



**Universidad
de La Laguna**

ESCUELA DE DOCTORADO Y ESTUDIOS DE POSGRADO

“Propulsión Ecológica para el Transporte Marítimo del Siglo XXI”

Trabajo Fin de Máster

Grado en Náutica y Transporte Marítimo
Enero de 2024

Autor:

Francisco Javier Luis Pérez
78.612.885 N

Tutor/a:

Prof. Dr. Alejandro Gómez Correa

Escuela Politécnica Superior de Ingeniería

Sección Náutica, Máquinas y Radioelectrónica Naval

Universidad de La Laguna; Escuela de Doctorado y Estudios de Posgrado

D/D^a. Alejandro Gómez Correa, Profesor de la UD de Ciencias y Técnicas de la Navegación, perteneciente al Departamento de Ingeniería Agraria, Náutica, Civil y Marítima de la Universidad de La Laguna:

Expone que:

D. **Francisco Javier Luís Pérez** con **DNI 78612885N**, ha realizado bajo mi dirección el trabajo fin de máster titulado: **“Propulsión Ecológica para el Transporte Marítimo del Siglo XXI”**.

Revisado dicho trabajo, estimo reúne los requisitos para ser juzgado por el tribunal que sea designado para su lectura.

Para que conste y surta los efectos oportunos, expido y firmo el presente documento.

En Santa Cruz de Tenerife a 10 de Enero de 2024.

Fdo.: D. Alejandro Gómez Correa.

Tutor/a del trabajo.

Luis Pérez, F.J. (2024). *"Propulsión Ecológica para el Transporte Marítimo del Siglo XXI"*. Trabajo de Fin de Máster. Universidad de La Laguna.

RESUMEN

El planeta se encuentra actualmente en una situación climática muy delicada, afectando principalmente al frágil equilibrio de sus ecosistemas. El cambio que lleva produciéndose desde hace décadas, se proyecta en diferentes estratos de la sociedad, siendo la población desfavorecida una de las partes más perjudicadas. Se hace evidente, la necesidad de poner en valor la tecnología creada por el ser humano, para intentar revertir en la medida de lo posible, los efectos adversos derivados de la contaminación que produce la humanidad en el día a día.

El presente estudio, busca profundizar en los instrumentos de los que dispone el sector marítimo, a corto, medio y largo plazo; para poder paliar las emisiones contaminantes de la flota de buques mercantes. La metodología utilizada en el análisis de los avances tecnológicos que actualmente están en desarrollo, se basa fundamentalmente en la incorporación de complementos eólicos a bordo de los buques y en el desarrollo de combustibles basados en procesos sostenibles para la obtención de los mismos, consiguiendo producir cero emisiones.

Se concluye que dicha tecnología, ya existente y probada en diferentes buques, deben ser los pilares de un transporte marítimo más limpio, que se integre además, en otras industrias, para llevar a cabo la tan necesaria reducción de emisiones de gases contaminantes a la atmósfera.

Palabras claves: [Gases contaminantes, procesos sostenibles, transporte marítimo, metanol, reducción de emisiones].

Luis Pérez, F.J. (2024). *"Propulsión Ecológica para el Transporte Marítimo del Siglo XXI"*. Trabajo de Fin de Máster. Universidad de La Laguna.

ABSTRACT

The planet is currently in a very delicate climatic situation, affecting mainly the fragile balance of its ecosystems. The change that has been taking place for decades, is projected in different strata of society, being the disadvantaged population one of the most affected. It becomes evident the need to value the technology created by the human being, to try to revert, as far as possible, the adverse effects derived from the pollution produced by mankind on a daily basis.

The present study seeks to deepen in the instruments available to the maritime sector, in the short, medium and long term, in order to alleviate the polluting emissions of the merchant ship fleet. The methodology used in the analysis of the technological advances that are currently under development is based mainly on the incorporation of wind power complements on board ships and on the development of fuels based on sustainable processes to obtain them, achieving zero emissions.

It is concluded that such technology, already existing and proven in different ships, should be the pillars of a cleaner maritime transport, which is also integrated in other industries, to carry out the much needed reduction of pollutant gas emissions into the atmosphere.

Keywords: [Polluting gases, sustainable processes, maritime transport, methanol, emission reduction].

AGRADECIMIENTOS

A todas aquellas personas que se preocupan por tener un planeta más limpio.

Índice del TFM

1. Introducción	4
2. Metodología	5
3. Impacto Medioambiental del Tráfico Marítimo	6
3.1 Sostenibilidad Medioambiental del Sector Marítimo	7
3.2. Alternativa a corto plazo.....	8
3.3 Alternativas a medio y largo plazo	9
4. Tecnología WindWings	10
4.1 Características Principales del Sistema de Velas Rígidas.....	12
4.2 Sistema de Propulsión Asistido por Viento (WAPS)	13
4.3 Compañías Asociadas al Proyecto	14
4.3.1 Cargill.....	14
4.3.2 Deltamarin.....	15
4.3.3 Yara Marine	15
4.3.4 Bergebulk.....	16
4.4 Proyecto CHEK (Carbonising sHipping by Enabling Key)	16
4.5 Certificación del Sistema.....	18
4.5.1 Sociedad de Clasificación “Det Norske Veritas” DNV.....	18
4.5.2 Estándar DNV–ST–0511	18
5. El Combustible del Futuro: Metanol Verde.	22
5.1 Diferentes tipos de metanol según su producción.	22
5.1.1 Metanol Marrón.....	22
5.1.2 Metanol Gris.....	23
5.1.3 Metanol Azul	23
5.1.4 Metanol Verde.....	23

5.2 Propiedades Químicas del Metanol	24
5.2.1 Manipulación del Elemento	25
5.3 Ventajas del Metanol Verde en el Ámbito Marítimo	26
5.4 Red de Suministro de Metanol en el Mundo	27
5.4.1 Disponibilidad de Metanol Verde	28
5.5 Naviera Maersk “All The Way to Zero”	29
5.5.1 Proyecto Maersk España	30
6. Conclusiones	31
7. Bibliografía	32

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1: Total de Emisiones Anuales de GEI.....	7
Ilustración 2: Tecnología WindWings	10
Ilustración 3: Vela Rígida	12
Ilustración 4: Sistemas de Propulsión Asistidos por Viento.....	14
Ilustración 5: Future-Proof Vessel.....	17
Ilustración 6: Central Producción e-metanol.....	24
Ilustración 7: Propiedades Químicas del Metanol	25
Ilustración 8: Red Mundial Metanol.....	27
Ilustración 9: Producción de Metanol.....	28

1. Introducción

¿Hay algún problema más transversal a la sociedad, que un cambio climático a gran escala?. Posiblemente, este sea el mayor reto al que se enfrenta la humanidad en las próximas décadas, aunque ya se padece de una manera evidente.

El enfoque debe ser global, en el que cada industria debe poner todo su esfuerzo en aportar soluciones viables para contrarrestar el calentamiento del planeta. Esta ha sido la principal motivación para profundizar en algunas de las herramientas que debería implementar el sector marítimo, reduciendo la contaminación generada por los buques mercantes. En este documento se profundizará sobre la tecnología que se desarrolla en la actualidad y la que está en proceso de estudio.

Sin lugar a dudas, después de las pruebas llevadas a cabo en los últimos años, el avance en la tecnología aplicable a los buques, constata que el cambio a un transporte marítimo más limpio, es posible. Con el suficiente apoyo gubernamental y la apuesta de las entidades privadas, combinado con las exigencias del consumidor, resultará la mezcla adecuada para que el transporte marítimo aporte su granito de arena para lograr un futuro más sostenible.

2. Metodología

En este trabajo de Final de Máster se ha decidido, teniendo en cuenta las particularidades del tema expuesto, realizar una metodología basada en la revisión bibliográfica. La investigación se ha realizado en un periodo comprendido desde el comienzo del curso académico hasta pocos días antes de su presentación. Se ha tenido que realizar un seguimiento semanal de la información de algunos de los capítulos, debido al rápido desarrollo que están sufriendo alguna de las tecnologías investigadas, obligando a su vez, a realizar múltiples consultas en diferentes de medios como paper, artículos, publicaciones en internet; para poder estar al día de los últimos adelantos acometidos en esta área.

En general, la búsqueda de la información se ha realizado en inglés, debido ha que la tecnología investigada se ha desarrollado a nivel internacional, teniendo como principales actores, países de la Unión Europea, Reino Unido y Asia. El contenido que se ha extraído de la red, se ha centrado en artículos que hablan principalmente de los problemas que afectan al planeta en cuestiones medioambientales, para posteriormente centrarse en la búsqueda de soluciones en el sector marítimo, desechando toda información que aunque ha sido investigada por diferentes estamentos públicos y privados, bajo el criterio del autor de este trabajo, no tienen los parámetros suficiente para poder ser una solución de futuro.

