



7 de noviembre de 2025

La nueva era de la navegación: combustibles limpios para salvar los océanos

Abstract:

The fight against climate change is now an unavoidable obligation. The International Maritime Organization (IMO) has approved binding legal regulations requiring all ships worldwide to drastically reduce their greenhouse gas emissions, with the ambitious goal of reaching net-zero emissions by 2050.

The maritime sector is seeking alternatives to traditional diesel fuel. Liquefied Natural Gas (LNG) is emerging as a transitional fuel, while methanol, ammonia, and hydrogen are key options poised to revolutionize ship propulsion. These new fuels demand redesigning vessels, as they take up more space, reducing cargo capacity, while also increasing costs and requiring strict safety measures.

*The transition is already underway: major shipping **companies** have begun placing orders with shipyards to build vessels ready to operate with clean energy. This marks the beginning of a new maritime era, where sustainability and global trade move forward together.*

Keywords:

Climate Change, Gasoil, Liquefied Natural Gas, Ammonia, Methanol, Hydrogen.

Cómo citar este documento:

CÁNOVAS SÁNCHEZ, Bartolomé. *La nueva era de la navegación: combustibles limpios para salvar los océanos*. Documento de Opinión IEEE 92/2022. [enlace web IEEE](#) y/o [enlace bie³](#) (consultado día/mes/año)

Introducción

El transporte marítimo, antaño ligado a carbón y al dañino chapapote, se encuentra en plena revolución. Reducir emisiones ya no es un ideal, sino una obligación marcada por la OMI, que apunta a una descarbonización total para 2050. Sin embargo, el gasoil marino sigue siendo el rey en la mayoría de los buques, liberando toneladas de gases contaminantes. Frente a este reto, la innovación se acelera: ingenieros y navieras apuestan por nuevos combustibles como el amoníaco, el metanol y el hidrógeno. La transición no será sencilla, pero el rumbo está trazado: navegar hacia un futuro más limpio y sostenible.

.

Gasoil Marino

Gasoil marino: el veterano de la propulsión naval que enfrenta su hora decisiva.

Durante más de un siglo, el gasoil marino ha sido el corazón que impulsa a la mayoría de los buques del planeta. Desde gigantescos portacontenedores hasta ferris de corta distancia, su fiabilidad lo convirtió en la opción preferida de la industria. Pero en plena era de la descarbonización, este veterano comienza a perder protagonismo.

Sus cartas ganadoras

Abastecimiento garantizado: Se encuentra en prácticamente cualquier puerto del mundo, lo que facilita la logística y evita retrasos.

Red e infraestructura consolidadas: No requiere inversiones adicionales en sistemas de repostaje.

Tecnología más que probada: Los motores diésel marinos son robustos, fáciles de mantener y cuentan con décadas de experiencia operativa.

Potencia y autonomía: Alto poder calorífico que permite largas travesías sin repostar.

Menor inversión inicial: Construir un buque para gasoil sigue siendo más económico que adaptarlo a combustibles alternativos.



Foto n.º 1. Esta imagen muestra los típicos gases contaminantes del gasoil

Fuente: [es.dreamstime.com.](https://es.dreamstime.com/)

La otra cara de la moneda

El gasoil marino, durante décadas el motor de la navegación comercial se enfrenta a una tormenta perfecta. Aunque sigue siendo el pilar de la flota mundial, su alto nivel de emisiones contaminantes, la dependencia del petróleo y el encarecimiento del combustible bajo en azufre lo colocan en el punto de mira.

Las regulaciones ambientales de la OMI y normativas locales exigen inversiones millonarias en tecnologías de control, mientras la presión social por energías limpias crece. En plena transición energética, este veterano deberá reinventarse o ceder su lugar a combustibles más sostenibles como el hidrógeno, el amoníaco o el metanol.

GNL: el combustible que marca la transición más limpia

El (GNL) es un combustible fósil obtenido al enfriar gas natural a $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$, reduciendo su volumen 600 veces, lo que facilita su transporte a largas distancias.

Durante años, se consideró una solución clave para descarbonizar la propulsión naval. Aunque no es la respuesta definitiva para eliminar las emisiones, sigue siendo un combustible de transición más limpio y eficiente que el diésel o el fuelóleo.

Su uso en el transporte marítimo no es nuevo: lleva medio siglo empleándose y continúa perfeccionándose. Actualmente, 355 buques mercantes ya operan con GNL, y otros 500 están en construcción o pedidos.

Según diversos estudios los barcos propulsados por GNL representaban más del 2% de la flota mundial, con previsiones de alcanzar el 4% en número de buques y hasta el 6% en tonelaje en los próximos años, consolidando su papel en la transición energética marítima.



