la Figura 1, utilizado para informar de los peligros de los materiales en almacenamiento estacionario, establecido por la National Fire Protection Association conocida como NFPA en su estándar NFPA 704.

El significado de los colores es el siguiente: El azul hace referencia a los peligros para la salud, el rojo indica la amenaza de inflamabilidad y el amarillo el peligro por inestabilidad química. A estas tres divisiones se les asigna un número de 0 (sin peligro) a 4 (peligro máximo).

A modo de futuras comparaciones, se presenta en la Tabla 1 los combustibles y/o productos químicos más usados.

<b>Producto</b>	<b>Salud</b>	<b>Inflamabilidad</b>	<b>Reactividad</b>
<i>Gas Natural Comprimido</i>	0	4	0
<i>Gas Natural Licuado</i>	3	4	1
<i>Helio Licuado<sup>1</sup></i>	3	0	0
<i>Fuel Oil</i>	0	2	0
<i>Gasolina</i>	1	3	0

Tabla 1 – Productos químicos y su clasificación según NFPA 704

Se mencionará brevemente el mercado actual nacional de los cuatro productos químicos mencionados con el fin de cuantificar el mercado interno y detectar posibles sinergias.

Por último, se mencionan los sistemas de propulsión que se tienen en el mercado ya sean motores de combustión interna, pilas de combustible o modificaciones que se deben hacer a los motores actuales.

Se utiliza el índice de madurez tecnológica de la IEA publicado en la referencia [-] para mencionar cual es el estado de comercialización o desarrollo de cada sistema de propulsión.

<b>Categoría</b>	<b>TRL</b>
<i>Conceptos</i>	<b>1, 2 y 3</b>
<i>Pequeños Prototipos</i>	<b>4</b>
<i>Grandes Prototipos</i>	<b>5 y 6</b>
<i>Demostraciones comerciales</i>	<b>7 y 8</b>
<i>Adopción Temprana</i>	<b>9 y 10</b>
<i>Tecnología madura</i>	<b>11</b>

Tabla 2 – Índice de madurez tecnológica según la referencia [-].

---

<sup>1</sup> El helio licuado se agrega para ejemplificar sobre el alto peligro que tienen los fluidos criogénicos aun cuando no son inflamables ni reactivos

## 7.2 PROPIEDADES FÍSICAS

En la siguiente tabla se resumen las propiedades físicas y químicas más relevantes que determinan el volumen de almacenamiento de los combustibles convencionales como de los combustibles analizados en el presente documento. Adicionalmente se agregan las condiciones de presión y temperatura de almacenamiento.

<b>Combustible</b>	<b>Densidad energética másica (MJ/kg)</b>	<b>Densidad energética volumétrica (GJ/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Presión de almacenamiento (bar)</b>	<b>Temperatura de almacenamiento (°C)</b>
<i>MGO</i>	42.7	36.6	1	Amb.
<i>HFO</i>	40.4	38.3	1	Amb.
<i>LNG</i>	50	23.4	1	(-162)
<i>Hidrógeno Gaseoso Comprimido</i>	120	7.5	700	20
<i>Hidrógeno Licuado</i>	120	8.5	1	(-253)
<i>Amoniaco</i>	18.6	12.7	1-oct	(-34)-20
<i>Metanol</i>	19.9	15.8	1	20

Tabla 3 – Propiedades físicas relevantes de los combustibles marítimos de uso actual y las alternativas

A continuación se analizan los siguientes cuatro combustibles:

- Hidrogeno Gaseoso Comprimido.
- Hidrogeno Licuado.
- Amoniaco.
- Metanol.

### Hidrogeno Gaseoso Comprimido.

Esta opción no requiere de ninguna transformación química para poder ser utilizado como combustible con la tecnología actual, ya sea en motores de combustión interna como en celdas de combustible. Sin embargo, presenta una baja densidad gravimétrica y volumétrica. La baja densidad representa un desafío cuando se requiere una gran autonomía de la embarcación. La

compresión del hidrogeno gaseoso es una forma de poder reducir su volumen y aumentar el inventario de hidrogeno almacenado y/o transportado.

#### a. Descripción Técnica

##### Acondicionamiento inicial: Compresión Mecánica

La tecnología de compresión convencional y establecida en el mercado actual incluyen los compresores reciprocantes, centrífugos y de diafragma.

La elección de un tipo de compresor mecánico depende de los requisitos de la aplicación. Los compresores reciprocantes muestran el mejor rendimiento para altas relaciones de presión. Los compresores centrífugos presentan limitaciones en este aspecto, pero en aplicaciones que requieren altos caudales pueden ser la opción preferida. Los compresores de diafragma suministran hidrógeno con una pureza superior a otros compresores mecánicos debido a que su diseño reduce el contacto del hidrógeno con el aceite del compresor.

Si bien es una tecnología madura, comercial y bien conocida en la industria petroquímica, pueden presentar altos costos de mantenimiento especialmente por las partes móviles del equipo. Es difícil prescindir de este tipo de acondicionamiento si en alguna etapa del proceso se prevé el uso de hidrogeno en estado gaseoso con un requerimiento de caudal y presión definido.

##### Almacenamiento.

Una vez comprimido, el hidrogeno se puede almacenar en recipientes presurizados construidos de un material compatible con el fluido y las condiciones de presión de almacenamiento. Los materiales más comunes como así también las recomendaciones de diseño se encuentran en la siguiente estándar o norma: ASME B31.12 –Hydrogen piping and pipelines.

##### Transporte.

Hoy en día, el Hidrógeno Gaseoso Comprimido es la forma más común de transporte en cilindros presurizados metálicos o metálicos con recubrimientos plásticos interno a una presión usual de 300 bar, pudiendo llegar hasta 500 bar. Recientemente se presentaron soluciones comerciales para el almacenamiento hasta los 1000bar.

En la referencia [-] se pueden ver los tubos comerciales para almacenamiento y transporte a alta presión.

Acondicionamiento Final.

Una vez llegado al lugar de consumo, el hidrógeno comprimido debe entregarse al sistema de almacenamiento local del usuario final siendo usualmente la presión de transporte mayor a la presión de almacenamiento final.

Seguridad.

Como se ve en la Tabla 4, según la NFPA, en las instalaciones de transporte y almacenamiento se debe tener en cuenta un alto peligro de inflamabilidad del hidrógeno gaseoso.

Como se ve en la Tabla 1, este peligro es similar al que presenta el gas natural comprimido como el gas natural licuado.

Producto	Salud	Inflamabilidad	Reactividad
<i>Hidrógeno gaseoso</i>	0	4	0

Tabla 4 - Clasificación según NFPA 704 del Hidrogeno Licuado

#### b. Análisis de Mercado

En Argentina se cuenta con una industria hidrocarburifera dedicada a la producción de naftas y derivados, que se realizan en una red de plantas industriales dedicadas a la refinación y la petroquímica. Además, y debido a su industria agropecuaria, existe una alta demanda de fertilizantes y productos químicos.

En este contexto, se ha estado produciendo de manera regular hidrógeno a partir del gas natural, utilizado principalmente en fertilizantes, la industria petroquímica y otros sectores.

La distribución de la producción de hidrógeno en el país, el 33% se destina a la fabricación de fertilizantes basados en amoníaco/urea, el 27% se utiliza en los procesos de hidrotreatmento en las refinerías de petróleo, el 16% se emplea en la reducción directa de óxidos de hierro en la industria siderúrgica, el 15% se destina a la producción de metanol y el 9% restante se genera como subproducto de otros productos químicos. Según la Agencia Internacional de la Energía (IEA), la demanda en 2019 aumentó a 400.000 toneladas.

## Hidrogeno Licuado

Al igual que el Hidrógeno gaseoso comprimido, esta vía de suministro no requiere de ningún acondicionamiento o transformación química, aunque si es necesario una transformación física, en este caso es necesario una licuefacción.

A presión atmosférica, el hidrogeno alcanza el estado líquido a la temperatura de (-253) °C siendo la densidad del hidrogeno liquido 2,3 veces mayor que la densidad del hidrogeno comprimido a 500 bar, siendo esta la principal razón por la cual se realizan análisis tecno-económicos de esta alternativa a pesar de los múltiples desafíos técnicos que presenta el uso de temperaturas criogénicas tan bajas.

### a. Descripción Técnica

Acondicionamiento inicial: Licuefacción.

El principio de funcionamiento de las grandes plantas de licuefacción generalmente se basa en el Ciclo Claude representado en la Figura 2. Este ciclo consta de dos etapas: En la primera etapa, el hidrógeno se comprime primero y luego se enfría por medio de intercambiadores de calor y expansión en turbinas. El refrigerante comúnmente utilizado en los intercambiadores de calor es nitrógeno licuado, y el hidrógeno se recircula después de la expansión en las turbinas. La segunda etapa de este ciclo es donde tiene lugar el proceso de licuefacción del hidrógeno. Aquí, el hidrógeno gaseoso se alimenta, a una presión de alrededor de 50 bar, en intercambiadores de calor, donde se enfría utilizando el hidrógeno refrigerado proveniente del circuito de refrigeración como agente refrigerante. Finalmente, el gas hidrógeno de alimentación se licua a 1 bar y 20.4K por expansión al pasar a través de una válvula (efecto Joule-Thomson).

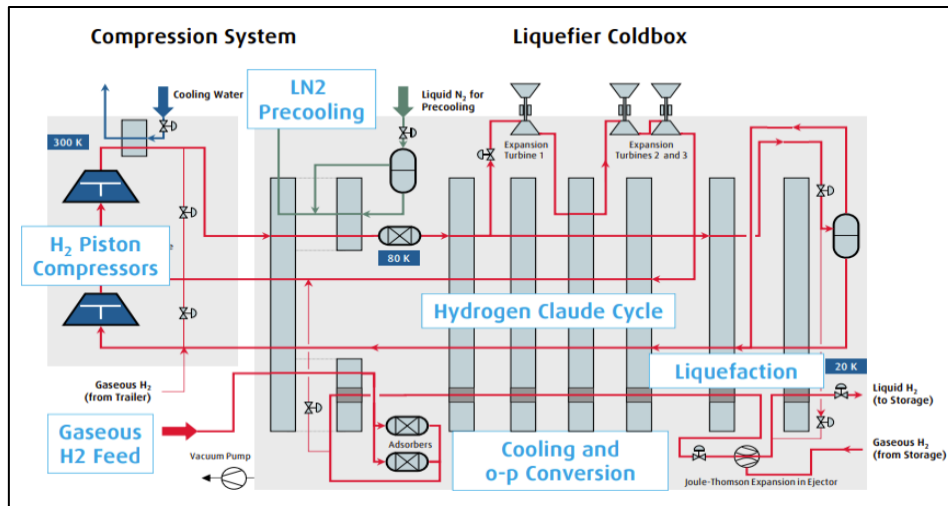


Figura 2 – Ciclo Claude de licuefacción de Hidrógeno de Linde.

Una alternativa al ciclo Claude, es el ciclo Bryton que utiliza Helio como refrigerante siendo un proceso con menor CAPEX, pero de mayor OPEX por el fluido refrigerante utilizado y por tener peor rendimiento energético.

Debido a las bajas temperaturas del proceso de licuefacción, las impurezas en el gas de alimentación deben eliminarse para evitar su condensación o solidificación en los intercambiadores de calor. De lo contrario, podría producirse un bloqueo o daño de este equipo. Esta purificación del gas de alimentación tiene lugar antes del ingreso a la planta de licuefacción mediante una unidad PSA (Pressure Swing Adsorption) requiriendo niveles de impurezas en el H<sub>2</sub> licuado después de la licuefacción inferiores a 1 ppm.

Costos estimados: La inversión de capital para una planta de licuefacción es de 2.5-5 MMUSD por tonelada de hidrógeno / día. El costo principal de licuefacción de hidrógeno está dado por los costos operativos, donde el costo de energía de la licuefacción representa la parte principal.

Benchmark: Hoy en día, la capacidad de una planta de licuefacción de hidrógeno convencional en Europa oscila entre 4,4-10 toneladas/día, mientras que en los EE. UU. se encuentran mayores capacidades de hasta 32 toneladas/día. En Japón tiene una capacidad total de licuefacción similar a la de Europa, y las capacidades de las plantas japonesas oscilan entre 0,3 y 11,3 toneladas/día.

Almacenamiento.

Los sistemas de almacenamiento de hidrógeno licuado suelen ser tanques criogénicos de doble casco, con paredes metálicas internas y externas, y el espacio entre paredes lleno de un material aislante térmico a baja presión

de vacío. Uno de los principales desafíos a la hora de almacenar y transportar hidrógeno licuado es la evaporación de parte de este hidrógeno, lo que se conoce como *boil-off* aumentando progresivamente la presión dentro del tanque de almacenamiento. Para grandes tanques, las tasas usuales de *boil-off* se encuentran entre 0.045 %/día al 0.075 %/día del volumen total del tanque mientras que, para tanques más pequeños, en el orden de 20-150 toneladas de almacenamiento, las tasas ascienden entre 0.1 %/día – 0.3 %/día. Se tienen soluciones tecnológicas comerciales para el almacenamiento hasta 10 bar.

*Costos estimados:* La inversión de capital para los grandes tanques de almacenamiento oscila entre 150-300 € por kilo de hidrogeno licuado.

### Transporte.

El transporte de hidrógeno licuado se limita actualmente al transporte por rutas por medio de tanques aislados (camiones cisterna). Estos vehículos pueden contener hasta 4 toneladas de hidrógeno. El costo de estos camiones cisterna es del orden de 200 \$/kgH<sub>2</sub> y su tasa de *boil-off* puede alcanzar hasta el 1% de volumen por día.

Una alternativa al sistema de transporte por ruta son las soluciones de almacenamiento trasportable como el sistema HYLICS de Linde, que se muestra en la Figura 3, basado en su tecnología de almacenamiento y transporte de Helio.



Figura 3 – Solución de Linde para el transporte y almacenamiento de Hidrógeno.

### Acondicionamiento Final.

La licuefacción, al ser un proceso que requiere un hidrogeno de alta pureza, no es necesario una etapa de purificación adicional y por lo tanto, solo se debe regasificar el hidrógeno. Este proceso se realiza con un evaporador y una bomba criogénica donde el hidrogeno se transforma en gas a la presión requerida por el usuario final. En este caso, es conveniente aumentar la presión del hidrogeno liquido por medio de una bomba ya que es más eficiente que el mismo aumento de presión usando un compresor para hidrogeno gaseoso.

Seguridad.

Como se ve en la Tabla 5, según la NFPA, al riesgo de alta inflamabilidad del hidrógeno gaseoso se suma el riesgo de ser un fluido criogénico. El Helio licuado presenta el mismo peligro para la salud como se ve en la Tabla 1.

Producto	Salud	Inflamabilidad	Reactividad
<i>Hidrogeno Licuado</i>	3	4	0

Tabla 5 - Clasificación según NFPA 704 del Hidrogeno Licuado

#### b. Análisis de Mercado

En el contexto industrial nacional, no se encontraron aplicaciones relevantes actuales donde se requiera el uso industrial del hidrógeno líquido.