3. Impacto Medioambiental del Tráfico Marítimo

Cada año, el Comité de Protección del Medio Marino (MEPC), celebra varias reuniones en las que trata de poner sobre la mesa los diferentes temas que afectan al medio marino entre otros. Hay aspectos competenciales que dependen de la Organización Marítima Internacional (OMI), enmarcados dentro del Convenio MARPOL.

Dentro de este marco, se supervisan temas como el control y prevención de la contaminación de los buques, emisiones contaminantes a la atmósfera a través de los gases de efecto invernadero, gestión de agua de lastre, sistemas antiincrustantes, reciclaje en los buques, preparación y lucha contra la contaminación, identificación de zonas especiales y determinación de las zonas marinas especialmente sensibles.

En lo que a este estudio se refiere, se aludirá al periodo de sesiones octogésimo (MEPC 80), celebrado en Julio de 2023, en el que adoptando una terminología coloquial, “se ha querido pisar el acelerador”, en cuanto a la reducción de los Gases de Efecto Invernadero (GEI), con un horizonte marcado en el año 2050, con una motivación clara en el cumplimiento de los Acuerdos Climáticos de París 2015.

Los compromisos adoptados en 2018, se limitaban a la reducción de los Gases de Efecto Invernadero en un 50 % con respecto a los niveles de 2008. Actualmente, tras la revisión de estos parámetros, el nuevo objetivo está en la reducción de cero emisiones para 2050, con respecto a los niveles de 2008. De esta manera, el transporte marítimo se acercaría a las metas propuestas en París, teniendo como prioridad mantener las temperaturas del planeta por debajo de 1,5 grados centígrados de los niveles preindustriales.

En el siguiente gráfico, se muestran los objetivos a los que se hacía referencia anteriormente, señalando los hitos intermedios, tales como la reducción de los GEI en un 20 % para el año 2030 y de un 70 % para el año 2040 aproximadamente.

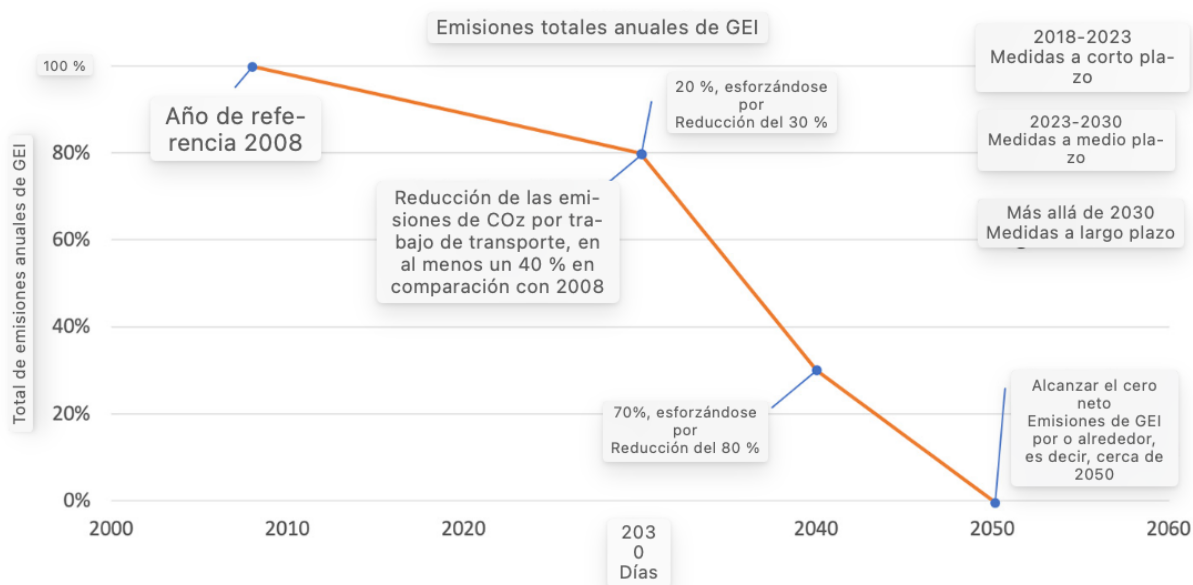


Ilustración 1: Total de Emisiones Anuales de GEI - <https://windshiptechnology.com/challenge/>

3.1 Sostenibilidad Medioambiental del Sector Marítimo

Infinidad de artículos se han publicado a lo largo de las últimas décadas abordando los problemas de sostenibilidad a los que se enfrenta los sectores del transporte, ya sea por vía aérea, terrestre o marítima. Lo cierto, es que actualmente las cifras aproximadas de la contaminación que producen los buques que navegan en el entorno europeo, publicadas por la Agencia Europea de Medioambiente y por la Agencia Europea de Seguridad Marítima, constatan que los buques son los encargados de emitir el 13,5 % de todas las emisiones de gases de efecto invernadero procedentes del sector del transporte en la Unión Europea.

El reto al que nos enfrentamos para construir y adaptar buques más sostenibles en un futuro a corto o medio plazo, es inmenso. Las alternativas a los combustibles “tradicionales” son los biocombustibles, las baterías, el hidrógeno o el amoniaco. Pero la realidad, es que estas alternativas están todavía lejos de poder ser implementadas en barcos de gran tamaño.

Como ejemplo, debemos mencionar la industria del automóvil, aunque la tecnología avanza cada día y las mejoras en autonomía y eficiencia de los vehículos eléctricos hayan mejorado notablemente, la realidad es que desde las instituciones gubernamentales no se hace lo suficiente para que se pueda dar el salto definitivo a energías limpias, estos apoyos deberían existir en forma de infraestructura, inversión estatal en tecnología de desarrollo y ayudas a la financiación por parte del usuario medio.

Por todo lo anteriormente expuesto, el sector marítimo debe buscar alternativas de transición a una tecnología a largo plazo. Una de las opciones más viables y que ya es una realidad, son las velas rígidas acopladas a las cubiertas de los grandes buques.

3.2. Alternativa a corto plazo

Aunque se trabaja en diferentes alternativas a corto plazo, sin duda la tecnología de las velas rígidas es la apuesta más segura y eficiente para poder ayudar en el desplazamiento de buques de gran tonelaje por los océanos. En los barcos de vela deportivos y de competición, se ha avanzado en el conocimiento sobre la forma, eficiencia y resistencia en la fabricación del velamen que se utiliza actualmente.

Es obvio, que utilizar velas de dacron o carbono para buques mercantes sería una posibilidad que, aunque viable, estaría más limitada en la vida útil de las mismas. Por ello, los esfuerzos y avances en esta tecnología, se han centrado en las velas rígidas, muy parecidas a un ala de un avión y que sustenta los mismos principios aerodinámicos pero adaptados a un buque.

Cada día se construyen barcos desde cero, teniendo en cuenta la propulsión eólica como complemento de los motores principales. Y es que la energía eólica puede marcar el camino para las nuevas generaciones de buques verdes. A la misma vez que se realiza esta reflexión, hay que tener en cuenta que la realidad de adaptación de barcos de nueva construcción o readaptación de barcos existentes para incorporarles este tipo de tecnología, se presenta complicada, dependiendo de la utilidad que tenga el buque.

En otras palabras, los buques mejor posicionados para implementar las velas rígidas en sus cubiertas, son buques tanque, graneleros y buques de pasaje en los cuales se tenga en cuenta este tipo de tecnología desde su construcción inicial. Estos buques mencionados, cumplen los estándares dado que las funcionalidades de carga y descarga, no se ven afectadas por tener estructuras complementarias en cubierta.

3.3 Alternativas a medio y largo plazo

Aún teniendo estrategias de transición a corto plazo, como la eólica, expuesta en el apartado anterior, u otras no menos desdeñables como la reducción de la velocidad de los buques, optimización de las rutas marítimas y la mejora en el diseño de los cascos, es muy importante ser conscientes que la única vía que nos llevará a las emisiones cero en un futuro, son los combustibles alternativos.

Entendemos como combustibles alternativos el hidrógeno, el amoniaco y otros compuestos que adoptan el hidrógeno como base. Este tipo de combustibles permitirá que la flota mercante mundial, pueda realizar rutas de larga distancia en buques de gran tonelaje. La producción de estos combustibles está supeditada a la electrólisis, partiendo de electricidad renovable o mediante la mezcla de metano con vapor. Hay que resaltar, que la tecnología aplicada a la producción de amoniaco está más avanzada, debido al estudio de esta sustancia en sectores como los fertilizantes, pudiendo ser transportados a grandes distancias sin inconvenientes significativos. Por otro lado, el transporte del hidrógeno presenta otras características notables como la licuefacción del producto para su traslado de forma segura, siendo un campo no tan avanzado en la investigación e infraestructuras como para facilitar que este combustible pueda ser utilizado en un periodo corto en el tiempo.

