

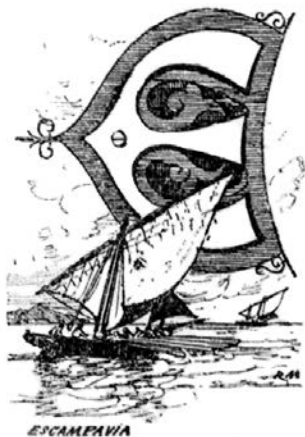
COMBUSTIBLES FUTUROS PARA LA PROPULSIÓN DE BUQUES

Raúl VILLA CARO
Doctor en Ingeniería Naval y Oceánica



*Nunca olvides que fue en Fene,
donde la mar te mostraron,
te botaron Arteaga
y las aguas vas surcando.*

Introducción



N la actualidad, la mayor parte de los buques del mundo están propulsados por motores diésel alimentados con combustible líquido, el llamado «gasoil marino». Por ello, en la búsqueda de soluciones alternativas para descarbonizar los océanos, ha empezado la carrera por encontrar combustibles alternativos limpios que puedan sustituir a los existentes. La descarbonización de la flota marítima es el principal reto al que se enfrentan los armadores, que están sometidos a gran presión por la normativa europea e internacional, a pesar de que el transporte marítimo contamina menos que el aéreo o que el que se lleva a cabo por carretera en su conjunto.

Hoy en día, el 99 por 100 de los buques se propulsan con gasoil marino, y el 99,9 por 100 de la energía que utilizan sigue siendo de origen fósil. Por lo tanto, para superar el reto de poder descarbonizar están llamando a la puerta los nuevos combustibles, que además se deben presentar en formato «verde» o «bio» para cumplir los objetivos de la descarbonización y alcanzar las ansiadas emisiones «cero» en el año 2050. Éste es el propósito refrendado en la reciente Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (COP28), en la que 198 Estados —entre ellos, y por primera vez, países productores de petróleo— firmaron a



Quimiquero *Stena Pro Patria*, buque a metanol de combustible dual.
(Fuente: Det Norske Veritas, DNV)

finales de 2023 un pacto para desarrollar tecnologías limpias y abandonar los combustibles fósiles, pero, eso sí, de manera justa y ordenada.

La mayor parte del gasoil marino contiene altos niveles de sustancias químicas y partículas nocivas, por lo que las emisiones resultantes producen grandes cantidades de óxido de nitrógeno (NO_x), óxido de azufre (SO_x), monóxido y dióxido de carbono (CO , CO_2) y de material particulado (PM), con concentraciones que varían según la posición, el movimiento y la velocidad del barco. Su extendido uso se basa en que estos combustibles son fáciles de transportar a presión atmosférica y a temperatura ambiente, ya que se trasiegan con facilidad por las tuberías y se adaptan bien a los espacios disponibles dentro de los buques, con un aprovechamiento óptimo del volumen de los tanques.

Por otro lado, los nuevos combustibles presentan ventajas e inconvenientes. Unos pueden ser más baratos de fabricar, otros más seguros y algunos, como los biocombustibles, de adaptación técnica a bordo menos dificultosa. En cualquier caso, de momento no existen ni combustibles ni tecnologías de «cero emisiones» para el transporte marítimo, ya que los denominados como nuevos se utilizan, y de manera puntual, en motores dual fuel, en los que se sigue quemando gasoil marino, aunque siendo el fueloil el combustible secundario de la propulsión.

El motor marino actual puede quemar prácticamente cualquier combustible, pero por lo general se usa el más barato, que desgraciadamente suele ser el más contaminante. Por ello, hace décadas comenzaron las pruebas con combustibles que pudieran reducir inicialmente el azufre (y otras sustancias contaminantes) y, posteriormente, el CO_2 . De esta manera se empezó a probar con el LNG (gas natural licuado o GNL por sus siglas en español) y después con el metanol, el amoníaco y el hidrógeno.



Botadura del *Stena Pro Patria*.
(Fuente: *Revista Ingeniería Naval*)

LNG

En el pasado cercano se pensó que con el LNG se podría haber encontrado la solución a la contaminación, pero este combustible ha sido considerado de transición, por no cumplir con el objetivo de descarbonizar mediante emisiones cero. En cualquier caso, se lleva usando desde hace cincuenta años, y se sigue mejorando; prueba de ello son los 355 buques mercantes propulsados por este gas que navegan por el mundo hoy en día y los pedidos en cartera existentes de otros 500 barcos que se incorporarán a la flota mundial a lo largo de la próxima década. Además, ya existen alrededor de 200 puertos dotados de infraestructuras para este tipo de buques.