#### Amoniaco.

El amoníaco es un producto químico comercializado en todo el mundo y un componente fundamental utilizado en la producción de fertilizantes.

En 2019 su capacidad de producción global fue del orden de 218 Mt y se prevé un crecimiento de la demanda para el futuro. Tradicionalmente, el amoníaco se produce a través del proceso Haber-Bosch. La mayoría del amoníaco producido se obtiene a través de hidrogeno obtenido del reformado del gas natural (68%) seguido por la gasificación del carbón (28%) y, en menor medida, por reformado de derivados del petróleo (4%).

Como alternativa, se puede mencionar los ejemplos de producción de amoníaco a partir de hidrogeno electrolítico en Noruega, en la ciudad de Rjukan de 1927 a 1988, así como en la ciudad de Glomfjord de 1949 a 1993 mediante el uso de energía hidroeléctrica. Si bien, este proceso no era competitivo con el amoníaco producido a partir de gas natural, tenía un objetivo de diversificación de la producción de fertilizantes.

#### a. Descripción Técnica

Obtención: Proceso Haber-Bosch Convencional con CCS.

Actualmente la vía de producción convencional del amoníaco es el proceso Haber-Bosch, que consiste en reaccionar hidrógeno y nitrógeno a 400-

550°C y a presiones de 100-250 bar sobre un catalizador a base de hierro. El nitrógeno se suministra mediante una unidad de separación de aire y el hidrógeno se obtiene de hidrocarburos.

En la Figura 4 se puede ver el diagrama de bloques del proceso convencional más el proceso de captura de dióxido de carbono necesario para tener un amoníaco con mejores características medioambientales. Cabe destacar que se debe capturar el carbono ya sea en el proceso principal como también en el combustible utilizado para la producción de energía eléctrica y térmica (vapor).

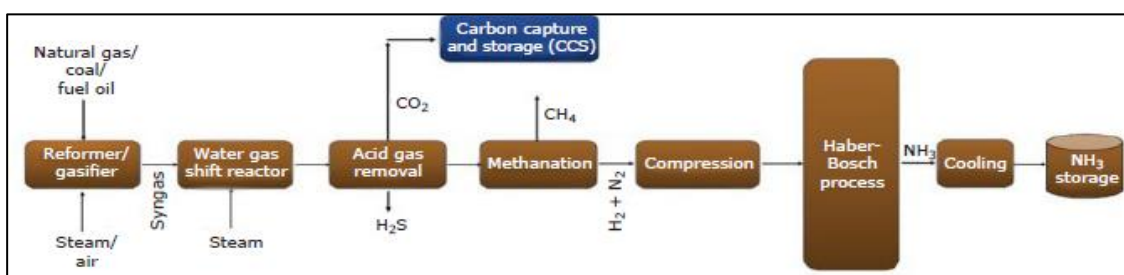


Figura 4 – Diagrama de Bloques del Proceso Haber-Bosch Convencional con CCS.<sup>2</sup>

La mejor solución en el corto plazo es el diseño y construcción de nuevas plantas de amoníaco con captura de carbono o incluir una unidad de captura en las plantas actuales que así lo permitan. Según la IEA, esta integración puede reducir entre un 53% a un 90% las emisiones asociadas aumentando así entre 18% al 33% los costos operativos.

Para la producción de amoníaco a partir de gas natural, existen cuatro empresas principales que ofrecen plantas de amoníaco: Haldor Topsøe, ThyssenKrupp/ Uhde, Casale y KBR.

Obtención: Proceso Haber-Bosch electrificado.

El proceso químico alternativo consiste en una modificación al proceso convencional donde el hidrogeno es suministrado a través de la electrolisis del agua utilizando energía de origen renovable, siendo este el proceso más conveniente a mediano plazo dado que la tecnología de electrolisis y la energía renovable tienen tendencias a seguir bajando sus costos.

---

<sup>2</sup> El proceso de metanación puede ser reemplazado por una absorción del monóxido de carbono. La importancia del paso radica en remover el monóxido para evitar degradar el catalizador del proceso Haber-Bosch.

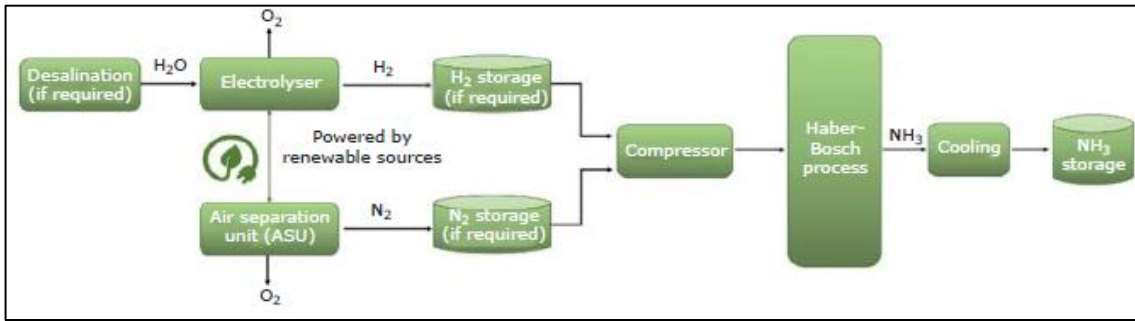


Figura 5 – Diagrama de Bloques del Proceso Haber-Bosch Electrificado

En ambos procesos se requiere una cantidad no despreciable de electricidad para el proceso de la unidad de separación de aire (ASU) que proporciona el nitrógeno como materia prima. Existen dos tecnologías para la obtención de nitrógeno: Destilación criogénica o PSA (Pressure Swing Adsorption).

Obtención: Proceso Haber-Bosch electrificado consolidado.

Como alternativa de especial interés, Haldor Topsøe presenta una combinación de electrolizador de óxido sólido (SOEC) asociado a un proceso Haber-Bosch, como se ve en Figura 6,. En este concepto, la SOEC separa el oxígeno de la mezcla de aire y vapor, de manera que no se necesitaría una unidad de separación del aire. El rendimiento de la electricidad al amoníaco se ha estimado en un 71%.

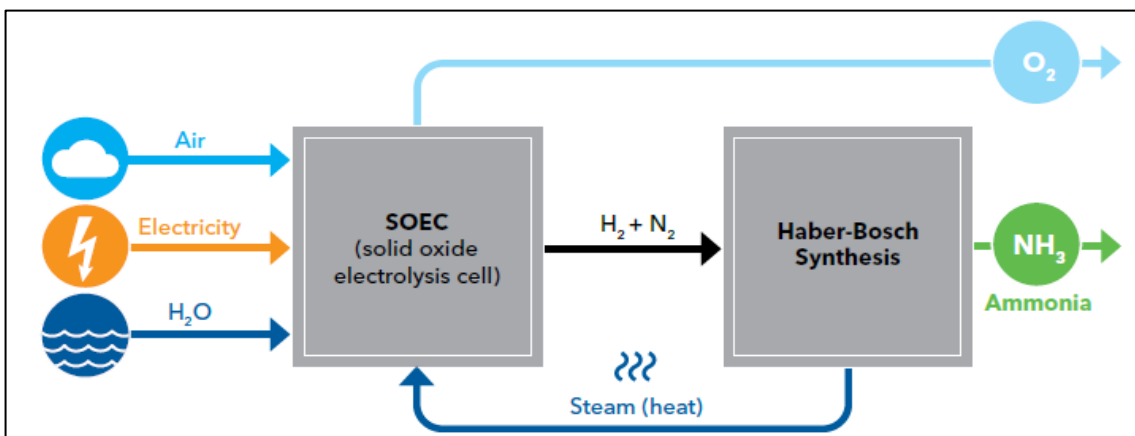


Figura 6 – Concepto de Haldor-Topsøe de producción de Amoníaco usando un Electrolizador de Óxidos Sólidos.

## Costos estimados del Proceso Haber-Bosch Electrificado Consolidado.

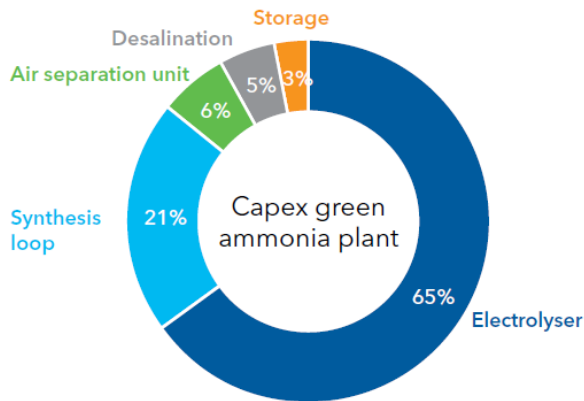


Figura 7 – Desglose de costos de una planta de amoníaco verde de 300 tn/día de capacidad.

El Costo de producir amoníaco por una vía electrificada ha sido estimado en 2.200 a 3.500 \$ por tonelada anual de capacidad de producción en función de la escala de los equipos, principalmente de los electrolizadores. Como se puede ver en la siguiente **figura**, el **electrolizador** representa el 65% del CAPEX para una planta de producción de 300 toneladas de amoníaco verde por día (aproximadamente un 15% de la producción de Profertil).

### Almacenamiento.

El amoníaco se almacena a temperaturas alrededor de los (-33) °C y presión atmosférica o temperaturas ambientales y presiones en el orden de los 10 bar. Estos límites en presión y temperatura pueden permitir el almacenamiento a gran escala de amoníaco a presión atmosférica con capacidades de hasta 50.000 toneladas en tanques con doble contención aislada. Las tasas usuales de *boil-off* son menos del 0,04% por día. Esta ebullición puede ser re-licuada en un circuito de compresión-refrigeración y bombeada de nuevo en el recipiente de almacenamiento.

El amoníaco tiene la ventaja clave de ser más fácil de almacenar que el hidrógeno licuado. Por lo tanto, el coste de almacenamiento por unidad de energía es significativamente más barato que el del hidrógeno, la electricidad en baterías o el GNL.

En especial, para el almacenamiento en las embarcaciones, se debe tener en cuenta que el amoníaco tiene menor densidad energética volumétrica que los combustibles actuales que se usan en el transporte marítimo como se puede ver en la Tabla 3. Por lo tanto, se deberá dedicar mayor espacio de almacenamiento con el fin de mantener la misma autonomía. Por ejemplo, por cada 1000 m<sup>3</sup> de HFO, se necesitan 2750 m<sup>3</sup> de amoníaco, 4117 m<sup>3</sup> de hidrógeno licuado o 2333 m<sup>3</sup> de metanol.

## Transporte.

Se tiene experiencia en todo tipo de medio de transporte de amoníaco, ya sea en barcos, trenes y/o camiones. En barcos, se puede transportar  $75.000\text{m}^3$  pudiéndose alcanzar, a partir de las mejoras introducidas en las embarcaciones metaneras, capacidades de  $100.000\text{m}^3$  con tasas de boil-off en el orden de 0.04% por día.

Cabe mencionar que en Bahía Blanca se tiene un puerto de carga de amoníaco como se muestra en el mapa de puertos con facilidades para carga y descarga de amoníaco.

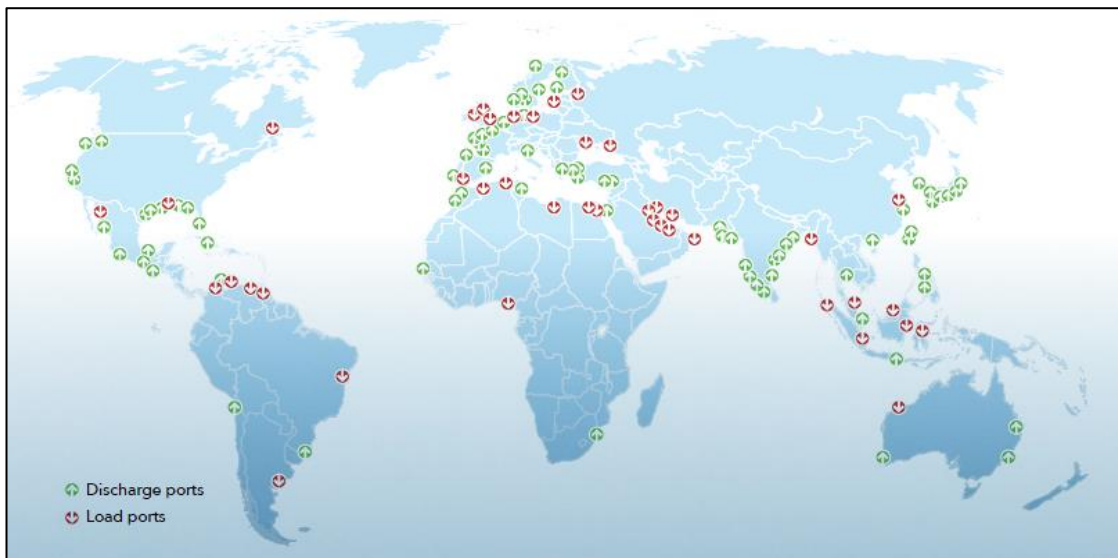


Figura 8 – Mapa mundial de puertos con facilidades de carga o descarga de amoníaco.

Otra forma de transporte es a través de ductos o camiones para distancias más pequeñas, siendo económicamente viable en el orden de los 150 km.

## Acondicionamiento Final: Craqueo del Amoníaco.

El craqueo del amoníaco es un proceso que requiere mucha energía. Para lograr altas tasas de conversión ( $>99\%$ ), el craqueo de amoníaco debe producirse a temperaturas superiores a  $400^{\circ}\text{C}$ . Los requisitos de energía de craqueo de amoníaco dependen en gran medida del diseño del proceso considerado. Cabe señalar que el diseño de los equipos de craqueo de amoníaco comerciales se basa en pequeñas salidas del orden de menos de  $100\text{ kg H}_2/\text{h}$ .

El costo para un cracker de amoníaco a gran escala, capaz de producir  $200\text{ ton H}_2/\text{día}$  a  $250\text{ bar}$  y con una pureza del  $99,97\%$ , se estima en  $\text{£ }74.85$  millones.

## Seguridad

El principal desafío está relacionado con la seguridad debido a la toxicidad por fugas en el sistema de almacenamiento y combustión. Sin embargo, el amoníaco ha sido utilizado en varias aplicaciones, sobre todo industriales, a lo largo de los últimos 100 años. El riesgo y los desafíos que implica este compuesto químico es debidamente gestionable.

Producto	Salud	Inflamabilidad	Reactividad
<i>Amoniaco</i>	3	1	0

Tabla 6 - Clasificación según NFPA 704 del Amoniaco

El límite de exposición recomendado varía según la jurisdicción y el tiempo. La Administración de Salud y Seguridad Ocupacional (OSHA) de EE. UU. ha establecido un límite de exposición al amoníaco durante 8 horas de 25 ppm y un límite de exposición durante 15 minutos de 35 ppm. La exposición a concentraciones muy elevadas de amoníaco gaseoso puede provocar daños pulmonares y la muerte. Un límite mortal notificado es de 5.000 ppm o sólo el 0,5%.