A este tipo combustible, se debe añadir la tecnología eléctrica, incorporando motores híbridos eléctricos y diésel/eléctricos. Actualmente la propulsión eléctrica en buques que navegan distancias cortas, es una realidad. También se van imponiendo nuevas tendencias en el transporte, como son los buques híbridos que navegan en medias distancias, aportando fiabilidad y ahorro a las navieras que apuestan por esta opción.

4. Tecnología WindWings

Dentro del aprovechamiento de la energía eólica en los buques de gran tonelaje, existen diferentes proyectos en los que se vienen investigando desde hace años. En este trabajo, se tratará de explicar la tecnología desarrollada por la empresa inglesa “Bar Technologies”. Esta compañía afincada en el Reino Unido desde sus inicios, con amplia experiencia en el sector eólico, tanto en tierra como en mar, ramifica sus actividades en diferentes campos como la arquitectura naval, optimización del diseño, dinámica de fluidos, simulación y análisis de rendimiento, entre otros.

Centrándonos en la tecnología WindWings, podemos describirla como una innovación en el ámbito del transporte marítimo, que tiene como objetivos combinar la propulsión de combustible tradicional con la propulsión eólica. A esto se le debe añadir otros parámetros para ayudar en la eficiencia del sistema, por ejemplo, adoptar rutas meteorológicas optimizadas en trayectos largos, aumento de la eficiencia en el gasto del combustible, o la adaptación de los buques para que se incluyan cascos de nueva generación que optimizan la hidrodinámica de los mismos.

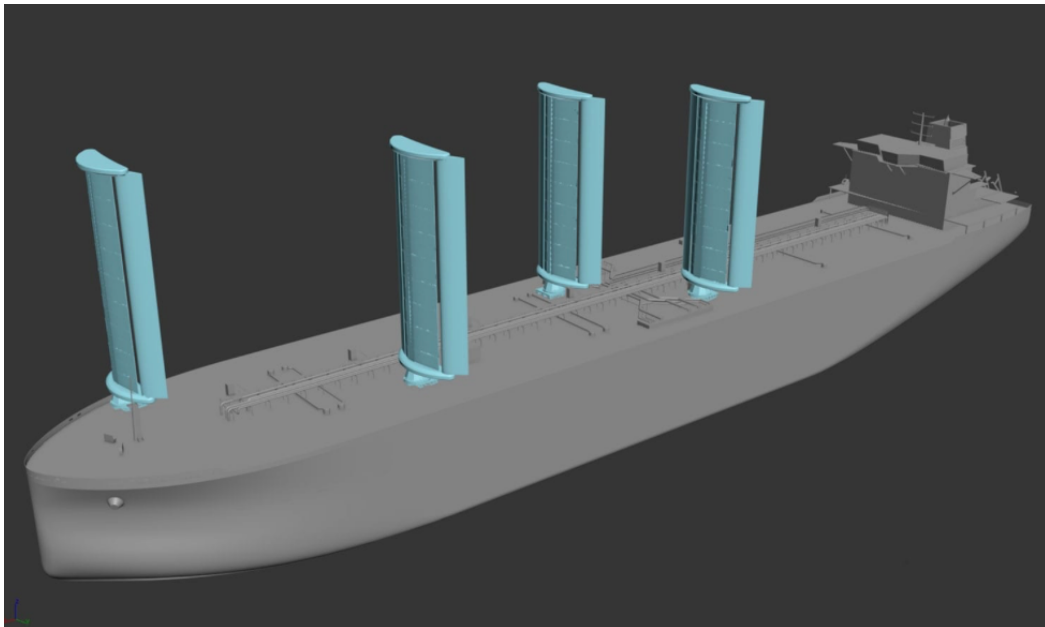


Ilustración 2: Tecnología WindWings - <https://www.bartechnologies.uk/project/windwings/>

Siendo pragmáticos, se puede decir que esta tecnología se basa fundamentalmente en el acople de grandes velas de forma rectangular en la cubierta de los buques. Es necesario precisar, que de momento, los avances que se han producido, están adaptados a cubiertas “despejadas”, como ocurre en buques graneleros, algunos buques tanque con grandes zonas libres en sus cubiertas y buques de pasaje en los que se tenga en cuenta las características de estas estructuras desde su construcción inicial en astillero. Estas grandes velas, actúan como si de un barco antiguo de vela se tratara, es decir, aprovecharán el viento, generalmente proveniente de popa, para poder impulsar el buque conjuntamente con los motores principales.

La puesta en marcha del sistema se realizará en base a las condiciones en las que se encuentre el buque. Estas velas se mueven con sistemas mecánicos que las izan o arrian dependiendo de la operatividad que se esté llevando a cabo, es evidente que cuando el buque se encuentre en puerto, durante la carga o descarga de sus bodegas, las velas permanecerán en una posición específica para que toda la maquinaria desplegada en la estiba y desestiba del mismo, no interfiera en los trabajos llevados a bordo.

En condiciones meteorológicas favorables, estas velas se desplegarán para ayudar a la propulsión del buque. Las condiciones meteorológicas jugarán un papel clave en la eficacia del sistema, entendiéndose que el momento de su utilización variará en función de la fuerza del viento, ángulo de entrada y salida al buque e incluso al estado de la mar. Dadas las dimensiones de las velas rígidas, el buque dispondrá de toda una red de información electrónica a través de sensores, que será reenviada al puente, para que la tripulación, conjuntamente con el software informático del sistema, puedan tomar las decisiones correctas a la hora de la utilización de las mismas.

Aunque la navegación a vela lleva utilizándose por la humanidad desde hace muchos siglos y que prácticamente el estudio de la misma está más que constatado para barcos de pequeño y mediano porte, no hay que olvidar, que la verdadera innovación del sistema WindWings erradica en la puesta en funcionamiento en buques de gran tonelaje, teniendo influencia directa en la maniobrabilidad, estabilidad y velocidad. El gérmen de esta innovación nace del estudio de la vela aplicado a pequeños barcos de competición, pero aunque la finalidad de este sistema sea la impulsión del buque, todavía quedan muchos factores por analizar y tripulaciones que adiestrar para poder sacar el máximo rendimiento del mismo.



Ilustración 3: Vela Rígida - <https://www.canarymedia.com>

4.1 Características Principales del Sistema de Velas Rígidas

La información sobre las características que se expondrán a continuación, están basadas en el primer buque donde se ha podido implantar este sistema, el “Pyxis Ocean”. Este buque pertenece a la compañía fletadora Cargill, fundada en Ginebra hace más de 50 años y pionera en el avance de la descarbonización del transporte marítimo internacional.

Hay que subrayar, que las bases donde se asentarán las velas, tendrán un arraigo específico adaptado a la disposición y espacio de cada buque. En el ejemplo que hemos escogido, se puede observar como ambas velas instaladas, se encuentran en la banda de estribor y a una distancia adecuada para poder ser plegadas y no obstaculizar cualquier trabajo de carga y descarga del buque. Todo el sistema está automatizado, esto reduce considerablemente la mano de obra que se necesitaría para su manipulación, necesitando a su vez, un consumo relativamente bajo para su puesta en funcionamiento.

Las velas rígidas construidas para este cometido, han sido fabricadas con materiales de alta calidad, garantizados para desarrollar su actividad en ambientes marinos extremos.

4.2 Sistema de Propulsión Asistido por Viento (WAPS)

Cualquiera de lo WAPS que actualmente se encuentran en desarrollo, deberán estar diseñados para funcionar de forma segura cuando se instale en un buque mercante. A continuación, detallaremos algunas características estructurales y de eficiencia del sistema de velas rígidas: Altura 37,5 metros, Ancho 20 metros, Superficie 750 m², Ahorro de combustible del 12 % por vela, Reducción de las emisiones de CO₂ hasta el 30 %, Ahorro de 1,5 toneladas de combustible al día por vela.

Deberán estar dotados de suficiente resistencia, elementos de seguridad fiables para el ámbito marítimo y equipados con sistemas de control que proporcionen una respuesta adecuada y suficientemente rápida en las condiciones imperantes dentro del perfil operativo de las WAPS y también en condiciones extremas. Esto incluirá escenarios de apagado de las WAPS o de funcionamiento en modo de espera y fuera de servicio, o en transición de uno a otro.

Un WAPS y sus sistemas de control deberán permitir una respuesta lo suficientemente rápida en condiciones meteorológicas cambiantes. La navegación y la maniobrabilidad del buque no se verán comprometidas por el funcionamiento o la existencia de un WAPS.