La empresa Baleària en España apuesta por buques duales propulsados por LNG y gasoil marino. (Fuente: *Harbour Pilot*)

Por lo tanto, el LNG está posicionado a medio camino entre los combustibles fósiles más contaminantes y las energías limpias renovables. El motivo por el que se le considera una energía limpia se debe a su menor producción de emisiones durante su combustión, reduciendo las de dióxido de carbono en aproximadamente un 25 por 100 respecto al resto de combustibles fósiles.

Nuevos combustibles

En los últimos años se está hablando mucho de los electro-combustibles, entre los que el amoniaco, el metanol e incluso el propio hidrógeno destacan como opciones de futuro. Pero de momento, y como ya se ha indicado, nos encontramos muy lejos de esa posible realidad futura, ya que actualmente la mayor parte de los buques mercantes se propulsan con los tradicionales motores diésel, que queman gasoil marino, bien sean combustibles pesados (HFO), bajos (MDO) o de muy bajo contenido de azufre (LSHFO).

En cualquier caso, ya se están llevando a cabo pruebas con motores marinos modificados, que pueden quemar amoniaco y metanol verde, y existen buques que se propulsan con estos combustibles. La principal barrera para imponer su uso se encuentra en su densidad volumétrica, que obliga a que los barcos tengan



Buque de Baleària atracado en el puerto de Valencia. (Fuente: *Harbour Pilot*)

que sacrificar parte de su capacidad de carga para alojar los nuevos combustibles, menos densos que el gasoil marino, y cuyos tanques de carga no se adaptan tan bien a las formas del casco como lo hacen los de fueloil. Por ejemplo, los nuevos grandes portacontenedores que está encargando la naviera Maersk, de 17.000 TEU (*Twenty Equivalent Unit*), tendrán que renunciar al volumen de carga equivalente a 700 TEU para poder transportar metanol, o a 500 si se quieren propulsar con amoniaco.

Respecto a los biocombustibles, en España ya se han llevado a cabo pruebas satisfactorias con biofuel de segunda generación, que puede llegar a reducir hasta el 85 por 100 las emisiones de CO₂ frente al uso de combustibles fósiles tradicionales. Por lo tanto, alternativas como los biocombustibles o el uso del propio LNG pueden ser soluciones para que el transporte marítimo logre alcanzar el objetivo de «emisiones cero» previsto para el año 2050. Pero para llegar a esta ansiada meta, no todo se solucionará con los nuevos combustibles, sino que también se deberá dar una combinación de diferentes factores que incluyan: la utilización de combustibles alternativos, intervención de nuevas tecnologías y sistemas de propulsión que sean más eficientes con el empleo de la energía.

Categorías de los combustibles

Desde el punto de vista de la descarbonización, existen tres categorías de combustibles: grises, azules y verdes. Los grises son aquéllos que producen



Buque de Baleària de propulsión dual con LNG y fueloil. (Fuente: *Harbour Pilot*)

emisiones que no son capturadas; los azules corresponden a los que producen emisiones de carbono, pero que son capturadas, y los verdes son los ideales, los más buscados, los que no generan emisiones de carbono y que obviamente deben proceder de las energías renovables, ya que de otra manera no servirían para poder cumplir la meta de la descarbonización.

Como ya hemos señalado, actualmente sólo el 1 por 100 de los buques mercantes navega quemando combustibles alternativos más limpios. Esto se debe, entre otras causas, a que su implantación no es fácil, ya que los tradicionales se ajustan mejor a las formas de sus cascos y al trasiego por sus tuberías. En cualquier caso, el panorama mejora cuando miramos a los futuros buques en cartera, de los que al menos la cuarta parte están diseñados para adaptarse a estos combustibles, aunque, eso sí, mediante propulsiones duales. Para los armadores las opciones de combustibles alternativos comprenden principalmente: LNG, amoniaco, metanol y biocombustibles.

Ventajas y desventajas de los nuevos combustibles

En el caso del LNG, una de sus principales ventajas radica en que ya existen alrededor de 200 puertos en el mundo que cuentan con infraestructuras para



Buque gasero saliendo de puerto. (Fuente: *Harbour Pilot*)

buques que funcionen con este combustible. Si bien es verdad que el LNG tiene menor impacto medioambiental que los combustibles tradicionales (en cuanto a azufre principalmente), no debemos olvidar que es de origen fósil y produce cantidades importantes de gases de efecto invernadero a través de las emisiones de CO_2 y de los escapes de metano, aspecto éste en el que la industria está trabajando y que ha mejorado de manera significativa en los últimos tiempos.