Al ser extremadamente soluble, el amoníaco es absorbido por los fluidos corporales (sudor, lágrimas, saliva) y puede causar quemaduras químicas graves. El agua pulverizada se utiliza como medio eficaz para absorber amoníaco del aire. Duchas de emergencia y estaciones de lavado de ojos para evitar lesiones al personal en contacto con el amoníaco. En los buques, los sistemas de ventilación en las zonas de alojamiento y trabajo están diseñadas para cerrar los ventiladores y sellar el compartimento el interior.

Debido a su toxicidad e inflamabilidad, las tuberías de doble pared deben utilizarse como contención secundaria siempre que las tuberías se encuentren dentro de espacios cerrados, como por debajo de la línea de cubierta. Las tuberías de doble pared también pueden ser relevantes cuando las tuberías se encuentran al aire libre para garantizar una detección eficaz de las fugas y reducir al mínimo las zonas peligrosas. Los instrumentos al detectar cualquier fuga y contendrán el amoníaco dentro de la doble pared de los tubos antes de que llegue a zonas en las que haya personas.

### b. Análisis de Mercado

Según la referencia [-] y usando la información de la Figura 7, si se asume una tasa interna de rentabilidad del proyecto durante 20 años al 10%, con una

eficiencia del 52%, una tasa de descuento del 5% y una rentabilidad anual del 10% y gastos operativos anuales del 2,5% de las inversiones se obtienen precios de amoníaco verde en el orden de 650-850 USD/tonelada en función de un valor promedio de la electricidad renovable 48 USD/MWh.

Según IEA, la producción de amoníaco renovable en China se encuentra en el rango de 450-700 USD/tonelada.

En Argentina, se estima que entre el 50-60% de los fertilizantes utilizados corresponden a compuestos nitrogenados, que se elaboran a partir del amoníaco. Gran parte de los fertilizantes, Argentina tiene un déficit comercial a pesar de ser un productor de amoníaco. Para dimensionar el mercado, la industria agropecuaria utilizó más de 5 millones de toneladas de fertilizantes durante el año 2020 en nuestro país, y el 56% de estos fueron fertilizantes nitrogenados (urea, urea+ácido nítrico, nitrato de amonio, etc.), alcanzando las cerca de los 3 millones de toneladas. Según la referencia [-], la producción nacional de amoníaco de bajas emisiones se presenta como un componente estratégico para el desarrollo del país. Esta producción permite ahorrar divisas. Además, el amoníaco se posiciona como un portador de hidrógeno neutro en carbono en el comercio internacional de energía, y se considera un combustible clave para la descarbonización del sector naviero a nivel internacional.

Según el estudio realizado por FRACTAL ARG S.R.L para la Provincia de Tierra del Fuego, Antártida e Islas del Atlántico Sur, actualmente se puede producir amoníaco a partir de energía eólica en un intervalo de costo nivelado de 520-844 USD/tonelada teniendo en cuenta una WACC entre 7-13.9%. Para el 2030 prevén una reducción en el costo en el orden de 346-620 USD/tonelada para el 2030.

## Metanol

Al igual que el metano ( $\text{CH}_4$ ), el metanol ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ) presenta la mínima relación entre átomos de carbono e hidrogeno en su estructura química.

El metanol es un precursor fundamental en la industria de síntesis química como el plástico. Puede ser transportado a presión atmosférica y temperatura ambiente, aunque tiene un punto flash muy bajo ( $11^\circ\text{C}$ ), es decir, es la temperatura más baja a la que la concentración de vapores es tal que puede formar una mezcla de vapor y aire inflamable. No obstante, al ser un producto tan importante en la industria química, se tiene mucha experiencia en su manipulación.

## a. Descripción Técnica

Obtención usando Hidrógeno y Dióxido de Carbono.

El proceso convencional se basa en la reacción de gas de síntesis, una mezcla de hidrogeno y monóxido de carbono obtenido a partir del reformado de gas natural. Existen alternativas de obtener el gas de síntesis a partir de biometano obtenido de procesos biológicos las cuales tienen menor huella de carbono que la vía tradicional con combustibles fósiles.

El uso del dióxido de carbono junto con hidrogeno como materias primas para la obtención de metanol, es un proceso que actualmente está recibiendo mucha trascendencia. Mas allá de la obtención del hidrogeno de origen renovable, hay compañías que actualmente producen metanol de bajas emisiones o neutras usando como fuente de carbono el dióxido de carbono capturado directamente de la atmosfera o a través del reformado de biometano como así también de fuentes biogénicas como efluentes municipales, efluentes de las papeleras y biomasa forestal.

Se necesitan presiones en el rango de 50-150 bar y temperaturas alrededor de 250°C para la síntesis de metanol. El catalizador utilizado para la hidrogenación de dióxido de carbono suele ser el mismo catalizador de zinc/cobre relativamente barato que el utilizado en la síntesis convencional de metanol basado en gas de síntesis.

La mayor planta de producción comercial de metanol a partir de una mezcla de Dióxido de carbono e hidrogeno es la operada en Islandia por Carbon Recycling International con una capacidad de 4000 toneladas de por año.

El proceso industrial aún no se ha implementado en gran medida y los diseños propuestos se pueden agrupar en torno a dos soluciones principales: Hidrogenación directa de Dióxido de carbono, o una combinación de dos pasos. El primero es la reacción de Water Gas Shift inversa (RWGS) para producir gas de síntesis, y una segunda reacción de síntesis de metanol.

Almacenamiento.

El almacenamiento a gran escala se hace en tanques de acero al carbono o acero inoxidable austenítico de la serie 300, al igual que los combustibles utilizados actualmente.

## Transporte.

El metanol es un producto químico con un gran mercado como se puede ver en la Figura 9. El transporte de metanol se puede realizar utilizando barcos, trenes y camiones adecuados para el transporte de productos químicos peligrosos.

Los barcos pueden ser tan grande como para transportar 50.000 DWT (tonelaje de peso muerto). Dado que el metanol se define como un líquido de bajo punto de inflamación (LFL), la carga de metanol debe transportarse de acuerdo con el requisito de seguridad como por ejemplo un gas de blanketing como el nitrógeno para evitar atmósferas explosivas.

## Acondicionamiento Final: Reformado de Metanol

El reformado de metanol puede ocurrir a temperaturas tan bajas como 150-350°C y es un proceso endotérmico. La corriente final mezcla de hidrógeno y dióxido de carbono debe purificarse y el CO<sub>2</sub> emitido debe capturarse nuevamente. El grado de purificación depende del uso de hidrógeno modificando sustancialmente el Balance de Planta.

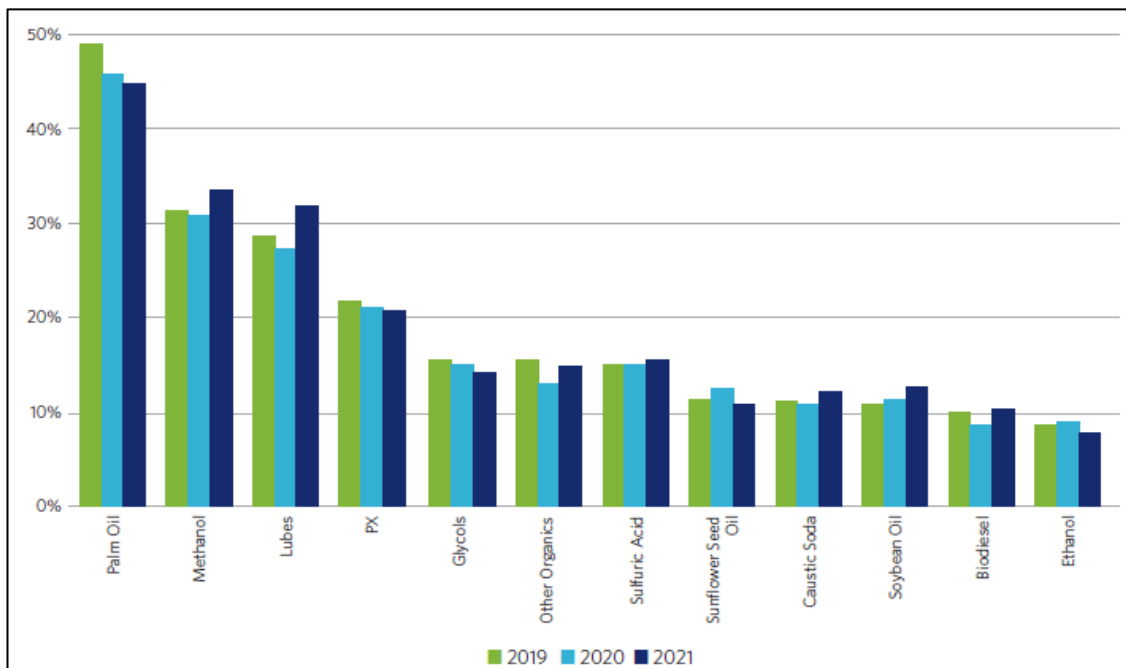


Figura 9 – Productos químicos transportados por embarcaciones a nivel mundial.

## Seguridad

Al tener un punto flash mucho menor al de los combustibles convencionales, se deben adoptar medidas como almacenamiento con doble

pared y sistemas de nitrógeno de blanketing y sistema de detección de fuego dado que la flama del metanol no es visible.

Producto	Salud	Inflamabilidad	Reactividad
Metanol	1	3	0

Tabla 7 - Clasificación según NFPA 704 del Metanol

b. Análisis de Mercado

Según la referencia [-], el metanol es adecuado para una amplia gama de aplicaciones de embarcaciones como se puede ver en la Figura 10, incluyendo cruceros, buques de transporte a granel por vías navegables internas, buques portacontenedores de corta distancia, ferries, buques de contenedores de aguas profundas y buques de carga general.

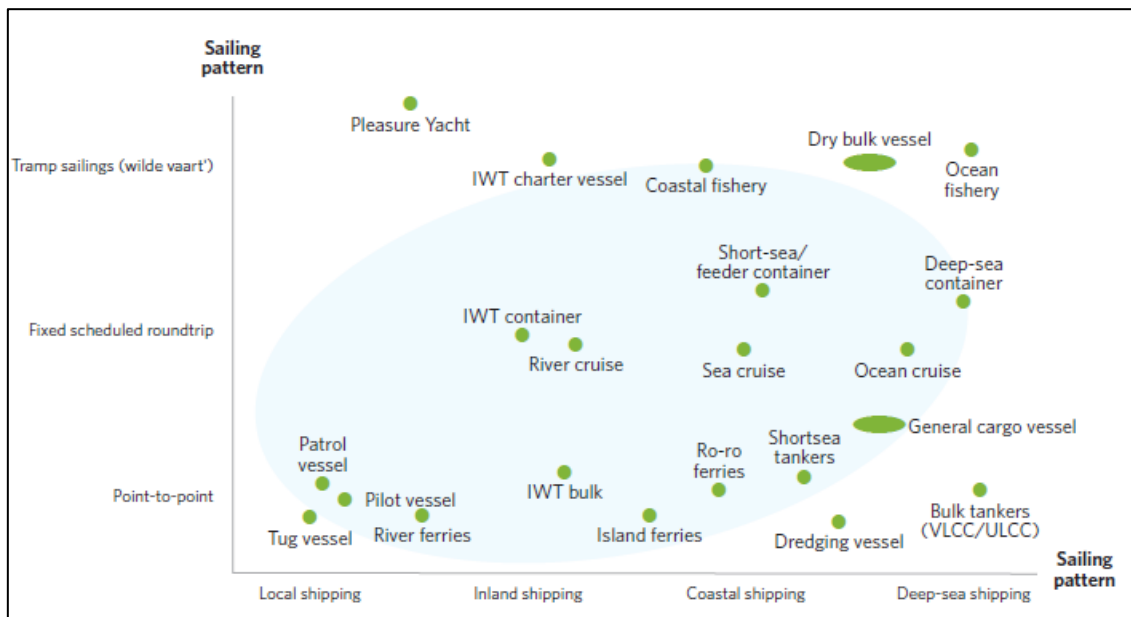


Figura 10 – Mapa de aplicaciones del metanol en el transporte naval según Referencia [-]

Como se mencionó previamente, al ser un producto químico líquido a presión atmosférica y temperatura ambiente, el almacenamiento y transporte es más simple que el amoníaco y el hidrógeno licuado y al ser comercializado a nivel internacional, hay cerca de 120 puertos con capacidades de almacenamiento y carga o descarga de metanol.

La Agencia Internacional de Energía Renovable (IRENA) estima que para el 2050 el metanol verde tendrá una participación en el mercado del más del 80% llegando a ser 500 millones de toneladas por año. El principal problema está enfocado en analizar si la fuente de carbono se encuentra disponible en cantidades suficientes a un costo competitivo.

En Argentina, según la referencia [-] la producción de metanol se divide entre el mercado interno de refinación y otras industrias, así como la exportación. La planta más grande de producción de metanol se encuentra en Plaza Huincul y pertenece a YPF. Tiene una capacidad de producción de 400.000 toneladas al año. Para exportar el producto, se realiza el transporte de metanol por carretera en camiones cisterna desde la planta de Plaza Huincul hasta Ensenada, en la provincia de Buenos Aires, utilizando el Puerto de La Plata. En el año 2021, se produjeron cerca de 446.000 m<sup>3</sup> de metanol en Argentina. De esta producción, se exportaron 140.305 m<sup>3</sup> y la gran mayoría se destinó a Brasil. Además, se importaron 6.428 toneladas de metanol durante el mismo período.

### **7.3 ESTADO DEL ARTE DE LOS SISTEMAS DE PROPULSIÓN**

#### Hidrógeno Comprimido e Hidrogeno Líquido

Dada su baja densidad de energía y las correspondientes demandas de espacio, se espera una penetración limitada de hidrógeno en los segmentos de buques larga distancia donde los motores de dos tiempos son una opción natural para la propulsión. Para buques de corta distancia, existen motores de cuatro tiempos y Pilas de combustible disponibles en el mercado para ser usada con hidrogeno.

- Motores de combustión interna.

Según la referencia [-] el nivel de madurez tecnológica es de 5.

- Pilas de combustible.

Según la referencia [-] el nivel de madurez tecnológica es de 7.

## Amoniaco

El transporte marítimo de amoníaco está regulado por el International Code for the Construction and Equipment of ships Carrying Liquefied Gases in Bulk (Código IGC), cuyo objetivo es el transporte seguro de líquidos con una presión de vapor superior a 2,8 bares a 37,8°C, y se aplica a buques de todos los tamaños. Si un buque de transporte de amoníaco se propulsara con amoníaco, en principio ese tipo concreto de buque estaría cubierto por el Código IGC sin tener que cumplir el Código IGF (International Code of Safety for ships using Gases or Other Low-flashpoint Fuels). El Código IGC (capítulo 16) puede utilizarse para más aclaraciones. Sin embargo, el capítulo 16.9.2 del Código IGC no permite el uso de cargas tóxicas como combustible, lo que excluye la carga de amoníaco como combustible. Para evitar riesgos asociados a la toxicidad del amoníaco, los sistemas de almacenamiento y combustión tiene sistemas de recuperación y previenen las descargas.