El concepto de diseño deberá tener en cuenta los siguientes aspectos en su instalación:

- Fuerzas aerodinámicas:
 - o Estabilidad del buque.
 - o Efecto amortiguador en el movimiento de balanceo.
 - o Maniobrabilidad
- Obstáculos operativos.
- Aspectos de navegación.
- Equipos de fondeo y amarre.
- Protección contra incendios y rayos.
- Instalación en “zonas peligrosas”.

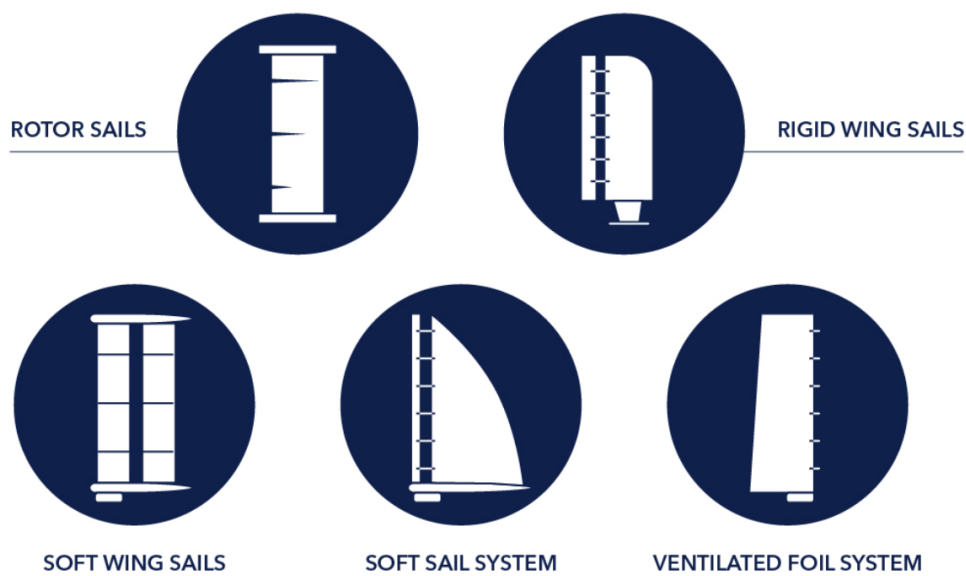


Ilustración 4: Sistemas de Propulsión Asistidos por Viento - <https://europeanenergyinnovation.eu>

4.3 Compañías Asociadas al Proyecto

Bar Technologies nace como un subproducto de Ben Ainslie Racing (BAR), cuyos integrantes son reconocidos deportistas que participaron en competiciones olímpicas a lo largo de las décadas, encabezadas por el mítico Sir Ben Ainslie. Además, esta compañía participa desde hace varias generaciones en la regata más famosa a nivel mundial, como es la Copa América.

La idea primigenia de esta compañía, es el vuelco en los buques mercantes, de todo el conocimiento logrado con el paso de los años, implementando en dichos buques, la más innovadora tecnología diseñada y probada en las regatas de competición a vela más exigentes del mundo.

4.3.1 Cargill

Es una empresa multinacional con sede en Estados Unidos, fundada en el siglo XIX, su principal actividad es la exportación e importación de todo tipo de productos agrarios, ganadería y de la industria farmacéutica.

Actualmente, esta multinacional fleta más de seiscientos buques en todo el mundo, orientando su actividad marítima a la reducción de los Gases de Efecto Invernadero y ofrecer a sus clientes un producto transportado con energías más limpias. Al margen, Cargill sigue avanzando en su propósito, asociándose con otras instituciones de diversas índole, como es

el Foro Marítimo Global y su Coalición Getting To Zero, See Cargo Charter o Maersk McKinney Moller Center for Zero Carbon Shipping.

4.3.2 Deltamarin

Compañía que tiene como principal actividad comercial la construcción de yates de lujo. Con casi 50 años de experiencia, este astillero es uno de los más reconocidos del mundo, ubicando su sede principal en la ciudad de Seattel, Estado Unidos.

La asociación de BAR Technologies con el astillero estadounidense Deltamarin, viene motivada por la fabricación de buques con diseños óptimos de casco y propulsión para aprovechar al máximo la propulsión asistida por el viento. Ambas entidades trabajarán en el diseño de cascos modificados específicamente para maximizar la energía eólica.

4.3.3 Yara Marine

Empresa Multinacional Noruega, dedicada a varios sectores como los productos químicos, petróleo, metales, etc. En 2008, con la entrada de un nuevo CEO a la compañía, su giro al sector verde fue significativo, apostando por la colaboración con armadores, astilleros y arquitectos navales; en el impulso hacia un transporte marítimo más sostenible.

Yara marine, es una empresa subsidiaria de Yara Internacional, ofreciendo soluciones tecnológicas basadas en la ecología, como depuradoras de óxido de azufre SOx y diferentes recursos para la optimización de buques mercantes.

La asociación de ambas empresas ha desencadenado un binómimo muy importante en la optimización de los recursos para la implementación de los buques mercantes en su camino hacia la emisiones cero. La empresa Yara Marine, tendrá la misión de proporcionar la tecnología WindWing a su amplia cartera de propietarios de buques, pudiendo gestionar de una manera eficaz la cadena de valor de adquisición, construcción, instalación, servicio y capacitación en el establecimiento de la tecnología a bordo.

Es de vital importancia que compañías tecnológicas que realizan sus investigaciones en el sector marítimo, prosigan con sus avances hacia una propuesta de emisiones más reducidas, para poder cumplir con los propósitos de la Organización Marítima Internacional.

4.3.4 Bergebulk

Compañía multinacional con sede en varios países, propietaria de más de 80 buques graneleros que transportan al año más de 70 millones de toneladas de carga. Esta empresa está muy implicada en reducir las emisiones, esto ha dado paso al compromiso adquirido con BAR Technologies y Yara Marin, constatando la evolución a la tecnología verde que debe asimilar la amplia flota de buques que obran en su poder.

El encargo pionero de la compañía para la instalación de WindWings a bordo, ha sido a través del buque “Berge Olympus”, granelero fabricado en el año 2018 con bandera de la Isla de Man. Este proyecto supone un gran paso en la compañía, la cual mira hacia el futuro con la esperanza de tener unas emisiones de carbono reducidas a cero en las futuras décadas, consiguiendo un transporte más seguro, eficiente y sostenible.

4.4 Proyecto CHEK (Carbonising sHipping by Enabling Key)

Este proyecto cuenta con la financiación de la Unión Europea dentro del marco de Horizonte 2020, cuyo principal objetivo es cambiar el enfoque en la construcción y adaptación de los buques mercantes para alcanzar las cero emisiones en las próximas décadas. El proyecto desarrolla los diseños de un buque granelero “Pyxis Ocean” al que se le incorporará tecnología de propulsión eólica y un buque de pasaje al que se le implementará el hidrógeno como combustible de propulsión.

La coordinación del proyecto es responsabilidad de la Universidad de Vaasa e incluye al fabricante de equipos marinos Wärtsilä, dos de los mayores propietarios de barcos del mundo como son MSC Cruises y Cargill Internacional. Además, cuenta con cuatro proveedores de tecnología limpia (Climeon, Hasytec, Silverstream Technologies, BAR technologies), la primera sociedad de clasificación del mundo Lloyd’s Register, los principales diseñadores de buques Deltamarin y la Universidad Marítima Mundial fundada por la OMI. Este proyecto tiene una duración que va desde Junio de 2021 a Mayo de 2024 y cuenta con una subvención de 10 millones de euros.

La propuesta de descarbonización que motiva la creación de este consorcio de empresas, persigue la puesta en marcha de nuevos estándares en el diseño y la operatividad de los buques desde que salen de astilleros, o la modificación progresiva de la flota que existe en la actualidad. Para esto, el consorcio ha propuesto una plataforma de prueba única para los buques del futuro (FPV). El desarrollo de esta plataforma, permitirá al consorcio CHEK, logara el principal objetivo del proyecto, como es el diseñar, desarrollar y demostrar a gran escala, dos concepto de buques:

- Basarse en perfiles operativos reales, en lugar de diseños enfocados únicamente para superar las pruebas de mar.
- Integar completamente las tecnologías de vanguardia dentro del diseño de la embarcación, maximizando la simbiosis entre las tecnologías, ayudando de esta manera a lograr una reducción considerable de la emisiones.
- Mantener un costo de la tecnología aceptable para armadores, operadores, etc.
- Diseños duraderos, capaces de resistir a los desafíos del futuro, como el endurecimiento de las regulaciones, el cambio de los precios de los combustibles y con la capacidad suficiente de adoptar oportunidades emergentes.