Foto nº 3. Este es el clásico buque transportador de Gas Natural Licuado. Fuente: Ingasing.

Ventajas del GNL

La gran fortaleza del GNL es su bajo impacto ambiental frente a los combustibles fósiles tradicionales. Su uso permite reducir significativamente las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), óxidos de nitrógeno (NOx), dióxido de azufre (SOx) y partículas finas. De hecho, las emisiones de CO₂ pueden disminuir hasta un 25% en comparación con el fuelóleo pesado.

Esta reducción lo convierte en un aliado clave para cumplir con las exigentes normativas internacionales, como la IMO 2020, que limita el contenido de azufre en los combustibles marítimos.

Motores más limpios, silenciosos y eficientes

Uno de los aspectos más llamativos del (GNL) es el rendimiento de los motores que lo utilizan. No solo generan menos ruido que los tradicionales, sino que además destacan por su eficiencia y, lo más relevante, provocan un menor impacto sobre los ecosistemas marinos.

Según un estudio de la sociedad de clasificación DNV¹, optar por GNL en la propulsión naval puede suponer un ahorro ² de hasta un 45% en los costes operativos totales frente al uso del fueloil pesado estándar. Un dato que refuerza su papel como combustible alternativo capaz de ofrecer ventajas tanto económicas como medioambientales para el transporte marítimo.

Las sombras del GNL

Sin embargo, el GNL no es una solución perfecta. Aunque más limpio, todavía emite gases que deberán reducirse en un plazo relativamente corto si se quiere cumplir con los objetivos medioambientales más ambiciosos.

Uno de los retos más importantes es la infraestructura³ de suministro. En este sentido, la Asociación Internacional de Puertos y Terminales (IAPH, por sus siglas en inglés) ha creado un grupo de trabajo⁴ específico sobre GNL. Su misión: desarrollar listas de comprobación estandarizadas —las conocidas *checklists*— para las complejas y delicadas operaciones de carga de combustible.

¹ Det Norske Veritas (DNV) es una sociedad de clasificación de ámbito mundial con sede en Noruega. Fue fundada en 1864, y es una fundación independiente. Sus objetivos son "salvaguardar la vida, propiedades y el medio marino" y es a su vez un proveedor líder de servicios de gestión de riesgos.

https://www.wikiwand.com/es/articles/Det_Norske_Veritas

² El gas natural licuado permite a los buques ahorrar el 45% de sus costes operativos. 26 de jul 2010. <https://www.farodevigo.es/economia/2010/07/26/gas-natural-licuado-permite-buques-17826832.html>

³ Hasta el momento han sido las navieras las que han apostado por buques propulsados por GNL y puertos de todo el mundo amplían sus terminales para ofrecer "bunkering" especializado. Ya hay más de 200 puertos con esta capacidad y la cifra sigue creciendo, impulsando también nuevas oportunidades de empleo: ingenieros navales, operadores de abastecimiento, técnicos en seguridad y especialistas en energías limpias. Fuente: Gas Natural Licuado (GNL) en el sector marítimo: transformación y oportunidades. [Gas Natural Licuado \(GNL\) en el sector marítimo: transformación y oportunidades - IMBS](#)

⁴ El proyecto se centra en el desarrollo de listas de verificación normalizadas (checklist) para las operaciones de toma de combustible y las directrices para la aprobación de los proveedores de gas a los tanques de combustible, así como para la evaluación de los perímetros de seguridad y el análisis de riesgo. International Association of Ports and Harbours. <https://navclimate.org/about/navigating-a-changing-climate-partnership/iaph>

El reto ahora es doble: reducir los costes de infraestructura y asegurar un suministro global que permita a los buques de GNL operar sin limitaciones, con un *bunkering*⁵ seguro, eficiente y capaz de responder a las demandas del futuro.

Amoníaco

La Agencia Internacional de la Energía (IEA), en su informe⁶ 2050 Carbon Zero Roadmap Report, afirma que el amoníaco como combustible naval podría representar hasta el 46% del uso total en 2050.

El amoníaco verde o renovable se presenta como una apuesta sólida de futuro para el sector marítimo, aunque no está exento de desafíos. Analizar sus ventajas e inconvenientes es clave para comprender su verdadero potencial.

El amoníaco ya se utilizó como combustible para motores de coches y camiones durante la Segunda Guerra Mundial⁷. El verdadero avance reciente radica en haber encontrado una nueva forma de convertir el amoníaco en gas nitrógeno, lo que, mediante un proceso catalítico, permite reducir la emisión de gases contaminantes asociados

⁵ Fuente: Gas Natural Licuado (GNL) en el sector marítimo: transformación y oportunidades. [Gas Natural Licuado \(GNL\) en el sector marítimo: transformación y oportunidades - IMBS](#)

⁶ Amoníaco, un combustible de futuro en el sector marítimo, 28 de feb. 2025. <https://revistamar.seg-social.es/-/amoniac653>.