En cuanto al amoniaco, su principal ventaja está en que no emite carbono y necesita menos espacio para almacenamiento que el que requieren los combustibles de hidrógeno. Pero los motores de amoniaco aún se están desarrollando y, a pesar de que ya hay algunos operativos, llegan con una década de retraso respecto a los de metanol, aunque se espera que para este año 2024 tengan un impulso importante. Por contra, el amoniaco emite óxido de nitrógeno, que es un gas de efecto invernadero 300 veces más potente que el CO_2 . Adicionalmente, los derrames de amoniaco son extremadamente tóxicos y peligrosos, tanto para las personas como para el medio ambiente, inconvenientes a los que se suma que se trata de un combustible demandado por múltiples sectores, por lo que su oferta será muy limitada.

Los problemas del amoniaco están llevando a que el metanol se esté convirtiendo en el combustible alternativo con más adeptos, debido a sus bajas



Buque gasero navegando. (Fuente: *Harbour Pilot*)

emisiones y a su fácil manipulación y producción. Por otra parte, la mayoría de los buques tienen la posibilidad de poder quemarlo tras pequeñas modificaciones en sus motores. Sin embargo, como en el caso del amoníaco, su desventaja también radica en la escasa capacidad de producción, ya que la oferta del metanol también es limitada y su uso tal vez sea prioritario para otras industrias. Además, aunque no sea tan peligroso como el amoníaco, también es tóxico en caso de derrames.

Finalmente, los biocombustibles se producen con aceite vegetal y animal, por lo que son positivos para el medioambiente y podrían utilizarse sin modificar los motores de los buques. Por otro lado, no aumentan las emisiones netas de carbono a la atmósfera, dado que el carbono que liberan es compensado por el carbono capturado durante su producción. Por lo tanto, serían un excelente combustible a corto y medio plazo, pero también existe un problema para su utilización: su producción a gran escala es compleja y su implantación para su uso en buques se presenta muy dificultosa.

El metanol verde

El hidrógeno verde producido a partir de la electrólisis del agua mediante el aprovechamiento de energías renovables tiene un enorme potencial en la producción de metanol verde. Por su parte, el hidrógeno azul, que se produce empleando tecnologías de captura de carbono, ofrece una alternativa a largo plazo en la transición energética de la producción de metanol aunque, como ya se ha indicado, parece de difícil adaptación en el caso de los buques. El metanol verde, comparado con otros nuevos combustibles, es relativamente seguro para el abastecimiento y tiene un precio atractivo.

Por todo ello, ha ido ganando seguidores en la industria del transporte marítimo en los últimos tiempos. Entre otros, el mercado naval chino apunta hacia esta opción, ya que gran parte de los buques podrían tener la capacidad de poder usarlo previas pequeñas modificaciones en sus motores. China ya es líder en la producción de energía renovable (algo necesario para obtener el metanol verde líquido) y este cambio podría mejorar sus ambiciones de descarbonización.

Además, desde el año 2016 navegan buques quimiqueros que queman metanol, utilizando una parte segregada de la carga como combustible, de manera similar a lo que hacen los gaseros. Hasta ahora el número de barcos propulsados por metanol era de unos 30, cantidad que se verá aumentada con los pedidos en cartera existentes, pudiendo alcanzar en los próximos años las 200 unidades.

Un claro ejemplo del éxito en la aplicación del metanol fue el del *Stena Germanica* en el año 2015, un barco de pasaje que consiguió reducir en un 99 por 100 las emisiones de óxido de azufre y en un 25 por 100 las de dióxido de carbono utilizando metanol como combustible principal y fuel como secundario.

Otro referente del uso de metanol verde lo ha protagonizado Maersk (la mayor empresa de transporte de contenedores del mundo) a través del diseño de portacontenedores que llevarán metanol verde como combustible. No obstante, sus buques estarán dotados de un sistema dual de propulsión, mediante metanol verde y combustible convencional bajo en azufre. El objetivo que Maersk persigue es que sus barcos puedan realizar viajes de ida y vuelta, ya en 2024, propulsados solamente con metanol verde para contaminar lo menos posible.

Pero el mayor obstáculo que podemos encontrar con este combustible es que haya oferta suficiente para que los buques puedan realizar todas sus operaciones. Actualmente, la industria mundial de metanol verde es muy pequeña y los productores comerciales son escasos, lo que hace que su precio sea mucho más elevado que el de otros tipos de combustibles o incluso del propio metanol obtenido de manera gris y contaminante.