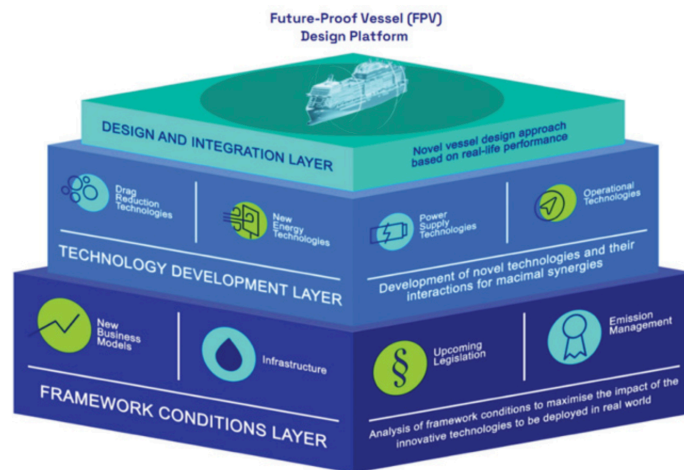


Ilustración 5: Future-Proof Vessel - <https://europeanenergyinnovation.eu/>

Por último, destacar que la plataforma (FPV), servirá como incentivo para trasladar el enfoque del Proyecto CHEK a otro tipo de buques, que por sus características de diseño constructivo, motorización, etc; como son los buques petroleros, buques portacontenedores, buques de carga general y transbordadores, no son aptos en primera instancia para asimilar el avance de tecnologías limpias aplicadas a los buques mercantes.

4.5 Certificación del Sistema

En el plano legal, todo el sistema anteriormente descrito está enclavado en la denominación de “Sistema de Propulsión Asistido por Viento” (WAPS). Aunque en este trabajo solo nos hemos referido a las velas de ala rígidas, hay más sistemas catalogados en los que la tecnología sigue avanzado para ponerlos en marcha según las necesidades y características de los buques que así lo requieran.

Todo ello debe estar supervisado y certificado por una Sociedad de Clasificación, incluida dentro de la Asociación Internacional de Sociedades de Clasificación (IACS), que actuará como paraguas para que la tecnología, en este caso, de propulsión eólica, pueda cumplir con todos los estándares de seguridad para la navegación.

Las Sociedades de Clasificación se podrían describir como aquellas entidades que persiguen el cumplimiento de ciertos estándares en los buques, para poder otorgarles categorías que certificarán el cumplimiento de las normas asociadas a su actividad. Todo este cometido debe ser avalado por inspecciones periódicas para comprobar cuestiones básicas en seguridad y constatar la solidez de estructuras a bordo de los buques. Todos aquellos buques que estén bajo las certificaciones de una Sociedad de Clasificación, deben responder a unas normas técnicas expedidas por dicha Sociedad, las cuales estarán fundamentadas en la experiencia y la investigación.

4.5.1 Sociedad de Clasificación “Det Norske Veritas” DNV

Esta compañía lleva operando desde el año 1864, con sede principal en la capital de Noruega, Oslo. Todo un referente en la industria marítima que tiene como objetivos principales salvaguardar la vida, la propiedad y el medio ambiente; aportando información confiable para que las navieras y cualquier otra compañía que contrate sus servicios, pueda tomar las decisiones pertinentes, avaladas por conocimientos imparciales, ayudando a calificar y asegurar tecnologías de vanguardia.

4.5.2 Estándar DNV–ST–0511

“SECCIÓN 5 CLASIFICACIÓN Y CERTIFICACIÓN

General

- Clasificación

Para el uso de esta norma con fines de clasificación se aplicarán los requisitos de [5.2], además de las reglas para la notación de clase adicional WAPS.”

- “Servicios de Conformidad

Para el uso de esta norma con fines de verificación y/o certificación con la Sociedad, se aplicarán los requisitos de [5.3].

Requisitos de procedimiento para la clasificación

- Requisito de documentación

Se presentará la documentación exigida en el cuadro 5-1.

Tabla 5-1 Requisitos de documentación.”

“Objeto	Tipo de documentación	Descripción adicional	Información
WAPS	C020 - Plano de montaje o de disposición	Incluidos tamaño, pesos, centro de gravedad y materiales.	AP
	C030 - Planos detallados		AP
	Z050 - Filosofía del diseño		AP
	Z051 - Base de diseño		AP
	Z060 - Descripción funcional		AP
	G010 - Análisis de riesgos	Por ejemplo, HAZID.	AP
	Z070 - Descripción del modo de fallo		AP
	Z071 - Análisis del modo y efecto de los fallos (AMFE)		AP
	C010 - Criterios de diseño		AP
	C040 - Análisis de diseño		AP
	H080 - Análisis de resistencia		AP
	H085 - Análisis de fatiga		AP
	M010 - Especificación de materiales, metales		FI
	M030 - Especificación de materiales, materiales no metálicos		FI
	Z100 - Especificaciones	Para los componentes.	AP

Objeto	Tipo de documentación	Descripción adicional	Información
	Z161 - Manual de instrucciones	Instrucción para el manejo seguro y fiable bajo todos los aspectos tratados en esta norma. Incluirá la ventana operativa y las restricciones para el funcionamiento de las WAPS	FI
Vela del rotor	Z250 - Procedimiento	Para equilibrar el peso rotacional de la vela del rotor.	FI”
“Sistema de control y supervisión de los WAPS	I200 - Documentación del sistema de control y supervisión	Incluye parada de emergencia, arranque/parada a distancia.	AP
Rotor para vela de rotor	C060 - Documentación de componentes mecánicos		FI

Rodamientos de rotación de la vela del rotor	C060 - Documentación de componentes mecánicos		AP
	Z100 - Especificaciones	Incluye sistema de lubricación.	FI
Disposición de despliegue y trimado para el aparejo de ala y el sistema de láminas ventiladas, Disposición basculante	C020 - Plano de montaje o de disposición		FI
	C030 - Dibujo detallado		AP
	C060 - Documentación de componentes mecánicos	Si no está cubierto explícitamente por C020 y C030.	FI
	E170 - Esquema eléctrico		AP
	E240 - Descripción funcional del conjunto eléctrico		AP
	S010 - Diagrama de tuberías (PD)	Para el sistema hidráulico, si procede.	AP
	Z100 - Especificaciones	Para los componentes	AP
Mantenimiento e inspección	Z163 - Manual de mantenimiento		FI
	Z164 - Manual de inspección		FI
	Z270 - Plantilla de registro de aparejos	Véase DNV-RU-SHIP Pt.6 Ch.2 Sec.12 Tabla 3.	FI
AP = para aprobación, FI = para información”			

“Para los requisitos generales de la documentación, incluida la definición de los códigos de información, véase DNV-GC-0550 Sec.6. Para la definición de los tipos de documentación, véase DNV-CG-0550 Sec.5.

- Documentación de conformidad

A efectos de clasificación, no existen requisitos para la certificación de componentes en una unidad WAPS.

Servicios de conformidad

General

Para las unidades WAPS, los servicios de conformidad descritos en [5.3.2], [5.3.3], [5.3.4] y [5.3.5], pueden ofrecerse basándose en esta norma.”

“Aprobación de principio – AIP

Una aprobación de principio es una evaluación independiente de un concepto dentro de un marco acordado, destinada a confirmar que el diseño es viable y que no se detectan obstáculos significativos que impidan la realización del concepto.

Se revisarán y aprobarán el diseño básico y el concepto operativo. Se evaluará y aprobará la funcionalidad del sistema y las restricciones de funcionamiento.

La Sociedad podrá, caso por caso, recomendar la realización de una AIP para diseños novedosos antes de iniciar el diseño de homologación u otras actividades de certificación.

Las evaluaciones siguen las disposiciones de las subsecciones [2.2.1] y [2.2.2]. Los requisitos de documentación figuran en el cuadro 5-2.

Diseño de homologación – DAT

Un certificado de diseño de aprobación de tipo (TADC) es un documento de conformidad emitido por la Sociedad. Para obtener un TADC, es necesario cumplir los requisitos de documentación de la Tabla 5-1 y los requisitos de la Sec.2, Sec.3 y Sec.4. Para conocer los requisitos generales del proceso de homologación, consulte DNV-CP-0338.

Homologación – TA

Un certificado de homologación de tipo (TAC), es un documento de conformidad expedido por la Sociedad. Para obtener un certificado de homologación de tipo, es necesario cumplir los requisitos de documentación de la Tabla 5-2, los documentos de conformidad de la Tabla 5-3 y los requisitos de las Secciones 2, 3 y 4. Para conocer los requisitos generales del proceso de homologación, consulte DNV-CP-0338.