⁷ Lleno de amoníaco, por favor: el combustible que promete, 18 de nov. de 2021. https://www.iespanol.com/omicron/tecnologia/20211118/amoniac-combustible-alternativo-sostenible-transporte/627437546_0.html



. Foto nº 4. Prototipo de buque propulsado con amoníaco con depósitos en cubierta y velas solares.
Fuente: [#destacadas](#), [ambiente y ecología integral](#), [industrial naval](#)

Un paso intermedio hacia la descarbonización total

La implantación del amoníaco renovable⁸ como combustible marítimo podría ser clave para una descarbonización parcial. Sin embargo, para hacerlo posible sería necesario realizar modificaciones tanto en los sistemas propulsores como en los tanques de almacenamiento. Diversos expertos e instituciones marítimas coinciden en que podría convertirse en el combustible idóneo para la propulsión de buques. El problema es que la transformación inicial es costosa para los armadores. Por ello, se plantea la necesidad de subvenciones que faciliten la adopción de sistemas duales, en los que el amoníaco conviva con el tradicional gasoil marino. El horizonte para tomar decisiones es relativamente cercano: el año 2030.

⁸El amoníaco verde se produce a partir de fuentes que no contaminan: el hidrógeno que contiene se obtiene mediante energía eléctrica generada por fuentes renovables, mientras que el nitrógeno se extrae de la atmósfera mediante una unidad de separación del aire. ¿Qué es el amoníaco verde y para qué sirve? 2 de abr. 2024. https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-es-el-amoniaco-verde-y-para-que-sirve-caracteristicas-y-beneficios/?msclkid=c0ffc5b516ef14ba6d94adcf07646ca0&utm_source=bing&utm_medium=cpc&utm_campaign



Foto nº 5. Proyecto de buque propulsado por amoníaco y tanques en cubierta

Fuente: [amoniaco_informe_viabilidad-2.jpg \(993×499\)](#)

Ventajas

La principal ventaja del amoníaco⁹ como combustible naval —y el motivo principal de su desarrollo— son sus bajas emisiones contaminantes, que contribuyen de forma decisiva al proceso de descarbonización.

Otra ventaja es su facilidad de almacenamiento y suministro en tierra, gracias a que se transporta en estado líquido a temperatura ambiente y bajo presiones relativamente bajas. Esto facilita su manejo y gestión. Actualmente, más de 120 puertos¹⁰ internacionales ya cuentan con infraestructura para abastecer a buques con amoníaco, y varios más están en proceso de adaptarse.

Aunque el coste de producción del amoníaco verde sigue siendo superior al de los combustibles convencionales, su síntesis a partir de hidrógeno sin carbono mediante el proceso Haber-Bosch¹¹ es eficiente y totalmente escalable.

⁹ Uso del amoníaco como combustible marino merece respeto, 9 de jun. 2025.

<https://www.nuestromar.org/destacadas/uso-del-amoniaco-como-combustible-marino-merece-respeto-pero-no-debe-ser-temido/>

¹⁰ El amoníaco: una solución inmediata a la descarbonización naval, 11 de feb. 2025.

<https://www.mapreglobalrisks.com/gerencia-riesgos-seguros/articulos/amoniaco-solucion-inmediata-descarbonizacion-naval/#:~:text=El%20amoníaco%2C%20tradicionalmente%20utilizado%20en%20la>

¹¹ El proceso Haber-Bosch es un método industrial para sintetizar amoníaco (NH₃) directamente a partir de gases de nitrógeno (N₂) e hidrógeno (H₂) a alta temperatura y presión, en presencia de un catalizador. Desarrollado por los químicos alemanes Fritz Haber y Carl Bosch a principios del siglo XX. Proceso Haber-Bosch. 26 de abr 2015.

<https://www.bing.com/search?q=haber-bosch+process+ammonia&form>

Inconvenientes

El amoníaco presenta una densidad volumétrica significativamente inferior a la del gasoil marino, lo que obliga a utilizar tanques de mayor volumen. Esto reduce el espacio disponible para carga, con la consiguiente pérdida económica para el armador. Además, los tanques son más difíciles de adaptar a la forma del casco, lo que encarece su instalación.

Otro inconveniente es que, aunque no emite CO₂, sí genera óxidos de nitrógeno (NO_x), que contribuyen al efecto invernadero. A ello se suma su alta toxicidad: un derrame puede ser peligroso tanto para el personal que lo maneja como para el medio ambiente. Finalmente, hay que tener en cuenta que el amoníaco es un producto muy demandado por distintos sectores industriales, lo que puede limitar su disponibilidad para uso.