Y es que, hasta ahora, el metanol se obtiene principalmente a partir de combustibles fósiles, y en los últimos años su producción se ha duplicado debido, en gran parte, al gran crecimiento del mercado chino. Además, se espera que esta demanda siga aumentando, ya que se utiliza en diferentes sectores industriales.

Las características del metanol, líquido a temperatura y presión ambiente, le convierten en un combustible sencillo y fácil de manejar, además de ser compatible con la mayor parte de los motores (al contrario del LNG, el cual necesita de adaptaciones especiales en los tanques para mantener su estado líquido).



Buque a metanol navegando. (Fuente: Proman Stena Bulk)

Además, el metanol comparte con el LNG la característica de bajo punto de inflamación.

Para finalizar este apartado, recordar que para la obtención de la condición de combustible «verde» se deben evaluar y tener en cuenta tanto las emisiones emitidas en el proceso de producción como las producidas en el de combustión.

Clases de metanol

La producción mundial de metanol se acerca a los 200 millones de toneladas anuales y numerosos puertos ya disponen de instalaciones para su carga y descarga. Es decir, hay disponibilidad suficiente para su uso en el transporte marítimo pero, como se señaló con anterioridad, existe un problema para su implantación: no es verde.

Actualmente, menos del 1 por 100 del metanol que se fabrica podría considerarse verde, lo que impacta con los más de 200 buques que lo necesitarán para poder operar de manera verde. Por lo tanto, ahora mismo no existe metanol verde para ellos, por lo que será necesario desarrollar esa capacidad. El 99 por 100 del producido actualmente es «metanol gris» derivado del gas natural y no ofrece ninguna ventaja en términos de descarbonización respecto a los combustibles fósiles. Hay que recordar que el único objetivo perseguido debe ser



Buque dual a metanol. (Fuente: Maersk)

el del uso de metanol libre de emisiones contaminantes, del que existen tres clases:

- Metanol azul: el CO₂ que emite este combustible al quemarse se elimina de la atmósfera bien antes de su uso o bien en la propia chimenea del buque, en un proceso que se denomina CCS (*carbon capture and storage*). Respecto a este procedimiento se debe indicar que en la actualidad no es posible capturar todo el CO₂ que sale de la chimenea de un buque, por lo que en realidad en un barco estaríamos usando un sistema mixto de metanol azul y metanol gris.
- E-metanol: se sintetiza en base a hidrógeno producido sin emisiones de CO₂, normalmente mediante electrólisis utilizando electricidad renovable. En este caso, hay que aportar moléculas de carbono en forma de CO₂ obtenido por CCS. Este combustible será neutro en carbono, porque el CO₂ emitido al quemarlo se habrá retirado previamente de la atmósfera.
- Biometanol: el metanol se fabrica como en el caso anterior, pero ahora el CO₂ no procede de un proceso CCS, sino de residuos orgánicos. También se podría conseguir mediante la transformación química de los residuos, pasando por biogás, por ejemplo.

En todas sus formas de obtención, el metanol es caro, aunque el biometanol es más barato de producir que el e-metanol, por lo que la mayor parte de los armadores que están apostando por su uso optan por el biometanol. Esto, sumado a la mayor inversión inicial en el buque, hace que por ahora no sea competitivo usar metanol verde como combustible.

No obstante, existen razones por las que tal vez los armadores se estén animando a su uso futuro, entre las que destaca la posibilidad de mezclar fácilmente metanol verde con metanol gris. Con la combinación de este último, mucho más barato, se podrían alcanzar los requerimientos de la OMI (Organización Marítima Internacional) para la década 2030-2040, en la que todavía no será exigida la descarbonización total, requerimientos que, por cierto, también podrían obtenerse con el uso del LNG.

Para poder tener la capacidad necesaria de oferta, las empresas navieras más potentes están desarrollando contratos para proveer de metanol verde a sus buques, concretamente biometanol. Maersk, por ejemplo, ha firmado acuerdos de suministro de biometanol con diferentes países, entre ellos España, Dinamarca, Egipto, Singapur, China y Estados Unidos. En algunos casos, más que contratos, son declaraciones de intenciones, aunque otras navieras importantes con buques a metanol en cartera están llevando a cabo procedimientos similares, como por ejemplo Cosco, Evergreen, MOL, etcétera.

En lo que respecta a España, en octubre 2022 Maersk firmó acuerdos de intención para invertir hasta 10.000 millones de euros en instalaciones para la



Buque propulsado a LNG atracado. (Fuente: *Harbour Pilot*)

producción de biometanol en Andalucía y Galicia. Estos proyectos se van confirmando y recientemente se dio el primer paso mediante una inversión de 900 millones en el puerto de Huelva para una planta para fabricar metanol verde.