El ámbito de aplicación abarcará:

- Evaluación del diseño
- Evaluación de la producción
- Encuesta de al menos una muestra de la producción.

Certificación de productos – PC

Un certificado de producto (CP), es un documento de conformidad expedido por la Sociedad. Para obtener un certificado de producto, es necesario cumplir los requisitos de documentación de la Tabla 5-2 y los documentos de conformidad de la Tabla 5-3, así como los requisitos de las Secciones 2, 3 y 4.”

5. El Combustible del Futuro: Metanol Verde.

Este compuesto químico no es ninguna novedad para la industria o el transporte, lleva utilizándose más de cien años. Dentro de las materias primas, puede constatarse que se encuentra entre las cinco primeras que más se transportan en el mundo, teniendo más de cien puertos con infraestructuras de recepción y almacenamiento, para su posterior uso en la industria, fundamentalmente química.

El metanol en sí, como compuesto químico, se puede obtener mediante varios procesos, en este trabajo nos centraremos en el metanol obtenido de manera sostenible, sin que genere ningún tipo de emisiones contaminantes en la producción del mismo.

Centrándonos en el compuesto en cuestión, el metanol (CH_3OH_2), también denominado alcohol metílico, se encuentra en infinidad de aplicaciones en la industria: como es el sector de la pintura, anticongelantes, en los diferentes materiales utilizados en construcción y por supuesto, en lo que se denomina combustibles sintéticos. Una de las ventajas que presenta este compuesto, para su uso en formato de combustible, es que mantiene un estado líquido a temperatura ambiente, por ello, salvando las posibles densidades de los fueles pesados utilizados actualmente en el ámbito marino, es muy semejante a los combustibles actuales como puede ser el diésel.

5.1 Diferentes tipos de metanol según su producción.

Cada vez que se habla de metanol, se tiende a relacionarlo con una producción contaminante. En efecto, en el pasado, para poder obtener este compuesto, la vía más normal era la asociada a su generación a través del gas natural, hoy en día, el término que se está imponiendo en métodos de producción de este compuesto es el metanol verde, producido fundamentalmente de fuentes provenientes de energías limpias.

Para poder clasificarlo de manera más concreta, se utilizan denominaciones relacionadas directamente con su proceso de producción, atendiendo al grado de sostenibilidad de dicha producción. Esto genera que el metanol pueda distinguirse en cuatro categorías que se expondrán a continuación.

5.1.1 Metanol Marrón

Este compuesto es el más contaminante de las diferentes variantes de metanol que se encuentran disponibles y en uso. Su producción es posible gracias al carbón, lo cual hace que las emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera sean elevadas.

5.1.2 Metanol Gris

Esta variante de metanol se produce mediante la reacción de síntesis aplicada al gas natural. Aunque mejora la opción del metanol producido directamente del carbón, no se puede afirmar que el metanol gris sea una opción obtenida de energías limpias.

5.1.3 Metanol Azul

Esta variante del producto es muy semejante a la anterior, es decir, su producción va ligada a la síntesis del gas natural, aunque la diferencia más notable, es que este método de producción, captura y almacena las emisiones de carbono que se generan derivadas de la producción del mismo.

5.1.4 Metanol Verde

Este producto es obtenido íntegramente de la implementación de fuentes de energías renovables en su proceso de producción, y que de esta manera no se produzca ninguna emisión gases de efecto invernadero a la atmósfera, es el proceso definitivo para obtener metanol renovable y limpio.

Dentro de estos procesos, se pueden definir dos productos, dependiendo de las técnicas aplicadas en la generación de los mismos:

- **Biometano!**: Se obtiene a través de la fermentación de material orgánico, como puede ser materia vegetal, ganadera, agrícola, forestal y residuos producidos por el ser humano. Este proceso se realiza mediante la gasificación de la biomasa a altas temperaturas.
- **e-metano!**: En este caso hay que combinar dos elementos, el hidrógeno, obtenido mediante electrólisis, separando las dos moléculas de hidrógeno de la molécula de oxígeno, por supuesto, con fuentes de energía totalmente renovables, como son la eólica y solar, para la producción de electricidad que necesitará durante el proceso. Por otro lado, se debe producir dióxido de carbono capturado de una central de biomasa tras realizar el proceso de pirolisis.

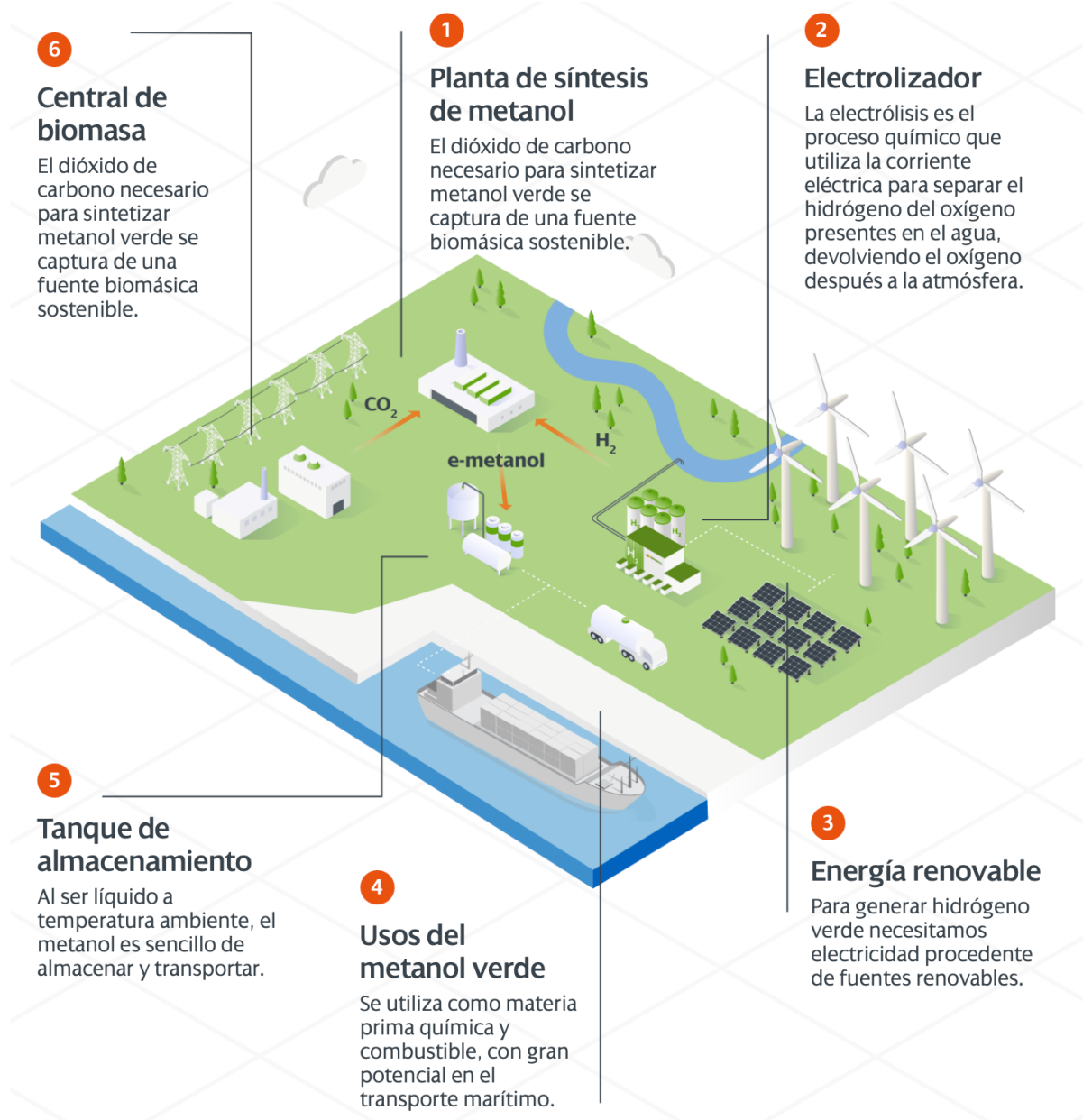


Ilustración 6: Central Producción e-metanol - <https://www.iberdrola.com/conocenos/nuestra-actividad/hidrogeno-verde/metanol-verde>

5.2 Propiedades Químicas del Metanol

Este compuesto químico es el más común de los alcoholes, se puede definir por su simpleza en cuanto a su composición química se refiere, teniendo como características específicas, su estado líquido e incoloro, además de su alta inflamabilidad, común denominador en todos los alcoholes. Alcohol metílico o alcohol de madera, son otras denominaciones que recibe este compuesto químico, aunque por muchos nombre que reciba,

sigue siendo un hidrocarburo oxigenado que es utilizado en diferentes ramas de la industria, particularmente en la industria química, comportándose como materia prima fundamental para fabricar otras sustancias como puede ser el formaldehído, ácido acético y algunos compuestos básicos utilizados en los plásticos. Además de lo anterior, hay que añadir que las sustancias químicas fabricadas en base a alcoholes, se pueden encontrar en muchos productos de la vida cotidiana, como por ejemplo, todo tipo de pinturas utilizadas en diferentes ámbitos, vinilos, adhesivos para publicidad o construcción y para una gran gama de materiales necesario para la industria de la construcción.