¿El futuro está escrito en amoníaco?

El amoníaco verde podría ser una de las piezas clave en el rompecabezas de la descarbonización marítima. Sin embargo, su éxito dependerá de superar retos técnicos, económicos y de seguridad.

Mientras tanto, la industria y las administraciones tienen una década para decidir si apuestan por él... o si será solo una estación de paso hacia otro combustible aún más limpio.

Grimaldi enciende motores para la era del amoníaco: 17 buques listos para la descarbonización.

En el impulso global hacia una navegación libre de carbono, el amoníaco emerge como uno de los combustibles más prometedores para reemplazar al gasoil. Grandes navieras ya lo incluyen en sus planes estratégicos, pero pocas con tanta determinación como el Grupo Grimaldi.



Foto nº 6. Grande Tianjin primer buque entregado a Grimaldi el 8 de agosto de 2025 adaptado para usar como combustible. Amoníaco Fuente: Grimaldi

El gigante napolitano ha situado el amoníaco en el centro de su plan de renovación de flota, con 17 nuevos buques PCTC ¹² certificados como *Ammonia Ready* por RINA¹³. Con 200 metros de eslora, capacidad para 9.000 vehículos y conexión a la red eléctrica en puerto, estas naves podrán funcionar con amoníaco libre de carbono. La inversión, superior a 630 millones de dólares, reducirá hasta un 50% las emisiones de CO₂ por carga transportada.

Grimaldi no está solo en esta apuesta: astilleros japoneses, surcoreanos y europeos trabajan ya en prototipos, mientras compañías como Maersk, Höegh Autoliners y operadores noruegos financian proyectos piloto. El desafío pasa por adaptar la infraestructura portuaria, garantizar el suministro de amoníaco verde y perfeccionar su almacenamiento seguro.

¹² PCTC (Pure Car & Truck Carrier)

¹³ La certificación *Ammonia Ready* de RINA es una calificación técnica que otorga la sociedad de clasificación italiana RINA (Registro Italiano Navale) a los buques cuyo diseño y construcción cumplen los requisitos para ser adaptados en el futuro al uso de amoníaco como combustible marino.

Metanol a bordo de los buques

El nuevo candidato para destronar al gasoil en alta mar

La transición energética ha llegado al sector marítimo. Tras décadas dependiendo del gasoil y, más recientemente, del gas natural, el metanol emerge como un fuerte candidato a convertirse en el combustible del futuro para la navegación.

Actualmente, unos 30 buques equipados con propulsión dual —capaces de operar con gasoil o metanol— ya surcan los océanos. Sin embargo, la cifra podría multiplicarse por seis en los próximos años, superando las 200 unidades, impulsada por regulaciones ambientales y la creciente demanda de soluciones sostenibles.

El metanol ofrece ventajas, pero también retos importantes. Su bajo poder calorífico, un 55% menor que el del gasoil, obliga a instalar depósitos más grandes: hasta 2,5 veces mayores que los del fuel pesado. Además, su coste de producción y la necesidad de rediseñar la arquitectura de los barcos representan desafíos clave. Pese a ello, la industria avanza decidida hacia un futuro más limpio y sostenible en alta m

¿De dónde sale este metanol “limpio”?

En el sector marítimo se apuesta por dos grandes vías de producción:

Biometanol¹⁴: se obtiene gasificando residuos sostenibles como restos ganaderos, agrícolas, forestales e incluso basura urbana. La clave aquí es evaluar bien el equilibrio entre eficacia y coste, aunque sería una buena solución al problema de la limpieza de montes, que tanto preocupa en la actualidad.

E-metanol: se produce a partir de hidrógeno generado con electricidad renovable y dióxido de carbono capturado.

Pese a los desafíos, el metanol avanza con fuerza, impulsando a la industria hacia **un** futuro más limpio y eficiente en alta mar.

¹⁴ Según un interesante informe técnico se afirma que los biocombustibles podrán ser utilizado a corto plazo y el metanol a largo El metanol como combustible alternativo para la descarbonización del transporte marítimo .15 de dic de 2023. El metanol como combustible alternativo para la descarbonización del transporte marítimo. <https://www.interempresas.net/construccion-naval/Articulos/509946->



Foto nº 7. Buque propulsado por metanol. Fuente: hydrocarbonprocessing.com

Ventajas que convencen a la industria marítima

Cero emisiones directas. Su combustión no produce CO₂ ni óxidos de nitrógeno, emitiendo únicamente vapor de agua¹⁵.