- Motores de combustión interna.

Además de los desafíos de seguridad mencionados en la sección de

Seguridad del Amoníaco existen desafíos técnicos relacionados a las propiedades físicas y químicas de la molécula como por ejemplo la alta temperatura de autoignición (630 °C), la baja velocidad de flama, un acotado rango de inflamabilidad y un alto calor de vaporización. Esto hace que se requieran un motor de combustión interna de encendido por chispa, mejorando mucho el rendimiento al ser ayudado por hidrogeno o algún hidrocarburo. Tan solo un 5% de estos compuestos químicos es suficiente para mejorar el rendimiento de la combustión.

Se puede ver en la siguiente figura el diagrama de procesos de combustión de amoníaco solo o con un combustible de soporte.

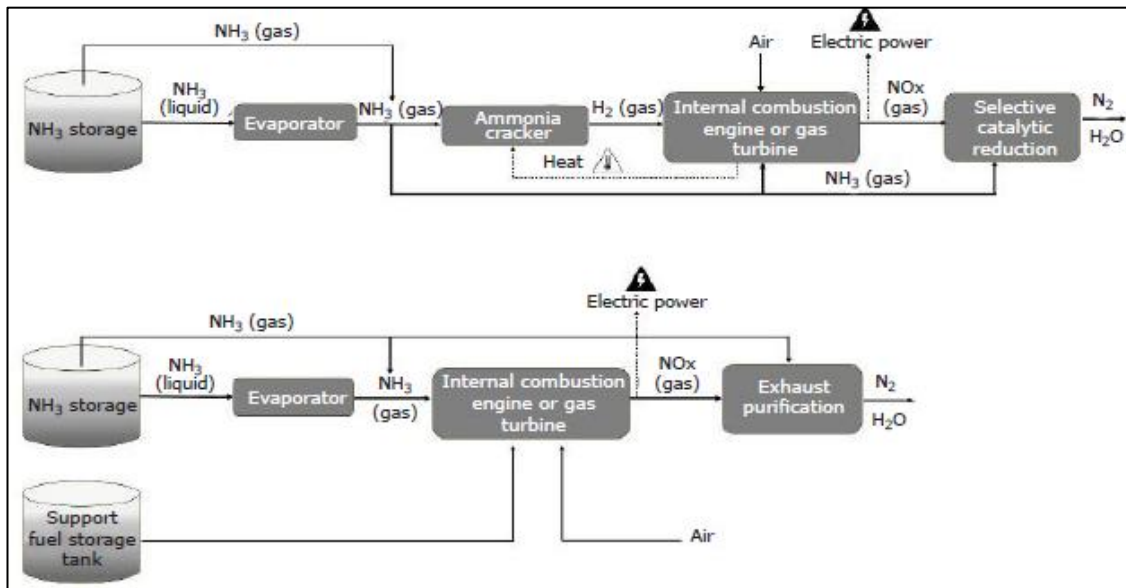


Figura 11 – Diagramas de bloques para el uso del amoníaco como combustible en motor de combustión interna.

Hoy en día no se encuentra en un grado de madurez comercial los motores de dos ni cuatro tiempos que usen amoníaco como combustible. No obstante, y debido al interés en este portador de hidrógeno, los fabricantes de motores están desarrollando soluciones tecnológicas para el sector naval como se puede ver en la referencia [-] que muestra el desarrollo de motores de la empresa MAN-ES en la Figura 12 o en la referencia [-] con el desarrollo de la empresa Warstila en la Figura 13.

El prototipo de motor de combustión interna a amoníaco de la empresa MAN-ES se basa en su motor de combustión interna basado a LPG.

LNG		Ethane	Methanol	LPG	Ammonia
ME-GI	ME-GA	ME-GIE	ME-LGIM	ME-LGIP	→ 2024
					

Figura 12 – Portfolio de motores de dos tiempos de la empresa MAN-ES.

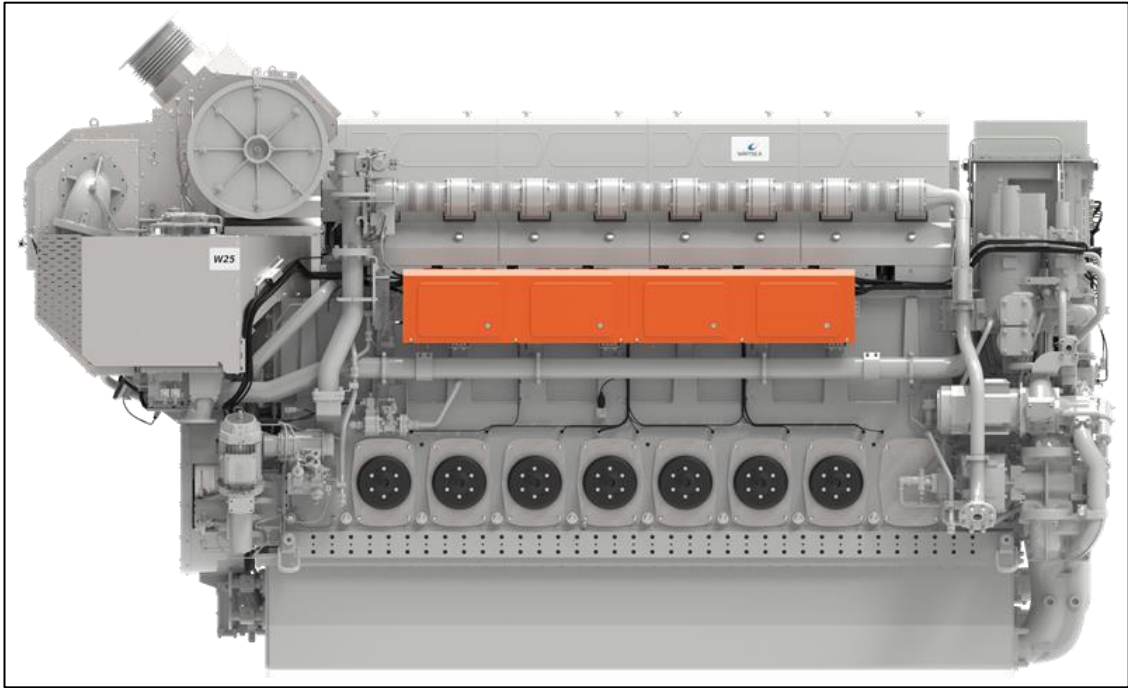


Figura 13 – Motor Warstila 25 de cuatro tiempos de la empresa Warstila.

En la siguiente figura se muestra el sistema asociado de suministros de amoníaco al desarrollo que lleva a cabo la empresa MAN-ES y se puede consultar en la referencia [-].

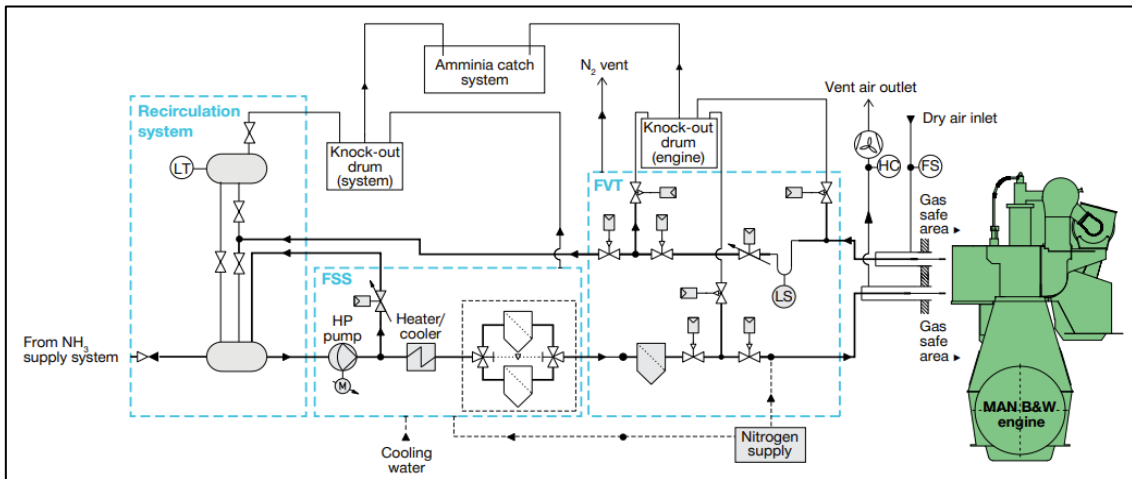


Figura 14 – Sistema de suministros de amoníaco al motor de dos tiempos de MAN ES.

Según la referencia [-] el nivel de madurez tecnológica es de 6.

Por último, debido al tipo de combustión que se tiene en los motores térmicos, se pueden tener concentraciones por arriba del límite permitido de Óxidos de Nitrógeno conocidos como NOX. Además, dada la baja velocidad de

llama y el pequeño intervalo de inflamabilidad, se puede tener restos de amoníaco en los gases exhaustos del motor. Para solucionar ambos problemas de emisiones, se debe instalar un sistema de remoción de amoníaco y NOX de la corriente de gases exhaustos. Un ejemplo es la solución ofrecida por la empresa MAN-ES, con un reductor selectivo catalítico (SCR por sus siglas en inglés) como se muestra en la siguiente figura.

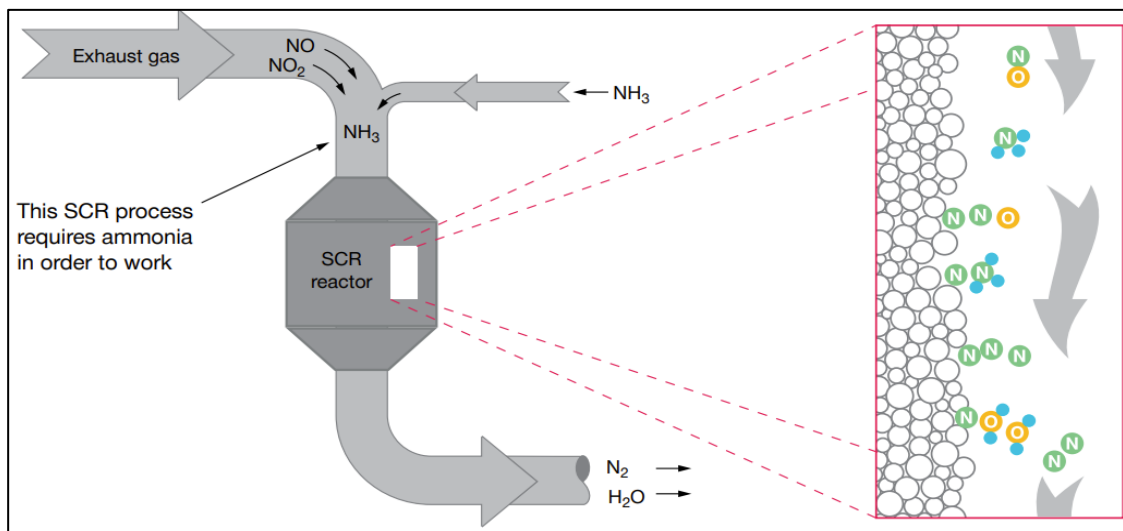


Figura 15 – Reductor selectivo catalítico de la empresa MAN-ES para el tratamiento de NOX.

En el corto plazo, es posible desarrollar un motor de combustión interna de la potencia requerida que utilice amoníaco y que sea más barato que una pila de combustible. Esto hace que el amoníaco, a pesar de sus desafíos, sea una de las mejores opciones para el combustible marino libre de emisiones.

- Pilas de combustible.

Las ventajas son notables en este tipo de tecnología, pudiéndose usar el amoníaco directamente o como un portador del hidrógeno. Presentan rendimientos térmicos mayores, menor ruido y menores emisiones de contaminantes.

Se puede ver en la siguiente figura el diagrama de procesos de combustión en pilas de combustibles de amoníaco como carrier de hidrógeno o amoníaco como combustible directo.

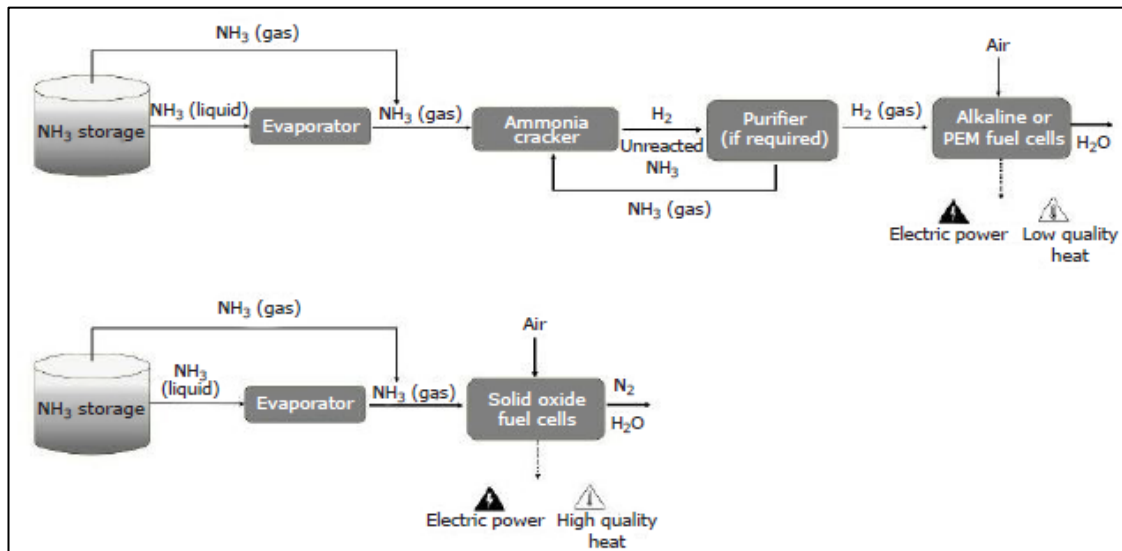


Figura 16 - Diagramas de bloques para el uso del amoníaco en celda de combustible del tipo PEM y SOFC.

Como se ve en el último proceso de la Figura 16, actualmente se está desarrollando otra tecnología son las pilas de oxido sólido. Llamam la atención debido a su flexibilidad en el uso de combustibles de forma directa, como el amoníaco y por su alta eficiencia comparada con los motores tradicionales de combustión interna. En la referencia [-] se puede ver un sistema SOFC de 2MW instalado en una embarcación noruega, consistente con la referencia [-] y el nivel de madurez tecnológica de 5.

## Metanol

Existen buques que transportan metanol como carga que han utilizado con éxito motores de metanol de dos tiempos de combustible dual para propulsión desde 2017. Con el creciente interés en el metanol como combustible para otras aplicaciones de buques, se espera que los motores estén disponibles comercialmente.

- Motores de combustión interna.