Peso molecular	32,04 g/mol
Peso específico (20/20°C)	0.7910 - 0.7930
Punto de congelación	-97.8°C
Punto de ebullición	64.6°C
Punto de inflamación (vaso cerrado, 1 atm.)	12°C
Límites de explosividad en el aire	6% - 36%
Solubilidad: Metanol en agua/agua en metanol	100%/100%

Ilustración 7: Propiedades Químicas del Metanol - <https://www.methanol.org/marine/>

5.2.1 Manipulación del Elemento

Los principales peligros que presenta la manipulación del metanol erradican en su inflamabilidad, nos referimos tanto a su estado líquido como gaseoso, además de lo tóxico que puede llegar a ser si se ingiere o pudiese estar en contacto con la piel o se produce su inhalación.

Normas a tener en cuenta para una buena manipulación del metanol:

- Se deben tomar precauciones por su grado de inflamabilidad.
- La densidad el metanol es levemente superior a la densidad del aire. Si se produjese una fuga, el metanol se distribuirá en zonas cercanas al suelo y lugares confinados, si los espacios resultasen ventilados, se disipará rápidamente debido a que su flotabilidad es prácticamente neutra.
- El vapor de metanol puede producir explosiones, esto se da únicamente en algunas circunstancias específicas. Por otra parte, los recipientes que contienen el producto

también podrían sufrir explosiones cuando los vapores interiores están sujetos a un excesivo calor exteno.

- La ingestión, inhalación o absorción cutánea; puede ser tóxica aún en pequeñas cantidades, llevando al extremo de la muerte si las cantidades ingeridas superan los 30 mililitros.
- El metanol se puede diluir en agua de manera efectiva, aunque hay que tener en cuenta que si la proporción es más del 25 % de metanol frente al agua, se considerará que es un líquido inflamable.

5.3 Ventajas del Metanol Verde en el Ámbito Marítimo

En casi todos los foros a nivel internacional sobre la sostenibilidad de los combustibles del futuro, se apuesta por el metanol como el combustible marino que permitirá reducir los gases de efecto invernadero en las próximas décadas.

Una de las propiedades principales del metanol es lo extremadamente limpia que es su combustión, esto es debido a que no contiene azufre. A esto hay que añadirle que posee un único átomo de carbono, por lo tanto, las partículas carbonosas se ven reducidas al mínimo, dado que su formación se dificulta bastante.

La gran innovación referente a este combustible sostenible, se sostiene gracias a la utilización de materias primas bajas en carbono. Tal y como se detalla en la ilustración “número 6”, el proceso de creación del “metanol verde” o “emetanol”, se desarrolla bajo unos pilares sustentados en la captación de CO₂ de centrales de biomasa, electricidad proveniente de energía eólica o fotovoltaica para la electrólisis del H₂O, lo cual hace que estén en perfecta armonía con el ciclo de vida sostenible que se requiere que cumplamos en un futuro a medio y largo plazo.

Otro de las ventajas más notables que ofrece esta alternativa a los combustibles derivados de materias fósiles, es que su utilización y manejo es tremendamente similar a lo ya existente, es decir, no se necesitarán grandes inversiones a bordo de los buque para adaptarlos al nuevo combustible y seguirá manteniendo los mismos estándares en su manipulación y almacenaje a bordo o en las instalaciones portuarias, dado que se mantendrá en estado líquido en condiciones ambientales normales.

Por último, pero no menos importante, hay que resaltar que el metanol está clasificado por las normas europeas, como un disolvente que tiene la propiedad de evaporación. Esto supondrá que ante el riesgo de un vertido, las consecuencias se atenúan de forma significativa con respecto a los combustibles actuales (diésel y fueloil).

5.4 Red de Suministro de Metanol en el Mundo

Como combustible o producto químico comercializable, el metanol se distribuye actualmente en múltiples lugares a lo largo de toda la geografía del planeta. Se contabilizan alrededor de cien plantas de metanol en funcionamiento, con capacidades de producción y almacenamiento cercanas a los 140 millones de toneladas métricas. El valor de mercado de todo el producto, ronda los 34.000 millones de dólares.



Ilustración 8: Red Mundial Metanol - <https://www.methanol.org/marine/>

La previsión de crecimiento hasta el año 2025, alcanza una tasa de media anual del 3,5 %, teniendo en cuenta la perspectiva en el aumento de producción en áreas como América del Norte, Rusia, Irán y China; durante los próximos años.

Los estudios estadísticos sobre la demanda de metanol hasta el año 2020, describen como este producto se aplica fundamentalmente en la industria química, llegando a valores de consumo de hasta un 70 %, mientras que sectores energéticos, demandan casi el restante 30 %. Estos valores, según las previsiones de los agentes internacionales, cambiarán su tendencia debido al gran auge del metanol como combustible. Sectores como el automovilístico y marítimo, demandarán a medio o largo plazo un gran volumen de producto, impulsados por la descarbonización en el transporte mundial.

5.4.1 Disponibilidad de Metanol Verde

Actualmente, el metanol que se produce en el mundo proviene del proceso que se realiza a través del vapor del gas natural. La sinergia creada a raíz de la necesidad de la reducción de emisión de gases de efecto invernadero, hace que el metanol producido a través de materias primas sostenibles, cobre cada vez más protagonismo.

Los estudios realizados por instituciones tan importantes como la “Agencia Internacional de Energías Renovables” (IRENA) o el “Instituto del Metanol”, prevén que la demanda de metanol se quintuplicará, llegando a valores cercanos a los 500 millones de toneladas para el año 2050, de los cuales, el 80 % de la producción total, será generado por medio de fuentes renovables.

La clave de este aumento de producción del metanol verde, se basa fundamentalmente en el ahorro de costes en su producción. En el caso del biometanol, el proceso de producción tiene un bagaje que le ha permitido experimentar en la eficiencia del sistema, unido a la fácil disponibilidad de la materia prima. El e-metanol por su parte, se ha visto afectado de forma positiva, gracias al avance en la tecnología eólica y fotovoltaica, unido al avance tecnológico en el proceso de electrólisis del agua, reduciendo costes de forma considerable. La tendencia dictamina que para el año 2050, los costes del metanol verde, se igualarán a los a los costes de producción de los combustibles derivados del petróleo.

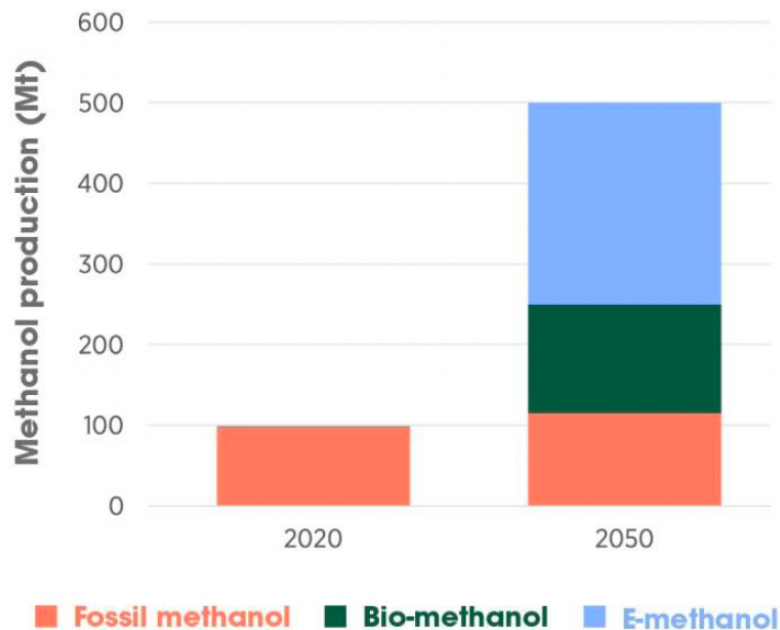


Ilustración 9: Producción de Metanol - <https://www.methanol.org/marine/>

5.5 Naviera Maersk “All The Way to Zero”

Quizás Maersk sea la empresa pionera en poner en marcha uno de los proyectos más ambiciosos a nivel mundial sobre la descarbonización en toda su logística de transporte. Este gigante naviero con sede en Dinamarca, siempre ha apostado por reducir la huella de carbono, sobre todo en los sectores del transporte y la energía.