Renovable y flexible. Puede obtenerse mediante electrólisis del agua, lo que reduce la dependencia de los combustibles fósiles¹⁶.

Ahorro fiscal significativo. En un mundo donde los barcos pagan por cada tonelada de CO₂ emitida, el metanol podría suponer un ahorro¹⁷ de entre 259% y 459% por toneladas evitadas.

Simplicidad logística. Es líquido a temperatura ambiente, no requiere refrigeración ni materiales especiales para las tuberías.

Una de las grandes bazas del metanol es que, al ser líquido a temperatura ambiente, su almacenaje y distribución resultan relativamente sencillos. Sin embargo, esta ventaja logística viene acompañada de un reto mayúsculo: para obtener el mismo rendimiento térmico que con el fuel pesado, los tanques de metanol deben ser 2,5 veces más

¹⁵ DNV: El metanol como combustible alternativo para los portacontenedores es una opción fiable. 30 de sep de 2022. [DNV: El metanol como combustible alternativo para los portacontenedores es una opción fiable - Camae](https://www.dnv.com/press/2022/09/30/metanol-como-combustible-alternativo-para-los-portacontenedores-es-una-opcion-fiable)

¹⁶ Barcos de hidrógeno: el futuro limpio del transporte marítimo, 11 de jul, 2025. <https://cryospain.com/es/barcos-de-hidrogeno>

¹⁷ Descarbonización del Transporte Marítimo: Hidrógeno y Metanol como combustibles alternativos. 22 de nov 2024. <https://synerhy.com/2024/11/descarbonizacion-del-transporte-maritimo-hidrogeno-y-metanol-como-combustibles-alternativos/>.

grandes¹⁸. Incluso comparado con el GNL, requieren depósitos un 30% mayores. Un desafío de diseño que obliga a repensar el espacio disponible a bordo.

Tecnología disponible. La experiencia acumulada en su manipulación en tierra facilita su adopción en el bunkering marítimo¹⁹.

El metanol está llamado a jugar un papel clave en la carrera hacia un transporte marítimo más limpio. Pero su éxito dependerá de si la industria logra abaratar su producción, adaptar los buques y, sobre todo, gestionar sus riesgos. Si lo consigue, puede que en pocos años el característico olor a gasoil en los puertos sea solo un recuerdo del pasado.

Inconvenientes

A pesar de sus virtudes, el metanol presenta desafíos nada menores. En el terreno económico, su uso todavía supone un encarecimiento considerable, tanto por el precio del propio producto como por sus elevados costes de producción, aunque se prevé que estos puedan moderarse en un futuro cercano.

Desde el punto de vista químico, es un combustible agresivo con ciertos materiales, ya que actúa como un potente disolvente y absorbe agua, lo que puede favorecer la corrosión en los sistemas.

A esto se suma su menor poder calorífico: un 55% inferior al de la gasolina o el gasoil. Esto implica que los buques necesitan consumir más volumen de combustible, lo que obliga a diseñar depósitos²⁰ mucho más grandes para mantener la autonomía de navegación.

Por último, existe un factor de seguridad especialmente delicado: el metanol arde con una llama casi invisible, lo que en situaciones de emergencia o descontrol puede suponer un riesgo muy elevado para la tripulación.

¹⁸ DNV: El metanol como combustible alternativo para los portacontenedores es una opción fiable. 30 de nov de 2022. <https://www.vaffausa.org/blog/2022/12/06/dnv-el-metanol-como-combustible-alternativo-para-los-portacontenedores-es-una-opcion-fiable/>.

¹⁹ Se denomina bunkering al suministro de combustible a los barcos mientras están en el puerto o directamente en el mar, y es un proceso se lleva a cabo usando buques cisterna que actúan como estaciones de servicio flotantes. <https://lucera.es/blog/que-es-el-bunkering>

²⁰ Von der Leyen también disparará los costes del transporte por mar: usará metanol con mucho más consumo que el diésel. 21 de sep. de 2023. <https://www.libertaddigital.com/libremercado/2023-09-21/von-der-leyen-tambien-disparara-los-costes-del-transporte-por-mar-usaran-metanol-con-mucho-mas-consumo-que-el-diesel-7050849/>

¿Qué navieras están interesadas en el metanol?

Maersk abrió el camino en 2023 con el *Laura Maersk*, primer portacontenedores diseñado para operar con metanol y diésel, con capacidad para 2.100 TEU²¹. Fue el punto de partida para una flota de 12 megabuques de 16.000 TEU, algunos ya en servicio. En Asia, COSCO Shipping encargó 12 portacontenedores de 14.000 TEU. En el sector de los ferris, Stena Line revolucionó la navegación con el *Stena Germanica*, reduciendo emisiones de SOx en un 99% y de CO₂ en un 25% tras su conversión. Waterfront Shipping, Wallenius Wilhelmsen, Safebulkers, JPMorgan Global Transportation y la alianza Proman–Stena Bulk también avanzan en esta ruta, consolidando al metanol como combustible clave en la transición ecológica del transporte marítimo.