Las siguientes ventajas ambientales que presenta el uso de metano en barcos es que emite muy poco SOX y material particulado, y las pocas emisiones que se producen provienen del diésel empleado como combustible piloto en los motores de combustible dual. El combustible de metanol marino cumple con las regulaciones de la IMO sobre emisiones de SOX y PM.

En el caso de los NOX se deberá realizar una mezcla con agua y metanol para reducir la temperatura de combustión y permanecer por debajo de los límites de formación de los óxidos de nitrógeno.

Dadas estas ventajas, empresas del sector como AP Moller-Maersk, CMA, CGM y Cosco están adoptando el metanol como combustible naval y empresas fabricantes de motores como MAN-ES, Wärtsilä, Rolls-Royce/MTU, Caterpillar y Hyundai Heavy Industries están suministrando los sistemas de propulsión de más de 24 embarcaciones con motores duales Diesel-Metanol.

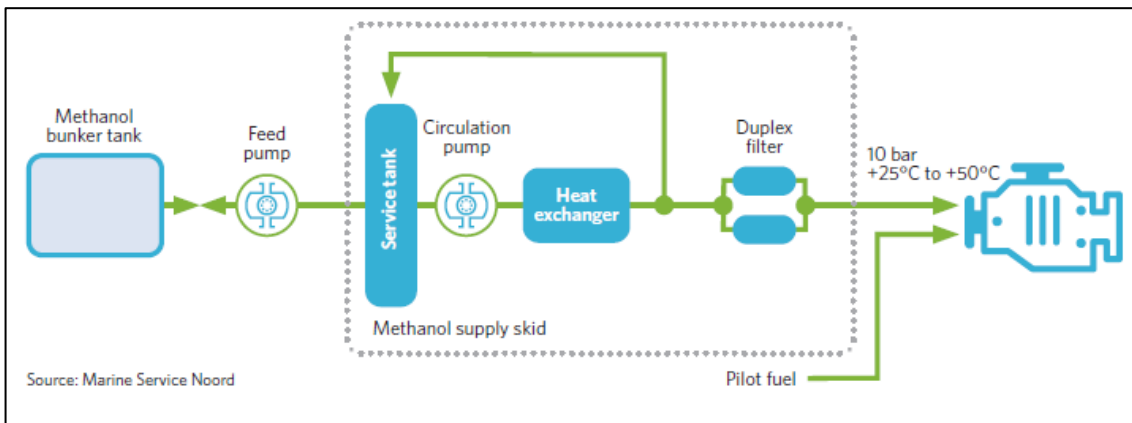


Figura 17 - Esquema para el uso del metanol como combustible en motor de combustión interna.

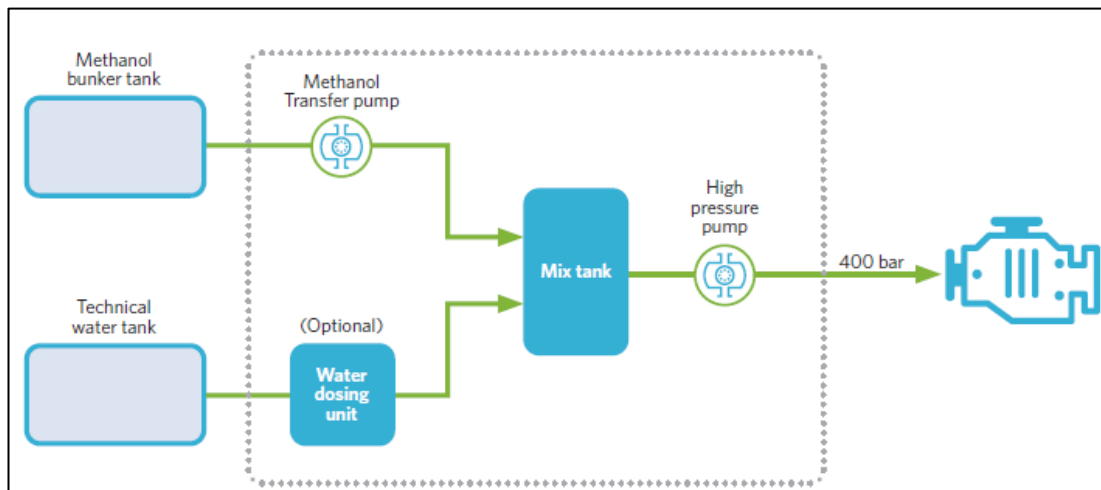


Figura 18 - Esquema para el uso del metanol como combustible en motor de combustión interna y disminución de NOX.

Según la referencia [-] el nivel de madurez tecnológica es de 9

- Pilas de Combustible.

Además de alimentar directamente motores de buques de dos o cuatro tiempos, el metanol se puede utilizar para impulsar celdas de combustible para energía auxiliar o propulsión hasta una escala de megawatts. Los beneficios de las pilas de combustible sobre los motores tradicionales son:

Un espacio más compacto y múltiples opciones de configuración, ahorrando espacio. Alta conversión de energía, eficiencia y densidad de potencia del sistema. Diseño modular, lo que permite escalabilidad y redundancia. Sin partes móviles, lo que reduce el mantenimiento. Sin emisiones de NOX, SOX o PM.

Empresas como Blue World Technologies, e1 Marine, Advent Technologies y Freudenberg Fuel Cell han desarrollado pilas de combustible de metanol para usos marítimos. Los sistemas de pilas de combustible con reformadores de metanol a bordo se están implementando en proyectos piloto en los Estados Unidos, Europa y China.

Según la referencia [-] el nivel de madurez tecnológica es de 6.

#### Metodología de Selección.

Se realiza un análisis cualitativo en base a cinco indicadores de relevancia para la selección del combustible que tendrá mayor probabilidad de ser adoptado en el sector naval producido en la provincia de Tierra del Fuego. Se usa una escala del 1 al 5 para definir el peso relativo de cada indicador para cada alternativa y luego se suman los pesos relativos. El combustible con más facilidad para ser adoptado tendrá la mayor sumatoria.

**Indicador 1:** Madurez Tecnológica de la Cadena de Suministros: Estado comercial de la tecnología empleada basándose en la información de proveedor y en la referencia [-].

*Un indicador alto implica mayor un estado comercial de la tecnología involucrada en la cadena de suministros global del fluido.*

**Indicador 2:** Seguridad. Según la clasificación de la NFPA y la información relacionada a las experiencias en buques, se cuantifica el peligro asociado de manipular y almacenar los combustibles estudiados.

*Un indicador alto implica alta experiencia en la manipulación del fluido y un peligro asociado bajo.*

**Indicador 3:** Madurez tecnológica en el sistema de propulsión: Estado comercial de la tecnología empleada para obtener potencia mecánica o eléctrica en las embarcaciones basándose en la información de proveedores y en la referencia [-].

*Un indicador alto implica un mayor estado comercial de la tecnología involucrada en el sistema de propulsión.*

**Indicador 4:** Experiencia nacional existente: Se refiere si en Argentina existen facilidades industriales con personal capacitado que produzcan, almacenen y/o transporten hidrógeno o algún portador.

*Un indicador alto implica una mayor experiencia en producción y manipulación.*

**Indicador 5:** Mercados alternativos: Cuantifica la posibilidad de diversificar los clientes potenciales a nivel nacional del hidrógeno o del portador químico.

*Un indicador alto implica mayor posibilidad de tener otros mercados a los cuales proveer.*

	Cadena de Suministro	Seguridad	Sistema de propulsión	Experiencia nacional	Mercados alternativos	Sumatoria
Hidrógeno Comprimido Gaseoso.	4	2	3	5	2	16
Hidrógeno Licuado.	1	1	2	1	1	6
Amoniaco.	5	3	2	5	5	20
Metanol.	5	4	5	5	5	24

Tabla 8 – Análisis cualitativo para la selección del combustible

Según el análisis cualitativo de la fundamentado en la información presentada en el análisis de cada uno de los combustibles y de los sistemas de propulsión, el metanol tiene mejor probabilidad de tener una rápida adopción en el sector naval, con la posibilidad de ser apalancado por un proyecto de producción de metanol para el comercio interno y externo. Cabe destacar que la producción de e-metanol requiere de una fuente de carbono competitiva o en su defecto, el metanol azul requerirá un desarrollo adicional para el almacenamiento del dióxido de carbono remanente del proceso de producción.

## 7.4 CONCLUSIONES

Debida a la baja densidad energética volumétrica que presenta el hidrogeno en su forma pura y comprimida, los portadores de hidrogeno tienen más probabilidad de ser los combustibles marítimos del futuro.

Un portador químico de hidrogeno como el amoníaco, con su fórmula química neutra en carbono, su alta densidad energética y su infraestructura establecida de producción, transporte y almacenamiento, podría proporcionar a corto plazo una solución práctica de energía de nueva generación para la industria marítima, especialmente la de transporte internacional e intercontinental.

Por otro lado, un buque alimentado con metanol se beneficia de una tecnología relativamente simple. Además, comparado con el amoniaco, el metanol no es neutro en carbono salvo que la producción tenga acceso a materia orgánica abundante y de bajo costo para la obtención de dióxido de carbono.

## 7.5 REFERENCIAS

- *“Energy Transition Outlook. Maritime forecast to 2050”*, DNV. 2019
- Ortiz Cebolla. R; Dolci, F. y Weidner, E. *“Assessment of Hydrogen Delivery Options. Feasibility of Transport of Green Hydrogen within Europe”* ISSN 1831-9424, JRC Technical Report, 2022.
- *“Energy Transition Outlook 2023. Transport in Transition. A deep dive into fuels, electricity, and infrastructure”*, DNV. 2023
- *“Ammonia as a Marine Fuel”*, DNV Group Technology & Research. 2020.

- *“Marine Methanol. Future-proof shipping fuel”*, Methanol Institute. 2023
- *“Estrategia Nacional de Hidrógeno – Fundamentos. (versión preliminar)”*, secretaria de Asuntos Estratégicos. 2023
- [IEA Clean Energy Technology Guide: https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/etp-clean-energy-technology-guide?selectedVCStep=Transport&selectedSector=Hydrogen](https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/etp-clean-energy-technology-guide?selectedVCStep=Transport&selectedSector=Hydrogen)
- [Tenaris THera: https://www.tenaris.com/en/news/2021/tenaris-introduces-thera-technology-at-the-hydrogen-technology-expo-europe](https://www.tenaris.com/en/news/2021/tenaris-introduces-thera-technology-at-the-hydrogen-technology-expo-europe)
- [MAN-ES: The case for two-stroke ammonia engines: https://www.man-es.com/discover/two-stroke-ammonia-engine](https://www.man-es.com/discover/two-stroke-ammonia-engine)
- [Wärtsilä: The case for four-stroke ammonia engines https://wartsila.prod.sitefinity.fi/media/news/07-09-2022-launch-of-wartsila-25-engine-paves-the-way-towards-maritime-decarbonisation-3152432](https://wartsila.prod.sitefinity.fi/media/news/07-09-2022-launch-of-wartsila-25-engine-paves-the-way-towards-maritime-decarbonisation-3152432)
- [MAN-ES Catalogo: https://www.man-es.com/docs/default-source/document-sync/man-b-w-two-stroke-engine-operating-on-ammonia-eng.pdf](https://www.man-es.com/docs/default-source/document-sync/man-b-w-two-stroke-engine-operating-on-ammonia-eng.pdf)
- [Viking Energy. https://shipfc.eu/almas-marine-fuel-cell-system-awarded-approval-in-principle-by-dnv/](https://shipfc.eu/almas-marine-fuel-cell-system-awarded-approval-in-principle-by-dnv/)

## 8. OPORTUNIDADES NAVALES FUEGUINAS PARA EL HIDRÓGENO

Ing. Naval Raúl E. Podetti

### 8.1 EL SECTOR NAVAL FUEGUINO

Por su carácter insular y extremo austral, Tierra del Fuego (TdF) depende de soluciones navales para su desarrollo. Tal es el caso de la logística para las importaciones y exportaciones, como para el desempeño de actividades económicas propias como la pesca y el turismo de cruceros y finalmente también para aprovechar estratégicamente su extrema cercanía a la Antártida, a través de soluciones navales de logística polar.

A todo esto se suma que como isla que es, una de sus principales infraestructuras a desarrollar es justamente un sistema portuario amplio, diverso y eficiente.

Como veremos a continuación, muy poco del desarrollo naval fueguino señalado existe como realidad actualmente.

A continuación se analizan por separado los cuatro sectores arriba aludidos:

- Logística fueguina de importación / exportación
- Actividades económicas fueguinas navales
- Actividad logística polar antártica
- Infraestructura portuaria fueguina

#### Logística fueguina de importación / exportación

Insólitamente TdF es prácticamente la única isla del mundo cuya logística de cargas (desde importación de papel higiénico hasta exportación de televisores) es casi totalmente terrestre. Hace muchas décadas TdF privilegia la más ineficiente, contaminante, antieconómica y mortal de todas las soluciones logísticas posibles. Y además, conlleva un componente geopolítico inaceptable ya que para acceder a TdF debe atravesarse una larga extensión de otro país (Chile) para poder llegar nuevamente a la Argentina.

El transporte marítimo de cargas hace años lo realizaba el Servicio de Transportes Navales de la Armada. Si bien su eficiencia económica y operativa

era muy baja, el criterio que sobresalía era el de apoyo a la soberanía. Luego se sumaron diversas operaciones de armadores privados con buques portacontenedores siempre antiguos y contaminantes que debían además operar dentro de un sistema de puertos nacionales con normativas pensadas para desalentar la logística marítima y así favorecer al sistema “camionero”. Sin dudas, éste es uno de los lobbies más activos, destructivos y exitosos de la realidad económica y social nacional, con sus claras consecuencias en la falta de competitividad, la contaminación y el muy negativo impacto social incluyendo altísimos niveles de accidentes y muertes. Al respecto, debe mencionarse que las cargas transportadas entre el continente y TdF son las que tienen mayor huella de carbono y más cantidad de muertes por ton-km de toda la región.

Entre los casos analizados en este estudio, se consideran justamente dos soluciones para esta cuestión. Por un lado, con modernos *ferries/RoRo* que conecten Santa Cruz y TdF y por otro lado, con una flota de modernos, competitivos y sustentables buques portacontenedores de diseño y construcción nacional.

#### Actividades económicas fueguinas navales

Como corresponde a una isla, ubicada en un mar con gran riqueza gasífera e ictícola, la actividad económica hidrocarburífera offshore y de la pesca debería ser de enorme relevancia para el desarrollo. Sin embargo, a pesar de que en los últimos años estas actividades han tenido creciente importancia aún está muy lejos de aportar lo que corresponde a la economía fueguina y al desarrollo nacional. Es un hecho que las explotaciones de recursos ictícolas e hidrocarburíferos en aguas muy cercanas a TdF, aportan muy poco al desarrollo nacional y de la provincia y eso no está bien. Hay demasiados casos que demuestran que las regalías e impuestos que dejan estas actividades difícilmente se ven reflejadas en el desarrollo.