La iniciativa “All The Way to Zero”, se compromete a realizar una reducción de emisiones de gases de efecto invernadero de una manera acelerada, adelantándose incluso a los objetivos propuestos en el acuerdo de París. El enfoque principal de la compañía para lograr estos objetivos, se basa en la investigación de nuevos combustibles verdes que puedan suplir los convencionales, produciendo una combustión más limpia en todos los sectores.

Para ello, la compañía ha desarrollado toda una estrategia basada en el metanol verde o e-metanol. Este producto es la gran apuesta de futuro, principalmente por su gran coincidencia en el estado y almacenamiento con los combustibles que se utilizan en la actualidad. Los buques de nueva construcción de esta naviera, incorporarán una motorización adaptada para la utilización del nuevo combustible.

Este reto no sería posible sin empresas especializadas en el sector de las energías renovables. El productor de motores MAN, serán los encargados del diseño y construcción de los motores principales y auxiliares de los buques, además de llevar a cabo la ardua tarea de la adaptación de los motores de la flota que actualmente está operativa, para que puedan utilizar el e-metanol de una manera fiable. Se suman a esta operativa, empresas como Equinor, OCI Global o European Energy; especializadas en la producción de metanol verde y que serán las encargadas de diseñar y poner en marcha las plantas generadoras de metanol verde en diferentes partes del mundo, para poder abastecer de una forma efectiva a la flota de Maersk en cualquiera de los continentes donde realicen escala sus buques.

Otro de los aspectos que pone de relieve el compromiso de la compañía con el desafío de la reducción de gases contaminantes, es su plan de logística en tierra. Actualmente se está elaborando todo un protocolo para poder llevar la descarbonización de su cadena logística, no solo a nivel marítimo, sino a nivel terrestre. Esto quiere decir, que toda la maquinaria y servicios que se utilizan para poder transportar la mercancía en su último trayecto, también responderá bajo los estándares de emisiones cero, para que el círculo pueda ser completado y que sus clientes finales tengan la certeza que la huella de carbono que se ha producido para transportar o crear cualquier producto, haya sido respetuosa con el medioambiente.

5.5.1 Proyecto Maersk España

Una de las apuesta más importantes a nivel mundial de Maersk y sus socios, será desarrollada en España. En el año 2022, se anunció el acuerdo al que llegó la naviera con el Gobierno de España, para la construcción de dos plantas generadoras de metanol verde en las comunidades autónomas de Galicia y Andalucía. La inversión estimada, con la financiación de fondos europeos, asciende a la cifra de 10.000 millones de euros. Actualmente estos proyectos se encuentran en una fase técnica en el desarrollo del modelo financiero.

Se estima que estos dos proyectos generarán un empleo estable de entorno a los 4.000 o 5.000 puestos de trabajo. A esto hay que añadirle otros 30.000 puestos de trabajo que se necesitarán para llevar a cabo la construcción y puesta en funcionamiento de las plantas generadoras de e-metanol.

6. Conclusiones

Partiendo de la base, que nuestro planeta lleva sufriendo desde hace varias décadas, un cambio climático que se hace evidente en muchos aspectos, este trabajo ha tratado desde su inicio, de buscar las respuestas tecnológicas que se deben aplicar a los buques mercante para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

A lo largo del proceso de búsqueda bibliográfica, he podido constatar como la tecnología actual, es totalmente capaz de llevar a cabo proyectos medioambientales que den respuesta a los problemas que sufre la humanidad en la actualidad. Sin lugar a dudas, en mi opinión, la única razón objetiva por lo que esta tecnología no se lleva a una realidad palpable en el ámbito marítimo, obedece a los grandes intereses petroleros y geopolíticos que existen en el planeta.

En el desarrollo del trabajo, se demuestran la viabilidad total, de dos de las posibles alternativas para poder ser implementadas en los buques mercantes, como son, las “velas rígidas” y el metanol verde como combustible sustitutivo de los combustibles fósiles derivados del petróleo. Ambas propuestas son actualmente posibles para implementarlas en buques mercantes, de hecho, en este trabajo se documenta exhaustivamente la apuesta de grandes multinacionales ambas alternativa.

Para finalizar, al margen de lo expuesto hasta el momento en estas conclusiones, solo me queda aclarar, que este trabajo responde afirmativamente a la posibilidad de la aplicación de las nuevas tecnologías para hacer un sector marítimo más limpio, si las compañías implicadas así lo deciden.

7. Bibliografía

Sociedad de Clasificación “Det Norske Veritas” DNV. (05 de octubre de 2023).

<https://www.dnv.com/maritime/insights/topics/waps-wind-assisted-propulsion-systems/class-services.html>

Smart Green Shipping. (15 de octubre de 2023).

<https://smartgreenshipping.com/>

Maddyness UK. (18 de octubre de 2023).

<https://www.maddyness.com/uk/2023/09/12/meet-smart-green-shipping-the-startup-using-wind-power-to-decarbonise-the-shipping-industry/>

Windship Technology Ltd. (23 de octubre de 2023).

<https://windshiptechnology.com/challenge/>

International Maritime Organization. (03 de Noviembre de 2023).

<https://www.imo.org/es/MediaCentre/MeetingSummaries/Paginas/MEPC-Default.aspx>

European Environment Agency. (10 de Noviembre de 2023).

<https://www.eea.europa.eu/es/highlights/el-transporte-maritimo-en-la>

Canary Media, Clean Energy Journalism for a Cooler Tomorrow. (12 de Noviembre de 2023)

<https://www.canarymedia.com/articles/sea-transport/wind-power-with-a-high-tech-twist-could-help-ships-burn-less-fuel>

European Energy Innovation. CHEK Project: DeCarbonising Shipping By Enabling Key Technology Symbiosis On Real Vessel. (20 de Noviembre de 2023).

<https://europeanenergyinnovation.eu/Latest-Research/Winter-2021/CHEK-project-deCarbonising-sHipping-by-Enabling-Key-technology-symbiosis-on-real-vessel-concept-designs>

Iberdrola. (02 de Diciembre de 2023)

<https://europeanenergyinnovation.eu/Latest-Research/Winter-2021/CHEK-project-deCarbonising-sHipping-by-Enabling-Key-technology-symbiosis-on-real-vessel-concept-designs>

BAR Technologies. (05 de Diciembre de 2023).

<https://www.bartechnologies.uk/insights/pyxis-ocean-launches-with-2-windwings/>

Cargill, Incorporated. (8 de Diciembre de 2023).

<https://www.cargill.com/transportation/innovative-decarb-solutions>

Deltamarine. (9 de Diciembre de 2023).

<https://deltamarin.com/2021/03/deltamarin-bar-technologies-and-cargill-present-windwings-virtual-showroom/>

Yaramarine. (9 de Diciembre de 2023).

<https://yaramarine.com/windwings/>

Berge Bulk. (10 de Diciembre de 2023).

<https://www.bergebulk.com/berge-bulk-unveils-the-worlds-most-powerful-sailing-cargo-ship/>

Methanol Institute. (12 de Diciembre 2023).

https://www.methanol.org/wpcontent/uploads/2023/05/Marine_Methanol_Report_Methanol_Institute_May_2023.pdf

Maersk. (15 de Diciembre de 2023).

<https://www.maersk.com/sustainability/all-the-way-to-net-zero>

Permiso de divulgación del Trabajo Fin de Máster

El alumno **Francisco Javier Luís Pérez**, autor del trabajo final de Grado titulado **“Propulsión Ecológica para el Transporte Marítimo del Siglo XXI”**, y tutorizado por el profesor **D. Alejandro Gómez Correa**, a través del acto de presentación de este documento de forma oficial para su evaluación (registro en la plataforma de TFM), manifiesta que **PERMITE** la divulgación de este trabajo, una vez sea evaluado, y siempre con el consentimiento de su tutor, por parte de la Escuela Politécnica Superior de Ingeniería, del Departamento de Ingeniería Agraria, Náutica, Civil y Marítima de la Universidad de La Laguna, para que pueda ser consultado y referenciado por cualquier persona que así lo estime oportuno en un futuro.

Esta divulgación será realizada siempre que ambos, alumno y tutor/es del Trabajo Final de Grado, den su aprobación. Esta hoja supone el consentimiento por parte del alumno, mientras que el profesor, si así lo desea, lo hará constar en futuras reuniones, una vez finalizado el proceso de evaluación del mismo.

Nota: Este documento será obligatorio presentarlo como última hoja del documento final del TFM.