Hidrógeno

Un candidato con gran potencial para descarbonizar el transporte marítimo

El hidrógeno se perfila como uno de los combustibles más prometedores para lograr la descarbonización del transporte marítimo en el corto y medio plazo. Así lo afirman numerosos expertos, que ven en este gas una alternativa viable para reducir drásticamente las emisiones contaminantes.

Este combustible puede emplearse de dos maneras: directamente en motores adaptados para su uso o transformado en electricidad mediante pilas o celdas de combustible especialmente diseñadas. En ambos casos, es necesario almacenarlo a bordo y su utilización dependerá de factores como la velocidad de navegación, las condiciones meteorológicas o el tipo de embarcación.

El hidrógeno verde, la opción más limpia

En la carrera hacia la descarbonización, el hidrógeno se presenta como un combustible clave... pero no todo el hidrógeno es igual. Su “apellido” de color revela cómo se produce y cuán limpio es para el planeta, entre estos podemos encontrar: el gris, azul, turquesa, rosa o negro.

²¹ Conocido también como *Twenty-foot Equivalent Unit*, el acrónimo TEU está considerado como la unidad de medida más usada en toda la industria del transporte de mercancías por mar. Su uso está extendido en diversos contextos: por ejemplo, para determinar la capacidad de carga o calcular la actividad portuaria.

No obstante, aquí nos centraremos únicamente en el hidrógeno verde, producido mediante energías renovables. Su uso refuerza los esfuerzos internacionales para avanzar hacia sistemas de propulsión más limpios y reducir la dependencia de combustibles fósiles.

Si se emplea directamente en motores adaptados, el hidrógeno puede almacenarse comprimido o en estado líquido.

Hidrógeno comprimido: más adecuado para barcos pequeños.

Hidrógeno líquido: opción preferida para la mayoría de las embarcaciones, aunque requiere enfriarlo a $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$, lo que implica riesgos y cuidados especiales.



Foto nº 8. Tanque de Hidrogeno sobre la cubierta del barco.

Fuente: <https://stock.adobe.com/es/images/liquid-hydrogen-renewable-energy-in-vessel-lh2-hydrogen-gas-for-clean-sea-transportation-on-ship-with-composite-cryotank-for-cryogenic-gases/432949761>

Pilas de combustible: energía silenciosa y eficiente

Otra alternativa muy bien valorada es la pila de combustible o fuel cell, que genera electricidad combinando oxígeno e hidrógeno. Estas celdas, verdaderos convertidores electroquímicos, pueden diseñarse de forma específica según la aplicación.

Los buques propulsados con este sistema presentan dos ventajas clave: Reducción del ruido y menor vibración.

Esto los convierte en una solución idónea para buques de pasaje o ferris que operan en rutas cortas²² o aguas interiores, donde el repostaje es sencillo y frecuente. Además, existe la posibilidad de producir hidrógeno a partir de compuestos como el bioetanol, para luego liberarlo mediante un simple proceso de transformación.

Ventajas del hidrógeno como combustible marítimo

Cero emisiones de CO₂ y óxidos de nitrógeno: solo libera vapor de agua.

Puede producirse mediante electrólisis del agua, aprovechando energías renovables.

Buen rendimiento termodinámico, con un consumo relativamente bajo.

Interesante para armadores y operadores que buscan eficiencia en el transporte de mercancías y pasajeros

Inconvenientes y retos pendientes

Baja densidad: requiere grandes volúmenes de almacenamiento.

Necesidad de tanques criogénicos a bordo para mantenerlo líquido.

Costes elevados: el hidrógeno verde debe reducir²³ su precio a un tercio del actual para ser competitivo, aunque la industria trabaja activamente en ello.

Infraestructura limitada: hoy en día, pocos puertos cuentan con estaciones de recarga y las cadenas de suministro son complejas.

El hidrógeno aún enfrenta desafíos técnicos, económicos y logísticos, pero su potencial para transformar el transporte marítimo es innegable. Si la tecnología, la infraestructura y los costes evolucionan como se espera, podría convertirse en uno de los grandes protagonistas de la navegación sin emisiones a mediados de este siglo.