Otra actividad naval propia de TdF es la relacionada con el turismo de cruceros que tiene al menos 4 segmentos según su tamaño. El de los mega cruceros, el de los cruceros antárticos medianos, el de los cruceros menores por los canales fueguinos y finalmente el de más pequeños catamaranes de turismo que operan en Ushuaia. Lamentablemente TdF no aprovecha el gigantesco potencial de este mercado en marcado crecimiento.

Entre los casos analizados en este estudio, se consideran justamente dos de los sectores mencionados -la pesca y el turismo- en sus segmentos de menor tamaño, lanchas centolleras y catamaranes de turismo.

## Actividad logística polar antártica

En TdF está el puerto natural más cercano a la Antártida. Esa colosal fortaleza existe hace millones de años pero nunca se le ha dado la importancia que tiene. En las últimas décadas, esa fortaleza se ha convertido en una gigantesca oportunidad de desarrollo tanto geopolítico como económico. Pero esa capacidad de ser el portal de entrada al continente más promisorio del planeta se viene desaprovechando en forma sistemática año tras año. Poco y nada se ha hecho al respecto.

Una de las formas de convertir esa oportunidad en desarrollo es a través de la logística antártica con buques polares propios y servicios a buques logísticos polares extranjeros.

En Argentina, la encargada de operar la logística antártica es la Armada. En los últimos años se le ha hundido un magnífico buque logístico construido en un astillero argentino y se le ha incendiado hasta casi su destrucción total, un moderno rompehielos. Sin entrar en detalles de las razones de tan inaceptables casos, la realidad es que tras un excesivo plazo y un colosal presupuesto se reparó /modernizó el rompehielos y la Armada planea comprar un nuevo buque polar. Lamentablemente, como en la reciente e inconveniente compra de patrulleros de alta mar en Francia, en este caso, altos oficiales orientan en exceso sus preferencias personales a comprar estos barcos también en el exterior, despreciando a la capacidad industrial nacional. De hecho ya se han girado al exterior multimillonarios recursos para avances de ingeniería que podría haberse desarrollado localmente.

Entre los casos analizados en este estudio, se considera justamente el de un buque logístico polar sustentable que podía utilizar combustibles fueguinos y está basado en un desarrollo nacional que fue premiado a nivel internacional. Eso permitiría reemplazar la insólita preferencia de nuestra Armada que se orienta a un buque contaminante y mucho más caro, del exterior.

## Infraestructura portuaria fueguina

Es obvio que una isla debe tener puertos y que además de ser varios, según la zona y servicio, deben ser eficientes para los diferentes tipos de requerimientos: contenedores, turistas, pesca, combustible, logística antártica. Y además necesita ofrecer una gran variedad de servicios como ser terminales cómodas, reparaciones navales, plazoletas adecuadas, embarcaciones de servicio portuario, etc.

Contra toda lógica, la oferta portuaria fueguina es de las menos adecuadas que se pueden imaginar ya que cuenta con sólo un puerto, que pretende abarcar todos los requerimientos diversos mencionados, que además crecen en el tiempo. El resultado es que no presta ninguno de los servicios adecuadamente y lo hace con baja eficiencia económica y ambiental. Urge la construcción de otros puertos tanto en la cercanía de Rio Grande como en Ushuaia y también eficientizar la operación del actual puerto. Afortunadamente, al menos para las nuevas construcciones portuarias existen proyectos en diferente grado de avance.

Entre los casos analizados en este estudio, se consideran justamente dos tipos de barcos que apuntan a mejorar la actividad portuaria fueguina, mediante la suma de servicios de embarcaciones propias de puertos modernos y seguros del mundo actual.

## **8.2 IDENTIFICACIÓN DE OPORTUNIDADES NAVALES FUEGUINAS PARA USAR H<sub>2</sub>**

Se analizaron diversas opciones de embarcaciones que podrían ser candidatas a proponerse como piloto de embarcación fueguina a H<sub>2</sub>V

Entre los criterios para estas opciones se consideró la existencia de algún nivel de demanda actual o potencial de este tipo de embarcaciones y su adaptabilidad al uso del H<sub>2</sub>.

A este aspecto de la adaptabilidad al uso del H<sub>2</sub>, se le sumo un criterio adicional que es el de progresividad del uso del H<sub>2</sub>, que resultó ser un aspecto de gran importancia para buscar soluciones realistas. Es que no es esperable que el uso del H<sub>2</sub> naval sea sustentable económicamente en la actualidad. Pero tampoco tiene sentido quedarnos de brazos cruzados, sin hacer nada, hasta que la sustentabilidad económica ocurra. Debemos activar la transición hacia el H<sub>2</sub>, y este criterio del “uso progresivo” resultó fundamental en este estudio.

Entre las muchas opciones consideradas finalmente se eligieron las siguientes siete alternativas que se presentan a continuación y que se comparan más adelante.

- Lancha Centollera
- Catamarán de Turismo
- Embarcación de Servicios Portuarios

- Embarcación Usina y de *Bunkering*
- *Ferry Boat / RoRo*
- Buque Portacontenedor
- Buque Polar

Nota: Todas las imágenes que siguen fueron extraídas de internet y son exclusivamente descriptivas del tipo general de embarcación.

### Lancha Centollera

Son las embarcaciones de menor tamaño de TdF que operan principalmente desde Puerto Almanza con salidas por el día o a lo sumo por un par de días y tienen muy bajo consumo de combustible por el tipo de actividad que realizan.

Son una atracción para los turistas que llegan a Almanza, un puerto muy pequeño a poco más de 1 hora de Ushuaia y reconocido como la capital de la centolla fueguina.

El uso parcial de H<sub>2</sub> sería complicado x su limitado espacio disponible aunque tienen la ventaja de requerir poco volumen dado su bajo consumo. El uso creciente progresivo de H<sub>2</sub> no sería posible

El valor actual de una lancha nueva de este tipo debe estar en el orden de apenas 0,3 millones de dólares (MMU\$) por lo que una solución de uso de H<sub>2</sub> tomaría un porcentaje muy alto de la inversión.

Por otro lado, los pescadores no tienen ningún incentivo para migrar al H<sub>2</sub> y la duda del abastecimiento asegurado jugaría en contra, de la misma forma que el mayor CAPEX y OPEX requerido.



### Catamarán de Turismo

Son las embarcaciones medianas más típicas del puerto de Ushuaia y operan con un par de salidas turísticas diarias y por un par de horas cada una.

Tienen bajo consumo de combustible y algo de espacio disponible por lo cual el uso parcial de H2 sería posible aunque no ideal.

Son una gran atracción para los turistas que en su mayoría toman esa excursión.

El valor actual de un catamarán medio de este tipo debe estar en el orden de 2 MMUSD por lo que el mayor costo de incorporar equipos de H2 resulta en una inversión porcentualmente alta porque no es muy ventajoso. Además el uso creciente progresivo no sería posible.

Actualmente, la motivación para el H2V sería sólo de cierto marketing ambiental para diferenciarse de la competencia, que en realidad mayoritariamente deciden por precio y recorrido.

Los operadores turísticos no tendrían mayor incentivo para migrar al H2 y la duda del abastecimiento asegurado sería un gran impedimento para su adopción, de la misma forma que el mayor CAPEX y OPEX.



### Embarcaciones de Servicios Portuarios

Son embarcaciones portuarias medianas, típicas de puertos desarrollados. Suelen brindar diferentes servicios como ser el de lucha contra incendio o respuesta ante derrames de petróleo en el mar.

El puerto de Ushuaia no cuenta con tales embarcaciones y si considerara incorporar alguna sería interesante que utilice H<sub>2</sub>, ya que sería una forma de ayudar a posicionar a Ushuaia como puerto y destino ambientalmente responsable.

Estas embarcaciones tienen consumo bajo de combustible y alta frecuencia de carga por su cercanía a puerto, lo que es una buena combinación para facilitar la adopción del H<sub>2</sub> cuyo uso progresivo sería muy difícil.

El valor actual de este tipo de embarcación en su versión media/baja puede estar en el orden de los 7 MMUSD por lo que el impacto porcentual de la incorporación de equipos de H<sub>2</sub> es relativamente alto.

Actualmente, la motivación para el H<sub>2</sub> sería sólo de marketing ambiental del Puerto de Ushuaia.



### Barcaza Usina / Bunkering

Son embarcaciones que entregan combustible limpio y/o energía verde a los barcos en puerto para que puedan apagar total o parcialmente sus generadores y recarguen sus tanques de combustible limpio desde el mar, liberando así el uso del muelle.

Serían ideales para Ushuaia si se quisiera dar un servicio verde diferencial y de alto impacto, por ejemplo, a los cruceros.

El valor de este tipo de embarcación depende de la capacidad y de la potencia eléctrica a suministrar.

Existe un proyecto de suministro eléctrico x H2 en Francia para empezar en 2025

<https://maritime-executive.com/article/hydrogen-power-fuel-cell-barge-to-provide-shore-power-for-ships>

Además, Hay varios sistemas de bunkering de GNL y uno de H2:

<https://h2businessnews.com/comienza-el-bunkering-de-hidrogeno-el-primer-buque-marino-se-abastece-de-combustible/>



### Ferry Boay / RoRo

Son los tipos de embarcaciones necesarias para solucionar la logística fueguina conectando Sta. Cruz y TdF sin tener que pasar por Chile.

Son el tipo de embarcaciones ideales para el uso del H2 en forma parcial o total por su alta frecuencia de entrada a puerto.

El primer *ferry boat* a H2 está en Noruega y con 82m mueve 300 *pax* y 30 autos a 9 nudos con *fuel cells* 2x200 kW y generadores 2x440 kW

Tiene la ventaja de que es un proyecto idealmente financiable por el FAMP - Fondo de Ampliación de la Matriz Productiva- de TdF y eventualmente su propiedad/ operación podría ser público-privada.

<https://trends.nauticexpo.es/project-333987.html>



## Portacontenedores

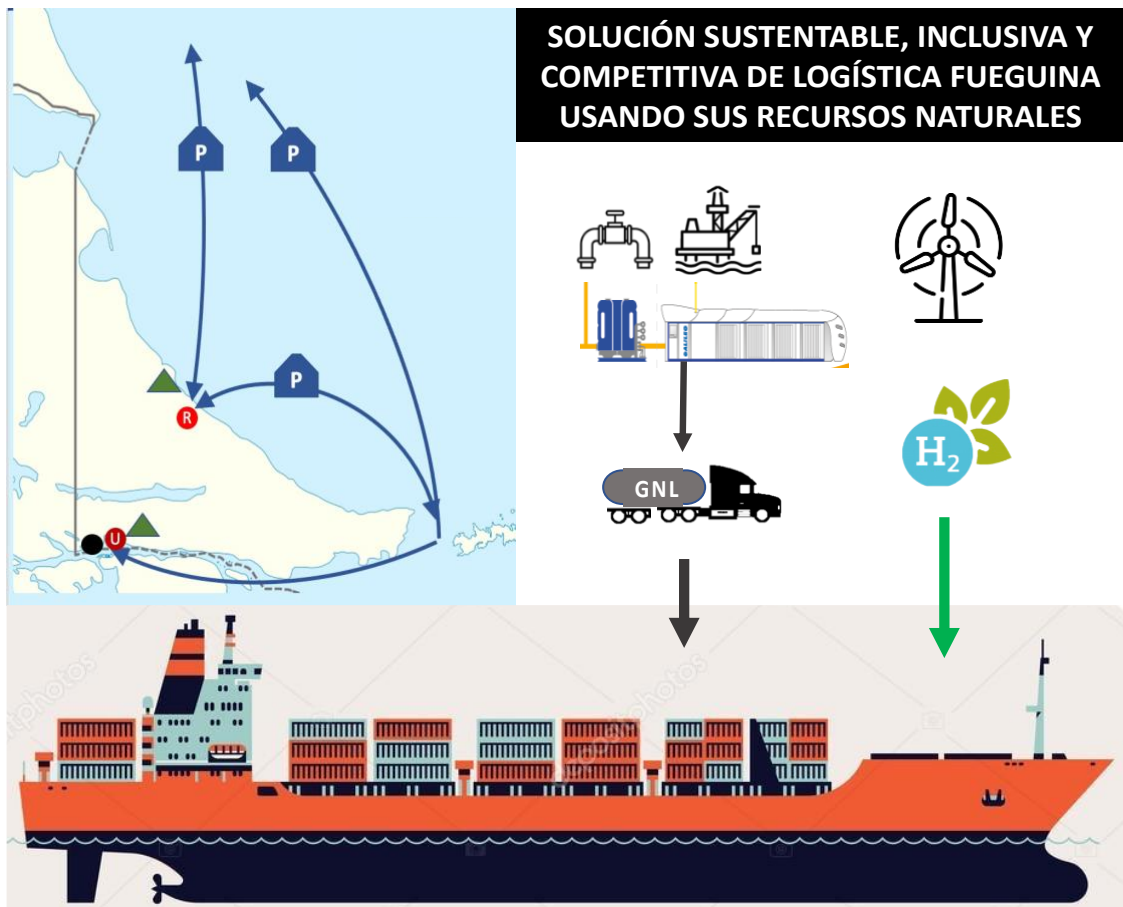
Son barcos de dimensión relativamente alta. Los que serían más adecuados para el caso fueguino serían de 120m de eslora, unos 18m de manga y con capacidad para llevar unos 650 TEU incluyendo una cantidad de tipo *reefer*.

Podrían financiarse con el FAMP -Fondo de Ampliación de la Matriz Productiva de TdF- y reemplazaría una parte substancial del transporte terrestre aumentando la competitividad económica, ambiental y social de la logística fueguina.

Se proponen barcos de diseño y construcción nacional propulsados a GNL fueguino (mayoritariamente al inicio) y sumando, desde el inicio, H2 fueguino en proporciones crecientes a lo largo de ellos años.

El valor del proyecto en base a GNL es del orden de 30 MMUSd/u y se estima que se requerirá una decena de estos buques para tomar la mayor porción de las cargas fueguinas. Esto permite que la incorporación del

equipamiento y uso de H2 no impacte sensiblemente en las inversiones ni en los costos operativos.



### Buque Logístico Antártico

La posición de TdF en relación a la Antártida constituye a sus puertos (Ushuaia hoy y Rio Grande a futuro) como los portales operativos ideales de la logística antártica.

Ésta se realiza con barcos polares, relativamente grandes, que habitualmente son de las Armadas de los países con bases antárticas. Son barcos ideales para utilizar combustibles fueguinos como el GNL y el H2V (en forma parcial, al principio).

Argentina planea el reemplazo del buque polar que se hundió hace algunos años.

La ARA desestimó un proyecto local y sustentable que ganó premios internacionales e inexplicablemente avanza con un proyecto mucho más caro, de un astillero del exterior, para construir un buque antártico contaminante.

Se podría reorientar esa extraña preferencia nacional a una solución local basada en el uso de GNL + H2 fueguino.



### 8.3 COMPARATIVA DE LAS ALTERNATIVAS CONSIDERADAS

A continuación se realizan varios análisis comparativos de las siete embarcaciones consideradas precedentemente.

Esta comparativa se realiza a la luz de los siguientes seis criterios.