Hay que incidir además en que la posible escasez se refiere a metanol verde, no a metanol gris, del que hay mucha disponibilidad y capacidad de producción mundial. Por tanto, en caso de falta de metanol verde los buques podrían seguir navegando quemando metanol gris.

El futuro del amoniaco

La naviera EXMAR anunció a finales de 2023 la firma de un contrato para dotar a sus nuevos buques en cartera de motores duales propulsados con fueloil y amoniaco. Se trata de unos gaseros medianos de 46.000 m³ que entrarían en servicio en el año 2026. Adicionalmente, tras la singladura ecológica iniciada por el buque *Yara Birkeland*, el primer portacontenedores eléctrico del mundo, la empresa Yara Clean Ammonia y el operador noruego de contenedores North Sea Container Line acaban de anunciar que también en 2026 entrará en servicio el *Yara Eyde*, que será el primer portacontenedores propulsado con amoniaco puro.



Buque de Baleària de propulsi3n dual por LNG y gasoil.
(Fuente: *Harbour Pilot*)

Conclusiones

La flota marítima mundial está propulsada principalmente por motores diésel que funcionan con fueloil marino; pero en la actualidad también existen barcos alimentados por LNG, y este año próximo aparecerán en escena, de manera comercial, los grandes buques alimentados por metanol u otros combustibles líquidos, con motores duales, que cumplirán con los requisitos mínimos exigidos por la OMI de cara al año 2030.

Se debe incidir en que las nuevas unidades con motores duales continuarán quemando fueloil junto a los nuevos combustibles. El gasoil marino será secundario, pero seguirá siendo necesario en la propulsi3n. Adicionalmente, no se debe olvidar que la obtenci3n del metanol o del amoniaco se debe efectuar de forma verde y limpia, ya que hacerlo a partir de combustibles f3siles o vía LNG, por ejemplo, no cumpliría los condicionantes de descarbonizaci3n marcados por la OMI en la b3squeda de emisiones cero. Se deben fabricar «e-combustibles» o «bio-combustibles».

En la actualidad, el hidrógeno no se transporta como carga marítima, y las experiencias como combustible marino se limitan a proyectos de buques



Buque de Baleària. (Fuente: *Harbour Pilot*)

prototipo. Sin embargo, las tecnologías de metanol son más maduras y ya existen en usos comerciales, aunque la mayor parte de los barcos que se impulsan con este combustible son los que lo transportan. Pasada ya una década desde la llegada de los primeros buques propulsados a metanol, el mercado se ha estabilizado un poco, y a los primeros encargos les siguieron otros similares de buques preparados para quemar metanol con motores duales. Curiosamente, los primeros contratos surgieron más por razones económicas (al poder aprovechar parte de la carga para la propulsión) que medioambientales, a pesar de que las ventajas en este aspecto fueran tangibles.

En cuanto al amoníaco, que llega con una década de retraso respecto al metanol y con el hándicap asociado de su gran toxicidad, tendrá que luchar en desventaja para establecer su nicho de mercado, teniendo en cuenta además sus costes iniciales, algo superiores a los del metanol. Aunque también es cierto, al menos teóricamente, que la fabricación de amoníaco verde consume menos energía renovable que la de e-metanol. En relación a esto, IRENA (la Agencia Internacional de Energías Renovables) predice que para el año 2050 el amoníaco verde será la fuente de energía predominante en el sector marítimo.

Para finalizar, no debemos olvidar que todos estos nuevos combustibles serán muy peligrosos y encarecerán el transporte marítimo, ya que, por ejemplo, los grandes barcos portacontenedores que está encargando Maersk tendrán que



Buque dual-fuel a metanol navegando. (Fuente: Proman Stena Bulk)

sacrificar el espacio equivalente a un número determinado de TEU si quieren usar metanol o amoniaco para su propulsión. Y además queda otra asignatura pendiente: los barcos de pesca, para los que actualmente parece materialmente imposible —tanto por peso como por espacio (de cara a la estabilidad)— apostar por estas soluciones para alcanzar la descarbonización.



BIBLIOGRAFÍA

- GUTIÉRREZ FRAILE, Rafael: «El año del metanol». *Revista de Ingeniería Naval*, noviembre 2023.
VILLA CARO, Raúl: «El hidrógeno en el ámbito marítimo: posibilidad del buque de hidrógeno». *Revista de Ingeniería Naval*, noviembre 2022.

Dotación de la fragata *Santa María* tras la finalización de la CALOP en el golfo de Cádiz y mar de Alborán.
(Foto: Francisco García Flores).