²² Revolución en el ámbito naval: posibilidades del buque propulsado por hidrógeno u otros electro-combustibles. [Los sistemas de propulsión del futuro para buques civiles y militares - Noticias Defensa](https://industria.defensa.com/noticias/los-sistemas-de-propulsion-del-futuro-para-buques-civiles-y-militares) [industria.defensa.com](https://industria.defensa.com/noticias/industria-defensa)

²³ Barcos de hidrógeno: el futuro limpio del transporte marítimo. 11 de jul 2025. <https://cryospain.com/es/barcos-de-hidrogeno>.

Buques Propulsados por Hidrógeno: El Futuro de la Navegación Limpia

Cuando se habla de hidrógeno en la mar, no basta con pensar en un solo tipo de barco. La tecnología actual nos ofrece dos caminos principales: los buques propulsados por hidrógeno puro y aquellos que utilizan pilas de combustible. A esto se suma un tercer protagonista en esta historia: los buques diseñados para transportar hidrógeno, un desafío tecnológico que marca el rumbo del sector.

Pilas de combustible: energía limpia a bordo

Los barcos equipados con pilas de combustible de hidrógeno son capaces de transformar este gas en electricidad para alimentar motores eléctricos, ya sea para la propulsión, los sistemas de servicio o aplicaciones auxiliares. El proceso es tan limpio como eficiente: el hidrógeno reacciona con oxígeno, generando energía, calor y agua como único subproducto.

Esta tecnología ya está presente en prototipos y se perfila como ideal para ferris de corta distancia o embarcaciones que operan en aguas interiores, donde la potencia requerida es menor y el repostaje frecuente es factible. Los buques de pasaje, además, se benefician de la reducción de ruido y vibraciones, mejorando la experiencia a bordo.



Foto nº 9. Ferry de hidrógeno. Fuente: Organización Marítima Internacional

Motores de combustión interna de hidrógeno

Otra línea de desarrollo son los motores de combustión interna adaptados al hidrógeno, que pueden modificarse a partir de los actuales motores diésel. Esto facilita la transición tecnológica, aunque con un rendimiento energético algo inferior al de las pilas de combustible. La gran ventaja: aprovechar infraestructura y conocimientos ya existentes.

Ingeniería criogénica: el gran reto

Para los buques mercantes medianos y grandes, el hidrógeno líquido es la opción más viable, pero requiere una ingeniería criogénica avanzada. Almacenar hidrógeno en estado líquido implica mantenerlo a temperaturas inferiores a $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$, en tanques de doble capa, acero inoxidable austenítico y aislamiento al vacío. Estos depósitos deben minimizar pérdidas y contar con tuberías y válvulas especiales.

Proyectos y realidades en marcha

Hoy en día ya navegan buques propulsados por hidrógeno en distintas configuraciones: almacenamiento líquido o en celdas de combustible. En la lista hay remolcadores, buques de investigación, embarcaciones de recreo, transportadores y ferris.

El reto logístico es claro: los puertos principales deberán contar con infraestructura de repostaje. Para ello, entran en juego los buques transportadores de hidrógeno, claves para abastecer la demanda.

Primer crucero del mundo con hidrogeno

El gran salto lo protagoniza el Viking ²⁴Libra, el primer crucero del mundo propulsado por hidrógeno. Este gigante contará con un sistema híbrido que combina hidrógeno líquido y pilas de combustible de membrana de electrolito polimérico (PEM), permitiéndole operar con cero emisiones directas de carbono.

El barco dispondrá además de un sistema propio de almacenamiento y recarga de hidrógeno, optimizando la disponibilidad de combustible durante cada itinerario. Con este proyecto, Viking y Fincantieri marcan un hito en la industria, demostrando que la propulsión con hidrógeno no solo es posible, sino que puede aplicarse a buques de gran porte.

²⁴ Viking Libra, el primer crucero del mundo propulsado por hidrógeno. 9 de abr de 2025. [Viking Libra, el primer crucero del mundo propulsado por hidrógeno - Cruises News Media Group](#).



Foto nº 10. El Viking Libra el primer crucero del mundo propulsado por hidrógeno.

Fuente: www.diarioelcanal.com

Barcos transportadores de hidrógeno: gigantes de la energía limpia

Suiso²⁵ Frontier²⁶: pionero en la ruta del hidrógeno

En 2021, el Suiso Frontier, construido por Kawasaki Heavy Industries en Japón, hizo historia. Fue el primer buque en transportar hidrógeno líquido (LH₂) desde Australia hasta Japón, recorriendo más de 9.000 km.

Con 116 metros de eslora y 19 de manga, operado por una tripulación de 25 personas, puede cargar 75 toneladas (1.250 m³) de hidrógeno enfriado a -253 °C, reduciendo su volumen 800 veces. El combustible se almacena en un tanque cilíndrico de doble capa fabricado en acero inoxidable austenítico²⁷ aislado al vacío.