#### - NIVEL DE PRECIO

- Un alto precio de la embarcación facilita la introducción, aunque sea parcial, de los costosos equipos de H2. Por eso, bajo este

criterio, las embarcaciones más costosas serían las más beneficiadas en esta comparativa.

- DECISIÓN ESTATAL / PRIVADA

- La participación del Estado en la decisión de implementación es clave ya que se supone que desde el estado, se deben promover este tipo de iniciativas que ayudan al desarrollo futuro, lo que no es esperable necesariamente que ocurra desde el sector privado.

Por eso, cuando en la decisión está presente el Estado, las chances de para el éxito del proyecto naval a H2 aumentan.

- REPLICABILIDAD

- Se valora en mayor medida cuando se trata de casos con mayores oportunidades de ser replicados en otras embarcaciones iguales o similares en el futuro cercano.

- FACILIDAD DE INCORPORACION PARCIAL

- Como se mencionó inicialmente no es realista esperar en corto plazo que progrese un proyecto naval que dependa exclusivamente del H2 por razón de que la embarcación sería mucho más cara de construir y de operar que sus alternativas.

Por esa razón se ha valorado fuertemente la capacidad de incorporar parcialmente el uso del H2 desde el inicio y con la posibilidad de aumentar a futuro hasta ser el combustible principal a bordo.

- DISPONIBILIDAD DE FONDOS

- Si duda que, a nivel global, el financiamiento naval es una clave para que el proyecto se desarrolle. Esto es particularmente cierto en la Argentina donde se nota con claridad la correlación entre el

desarrollo naval nacional y la disponibilidad de sistemas de financiamiento específico y adecuado.

Para nuestro caso habría dos fuentes de financiamiento ideales:

- FONDEF -Fondo de Desarrollo para Defensa- que podría financiar el buque polar propuesto. Uno de los problemas es que, si bien se supone que fue creado para apoyar a la industria nacional, la realidad es que sus recursos ya estarían comprometidos por varias décadas para cubrir las compras ya realizadas en estos años en el exterior. Por eso no es un recurso tan predecible.
- FAMP – Fondo de Ampliación de la Matriz Productiva- surge de un 15% del IVA que las empresas fueguinas se ahorran por la Ley de Promoción Industrial. Este fondo sería ideal para varios de los casos analizados.

#### - DEMANDA EFECTIVA

- Este criterio atiende un aspecto fundamental que es la existencia de una demanda real y efectiva de la embarcación en cuestión.

A continuación se desarrollan una serie de análisis que combinan los criterios aquí expresados, mostrando en cada caso la posición relativa de las embarcaciones consideradas dentro de un mapa que las relaciona dentro de estos seis criterios de a dos por vez.

En los gráficos se muestran en negro, los casos de las embarcaciones sin participación estatal y en azul aquellas que exclusivamente estatales. Los que están en una situación intermedia son marcados con ambos colores.

En este primer análisis el **Precio** se refiere a la inversión inicial y la **Decisión** se valora según el grado de participación del Estado y la empresa privada.

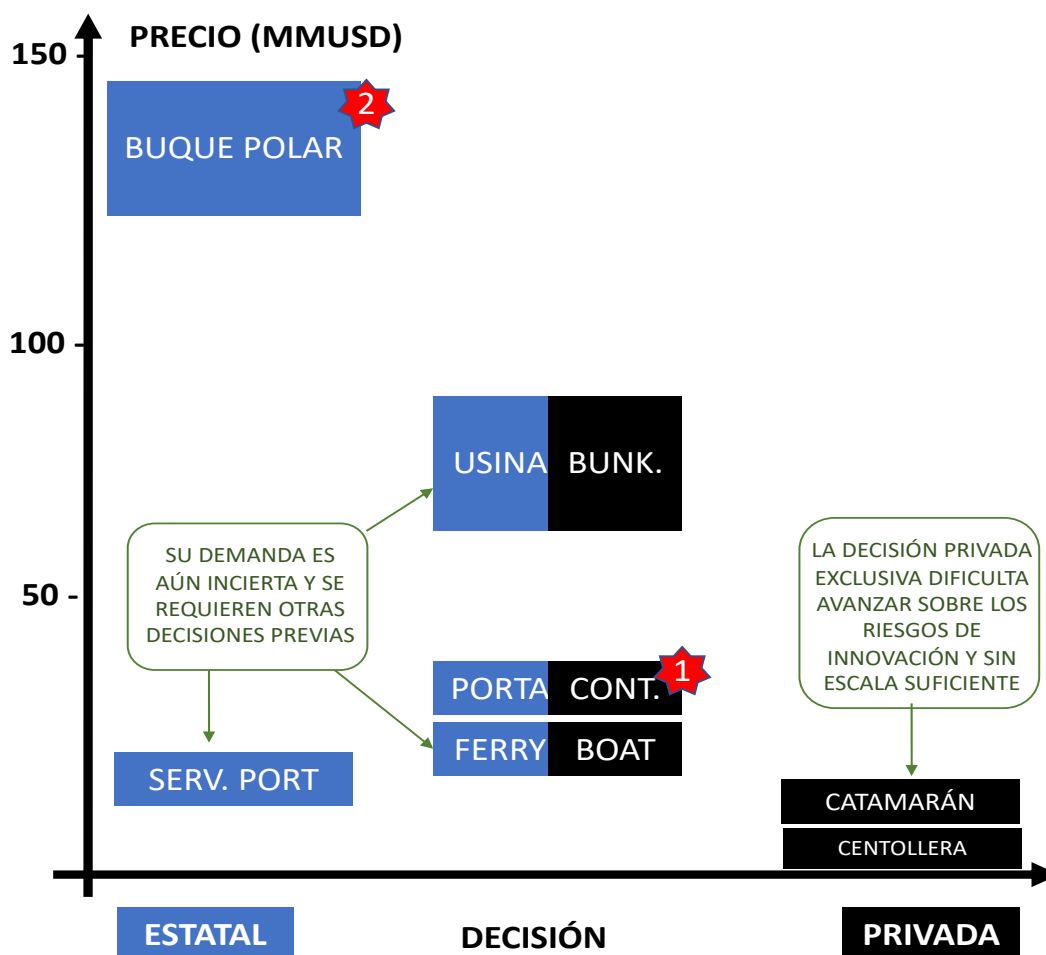
Los casos extremos (Polar y Portuario versus Centollera y Catamarán) son obvios en la valoración de estos criterios, y los tres intermedios se refieren

a que son barcos que cumplen los criterios de financiamiento del FAMP – Fondo de Ampliación de la Matriz Productiva TdF.

El rol estatal en la decisión es clave para romper la inercia natural contra el cambio. Pero la participación privada es la que aporta elementos necesarios para el eventual éxito comercial, que ayudaría mucho a que sea un proyecto realizable primero y replicable después.

El **Buque Polar** parecería ideal por tratarse de una inversión puramente estatal y muy alta con lo que debería ser más fácil de aceptarse ciertas inversiones “extras” como es el caso de sistemas a H2.

El **Portacontenedores** es muy interesante también pues, con una inversión media, suma la fortaleza de la gestión privada al financiamiento público asociado a la utilización de un recurso natural local que ayuda al desarrollo fueguino mientras soluciona su acuciante problema logístico.



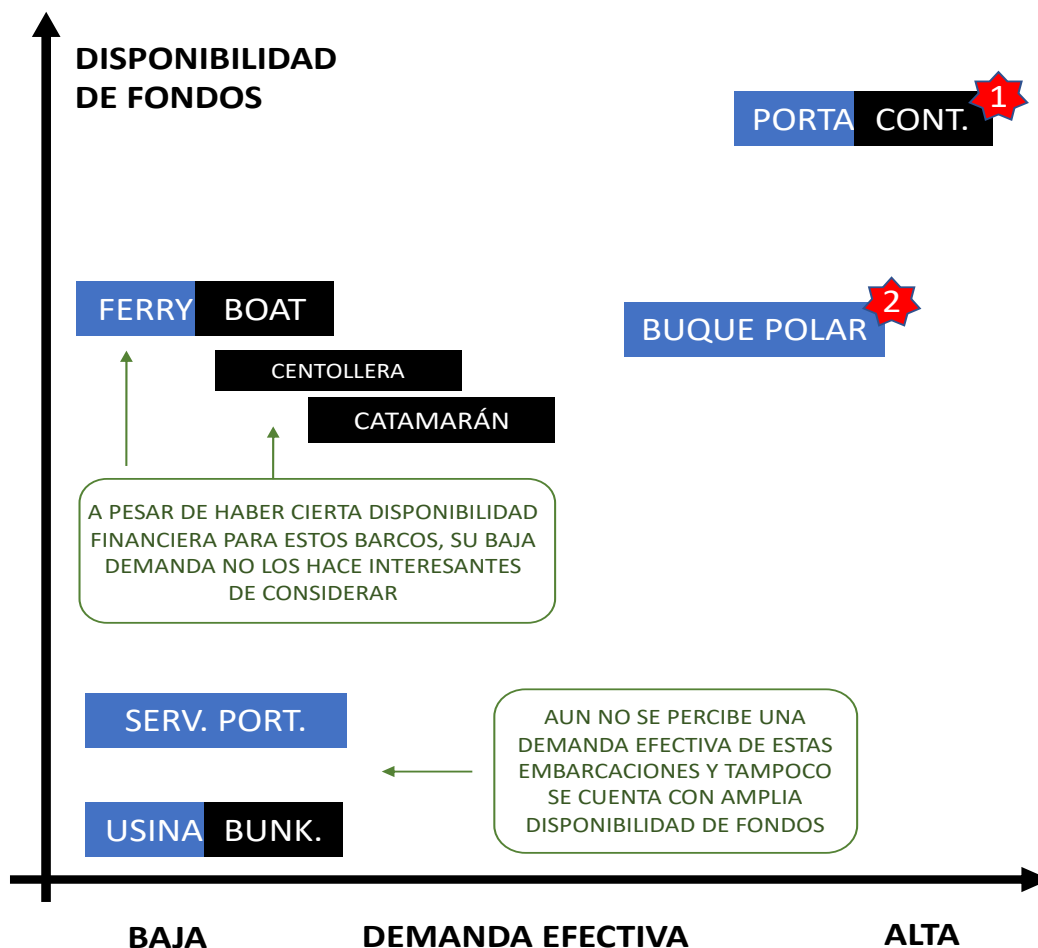
En este segundo análisis la **Disponibilidad de Fondos** se refiere a la capacidad de que estos proyectos sean financiables incluyendo los sistemas de H2. Esto es fundamental ya que generalmente este tipo de proyectos, a pesar

de sus beneficios futuros, no llegan a lanzarse por la habitual dificultad de financiamiento.

La **Demanda Efectiva** plantea la diferencia entre lo que se supone a que en TdF se debería necesitar y lo que efectivamente se está demandando actualmente. Esto es muy importante ya que este tipo de proyectos requiere de agentes promotores muy activos e interesados de que ocurran realmente y cuanto antes.

El **Buque Polar** tiene demanda efectiva bastante alta, basada en los planes de la logística antártica nacional, lo que genera que oficiales de la ARA sean activos promotores junto al astillero extranjero que lógicamente aspira a su construcción, aunque sea contra de intereses nacionales. Su financiamiento obtendría recursos del FONDEF (Fondo para la Defensa) que toma un % del presupuesto nacional.

El **Portacontenedores**, por su lado, tiene alta demanda por la presión de reducir los altos costos económicos y ambientales de la logística fueguina y sería idealmente financiables mediante el FAMP (Fondo de Ampliación de Matriz Productiva TdF).

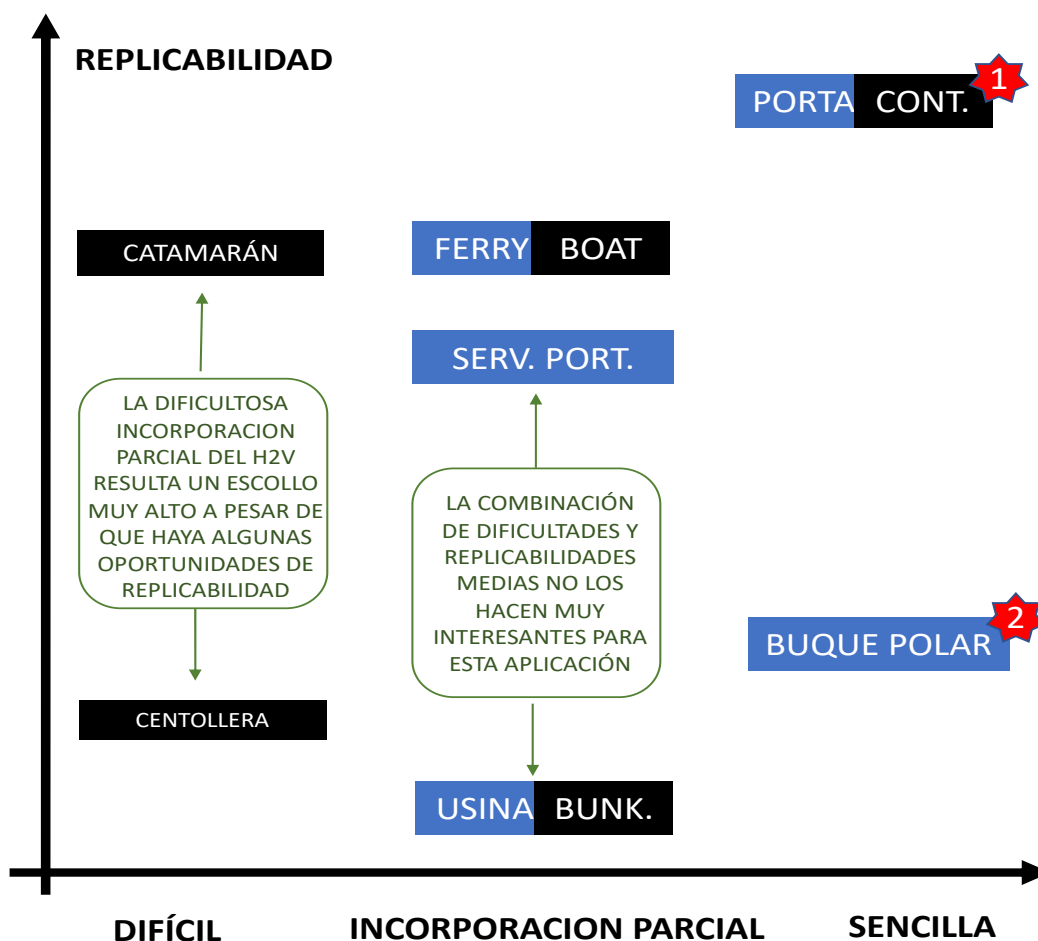


En este tercer análisis, la **Replicabilidad** se refiere a la capacidad de que el éxito y/o aprendizaje de esta aplicación impacte positivamente en la generación de otros proyectos similares.

Por su lado, la **Incorporación Parcial** se refiere a la facilidad relativa de incorporar en forma natural el uso del Hidrógeno Verde a bordo, sin generar mayores problemas de diseño ni en la operación. Éste es un criterio que mira con realismo la capacidad de que el H2 vaya ganándose un lugar a bordo sin forzar excesivamente el ritmo de su incorporación.

El **Buque Polar** permite idealmente las incorporaciones parciales por contarse con una sala de máquinas amplia y la esperanza de contar con una actitud colaborativa para el desarrollo por parte de los funcionarios militares. La replicabilidad es baja ya que la cantidad de buques de este tipo es limitada. Sin embargo puede ofrecer una buena base de aprendizaje para otras aplicaciones

El **Portacontenedores** es altamente replicable tanto para la ampliación de flota para la logística fueguina (10 u) como para usos en otros mercados. La incorporación parcial puede pautarse al ritmo que impacte en la competitividad económica y ambiental de su servicio.



Para explicar mejor su importancia y ver en acción el criterio de la capacidad de **Incorporación Parcial**, se hacen las siguientes consideraciones.

En el gráfico superior de la página siguiente se proyecta la evolución esperada del costo del combustible naval por unidad energética (Usd/MMBTU) en nuestro país, y se observa que sería esperable que:

- El **MGO** (Marine Gas Oil) aumente su valor a futuro desde un valor actual del orden de 20 Usd/MMBTU por razón del castigo a los combustibles fósiles por parte de la Economía el Carbono.
- El **GNL** (Gas Natural Licuado) mantenga un valor estable a futuro desde un valor inicial bajo de 15 Usd/MMBTU
- El **H2V** (Hidrógeno Verde) reduzca drásticamente su costo en los próximos años alcanzando al MGO para el año 2030 y al GNL algo más tarde. Todo esto si se realizan las inversiones necesarias para alcanzar los volúmenes mínimos previstos, como se puede prever que ocurrirá por la creciente demanda externa.

Siguiendo criterios puramente económicos sería esperable que, según se indica en el segundo gráfico de la página siguiente, a partir del punto A el combustible a bordo sea sólo H2V.

Pero para que esto sea posible sin generar extra costos, desde el diseño conceptual de la embarcación debe incluirse esta posibilidad de transición, conocida como *“future ready”*.

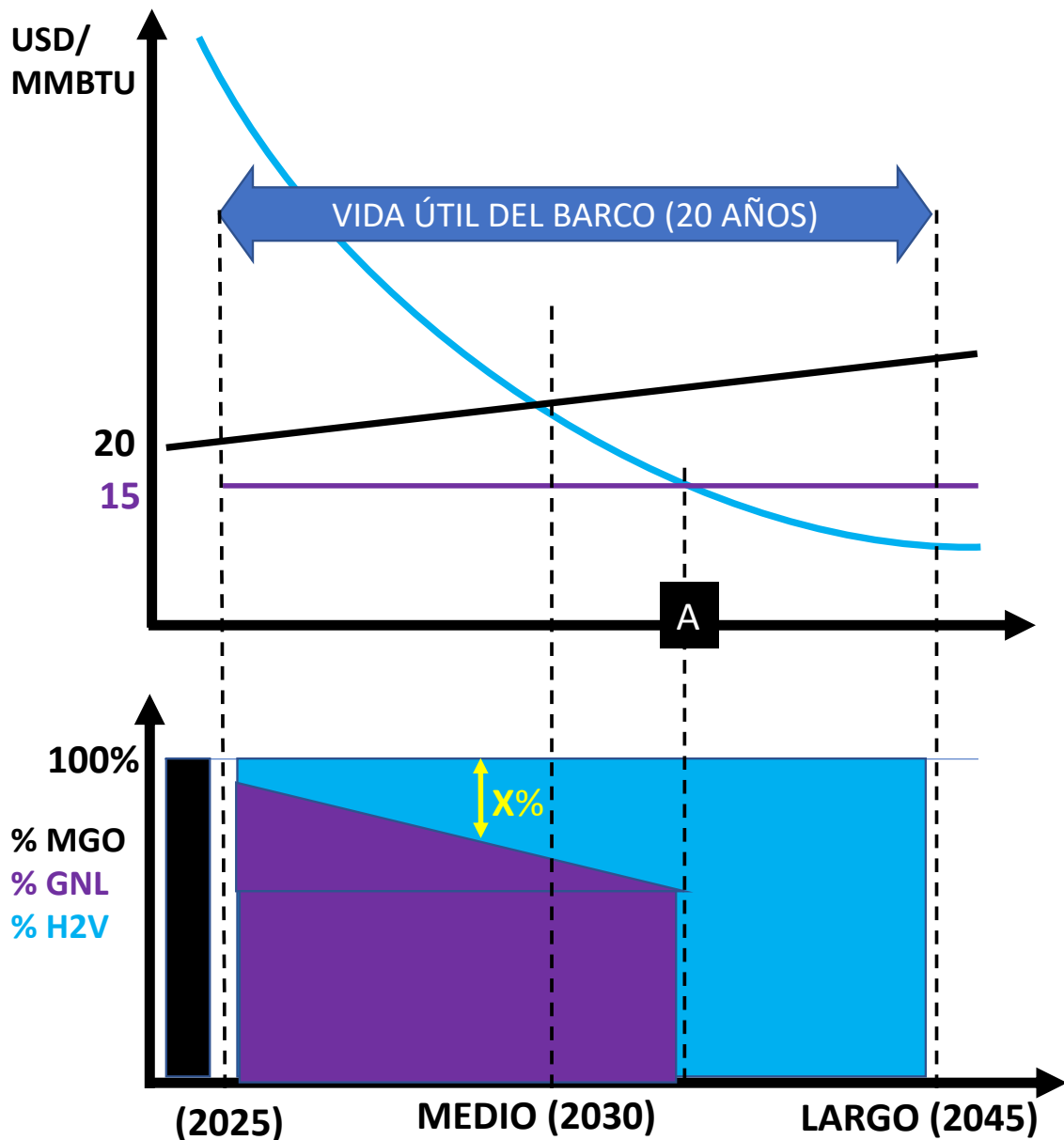
Es clave que el porcentaje de uso de H2, indicado como %X, pueda ir aumentando progresivamente hasta alcanzar el 100% a partir del punto A.

Para que esto ocurra sin afectar la rentabilidad operativa es clave encontrar sistemas concesionales que ayuden y aceleren esta transición. Entre ellos, pueden estar los incentivos financieros que permitan el acceso a fondos nacionales determinados (FAMP o FONDEF x ejemplo).

Otros esquemas alternativos deberían pensarse desde el <Estado si es que se desea que esta transición energética hacia el H2 sea una realidad cercana en el tiempo.

Entre esos otros incentivos podrían estar los siguientes:

- un valor mínimo del asegurado por tonCO2 evitado,
- sistemas que reconozcan la reducción de la Huella de Carbono generada en las cargas fideguinas o en la logística antártica.



## 8.4 SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS MÁS CONVENIENTES

Para realizar la selección entre las alternativas consideradas y ya detalladas anteriormente se han tenido en cuenta los seis criterios analizados previamente y se han sumado un par más, que son los siguientes:

- La Capacidad Nacional de la construcción naval
  - o Sólo se refiere a la facilidad relativa ya que la industria naval nacional cuenta con capacidades suficientes para encarar cualquiera de las embarcaciones considerada, pero con diferentes niveles de competitividad.
  
- El Plazo de Entrega
  - o Se refiere a la velocidad relativa de entrega de estas embarcaciones, lo que es una muestra de la facilidad de construcción y la capacidad de replicarse a futuro.

Seguidamente, basado en el conocimiento propio del equipo consultor se han asignado valoraciones a los ocho criterios y a las siete alternativas:

- A cada criterio se les ha asignado un factor de peso relativo entre ellos (*weighting factor*) que determina la importancia relativa entre ellos para calificar estas alternativas.  
El puntaje varía de 10 a cero, siendo el mayor puntaje, el criterio más importante (con mayor peso).
- A cada alternativa se le asignado un valor dentro de cada criterio, usando también el puntaje 0 a 10, correspondiendo el mayor puntaje a la mayor valoración dentro de un mismo criterio.

La siguiente tabla resume estas valoraciones y en rojo se presentan los resultados totales obtenidos de la suma ponderada obtenida de los valores de cada alternativa multiplicada por el factor de peso correspondiente.

VALORACIÓN X CRITERIO DE C/ EMBARCACIÓN	CRITERIOS DE SELECCIÓN Y SU PESO RELATIVO							RESULTADO DE VALORACIÓN RELATIVA	
	3	5	6	8	9	10	8		8
	PRECIO	FACILIDAD DE DECISIÓN	REPLICA- BILIDAD	INCORPORAC. PARCIAL H2	DISPONIBILIDAD DE FONDOS	DEMANDA EFECTIVA	CAP. LOCAL DE DIS +CONSTRUC		PLAZO DE ENTREGA
lancha centollera	1	1	2	1	3	2	10	10	235
catamaran de turismo	2	2	8	2	4	3	10	9	298
embarcación portuaria	3	5	6	3	7	1	9	8	303
barcaza usina /bunkering	7	6	2	4	7	1	3	3	216
ferry boat TDF- STA CZ	4	7	8	5	7	3	5	6	316
containership	5	10	10	9	10	9	6	7	481
buque polar	10	7	2	10	8	7	4	2	347

El siguiente gráfico de barras muestra claramente las alternativas ganadoras, y las siguientes en el orden indicado.



## La segunda mejor alternativa: el buque polar

El buque polar, resultante de como segunda alternativa, requiere una inversión relativamente alta (>150 MMUsd) y se basa en un diseño nacional de muy bajas emisiones que ya ganó premios internacionales. Además su construcción sería nacional.

Si bien algunos influyentes oficiales de la Armada prefieren a un astillero extranjero en contra del interés nacional, esto podría revertirse con este proyecto.

De allí, podría surgir por ejemplo, el uso de GNL más H2V en proporciones crecientes en el tiempo.

El financiamiento de este proyecto podría venir de los fondos públicos previstos del FONDEF que utiliza un % del presupuesto nacional.

Comparativamente con el buque portacontenedores se prevén mayores dificultades para llevar adelante este proyecto.

Esto se debe a los siguientes aspectos:

- la preferencia de un buque extranjero y contaminante por parte de la Armada.
- la dependencia del financiamiento de fondos nacionales FONDEF, que ya están ampliamente comprometidos para cubrir los pagos de otras excesivas compras externas realizadas y a punto de realizarse.
- los recursos para el FONDEF provienen de un % del presupuesto nacional, que en los próximos años estarán seriamente comprometidos por la crítica situación financiera nacional.



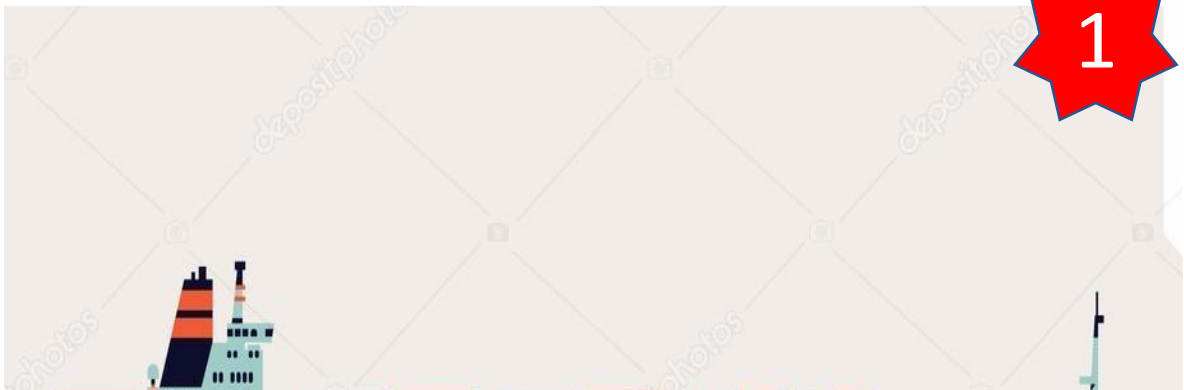
## La mejor alternativa: el buque portacontenedores

Este buque de 650 TEU de capacidad requiere una inversión privada media/baja (30 MMU\$) y su diseño y construcción pueden hacerse rápida y competitivamente en la Argentina, en un plazo relativamente corto (2 años) teniendo prácticamente asegurado su financiamiento vía los fondos del FAMP que en realidad son si bien son fondos públicos tienen un esquema particular de aplicación privada, ideal para este caso.

Éste sería el prototipo de una serie que conformaría una flota mayor (10 u) necesaria para reducir drásticamente el costo logístico de TdF, aumentando su competitividad y bajando las muertes ocasionadas en el transporte terrestre y las emisiones de CO<sub>2</sub>, reduciendo así la Huella de Carbono de las cargas fueguinas, lo que aumenta su valor de mercado.

Inicialmente este barco utilizará principalmente GNL producido en TdF y un parcial de H<sub>2</sub>, el cual aumentará progresivamente en la medida que la tecnología y la producción reduzcan sus costos a niveles competitivos.

Su replicabilidad para TdF es muy alta pero también debería cubrir el tráfico del resto de la Patagonia marítima (Santa Cruz y Chubut) y sería además un muy buen caso replicable a nivel internacional ya que éste es un tipo de barco muy utilizado entre puertos cercanos en lo que se conoce como el servicio *feeder*.



## 9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Tras los tres estudios pormenorizados que se ha presentado, se concluye que convendría avanzar con el diseño del buque portacontenedor como piloto de embarcación fueguina a Hidrógeno.

Si bien, por los estudios presentados en los capítulos anteriores parecería que el Metanol tendría las mayores chances de ser el *carrier* más adecuado para el H<sub>2</sub>, no sería correcto adelantar aún una decisión al respecto.

La elección entre el H<sub>2</sub> comprimido gaseoso, el H<sub>2</sub> licuado, el Amoníaco y el Metanol corresponde hacerse en una etapa más avanzada del proyecto.

Lo mismo aplica a la definición del tipo de sistema de conversión energética, ya sea utilizando motores de combustión interna o pilas de combustibles.

La recomendación final es avanzar con el caso del portacontenedor siguiendo las siguientes etapas:

- Desarrollo Conceptual (2 meses)
  - Ingeniería conceptual
  - Análisis de impacto económico, ambiental y social
  - Estimación presupuestaria y de plazos constructivos
  - Desarrollo de esquema de financiamiento vía FAMP
  
- Desarrollo de Anteproyecto (3 meses)
  - Ingeniería de Anteproyecto
  - Definiciones de equipos principales
  - Cotizaciones en firme
  - Borradores de Contratos con FAMP, Astillero constructor y Armador

- Desarrollo Final (3 a 8 meses solapadas con el proceso de construcción)
  - o Ingeniería final y detalles constructivos
  - o Contrataciones con Astilleros, FAMP, Armador
  - o Definición del esquema de monitoreo
  
- Construcción naval (16 meses)
  
- Operación del Prototipo
  
- Construcción y Operación de la flota

De esta forma, en unos 24 meses desde el lanzamiento de la próxima etapa podría estar en operación la embarcación piloto fueguina a Hidrógeno.