²⁵ Suiso significa hidrogeno en japones.

²⁶ El Suiso Frontier, el primer buque de transporte de hidrógeno líquido (LH₂), buque del año 2021 en Japón. 26 de nov de 2021. <https://vadebarcos.net/2022/11/26/el-suiso-frontier-el-primer-buque-de-transporte-de-hidrogeno-liquido-lh2-buque-del-ano-2021-en-japon/>.

²⁷ El acero inoxidable austenítico contiene entre 16 y 25% de cromo y también puede contener nitrógeno en solución, los cuales contribuyen a su relativamente alta resistencia a la corrosión.



Foto nº 11. El Suiso Frontier, el primer buque en transportar hidrógeno líquido.

Fuente: <https://anave.es/botado-el-primer-buque-tanque-para-transporte-de-hidrogeno-liquido/>

Gaia: la gran cisterna del futuro

Si el Suiso Frontier probó que la logística era viable, el Gaia aspira a demostrar que puede ser rentable y masiva.

La firma C-Job Nava Architects²⁸ y LH2 Europe han presentado el Gaia, un buque cisterna²⁹ de 141 metros de eslora con tres tanques de 12.500 m³ cada uno, sumando una capacidad total de 37.500 m³ de hidrógeno líquido.

Esto equivale a abastecer 400.000 coches de pila de combustible o 20.000 camiones pesados.

²⁸ www.hibridosyelectricos.com.

²⁹ C-Job Naval Architects presentó buque cisterna con capacidad para suministrar hidrógeno a 400.000 coches de pila de combustible. 09 de may de 2022. <https://h2news.cl/2022/05/09/c-job-naval-architects-presento-buque-cisterna-con-capacidad-para-suministrar-hidrogeno-a-400-000-coches-de-pila-de-combustible/>.



Foto nº 12. Futuro buque de hidrógeno GAIA. Fuente: C-Job Naval Architects

Proteger el medio ambiente... también en puerto

La contaminación marítima no solo ocurre en alta mar. Cuando los buques están atracados, sus motores auxiliares siguen funcionando para generar electricidad, climatizar espacios y mantener servicios básicos, liberando gases contaminantes.

Para combatir este problema, la naviera Grimaldi ha desarrollado una mega batería de litio de más de 5 MWh, capaz de abastecer toda la energía que un barco necesita durante su estancia en puerto.

Esta innovación elimina el uso de generadores diésel, logrando cero emisiones en muelle y reduciendo el consumo de combustible, un paso decisivo hacia un transporte marítimo más limpio y sostenible.



Foto nº13. Buque atracado sin emitir ningún tipo de gases contaminantes. Fuente: Grimaldi.

Reducir emisiones³⁰ en el mar: mucho más que cambiar de combustible

En la carrera por una navegación sostenible, el diseño del casco se ha convertido en un aliado clave. Optimizar la forma, reducir la fricción con recubrimientos especiales y emplear materiales ligeros como fibra de carbono o aluminio permite disminuir el consumo de combustible y las emisiones.

Pero la innovación no se queda bajo el agua. En cubierta, paneles solares, turbinas eólicas y sistemas híbridos diésel-eléctricos se combinan con tecnologías inteligentes que ajustan el gasto energético según velocidad, clima o carga. Incluso la climatización y la iluminación LED aportan su granito de arena.

El objetivo es claro: barcos más limpios, inteligentes y preparados para un futuro de cero emisiones.

Conclusiones

La Organización Marítima Internacional (OMI) ha marcado un objetivo histórico: lograr que el transporte marítimo alcance cero emisiones en 2050.

³⁰ Eficiencia energética en barcos: estrategias de ingeniería naval.6 de sep de 2025.

<https://todoingenierias.com/eficiencia-energetica-en-barcos-estrategias-de-ingenieria-naval/>

El fueloil, aunque seguirá presente a corto plazo, tiene los días contados.

En su lugar, el Gas Natural Licuado (GNL) se consolida como combustible de transición, mientras que el verdadero futuro apunta hacia el metanol, el amoníaco y el hidrógeno.

Estos combustibles verdes prometen revolucionar la propulsión naval, aunque exigen superar retos técnicos y de seguridad.

El camino es desafiante, pero la ruta está trazada: mares más limpios, silenciosos y sostenibles ya son parte del horizonte marítimo.

El futuro del transporte marítimo no depende de una única solución, sino de la suma de innovación, combustibles verdes y eficiencia tecnológica. Solo así los océanos podrán respirar aliviados y la navegación convertirse en un verdadero aliado del planeta.

Bartolomé Cánovas Sánchez

Capitán de navío

Máster en Paz, Seguridad y Conflictos Internacionales