

La energía nuclear marítima: regreso al futuro

Aurelio Lázaro Chueca, PhD

Transición Energética

Descarbonización, Combustibles Alternativos

La descarbonización del transporte marítimo se ha convertido en uno de los mayores retos de la transición energética global. Los combustibles alternativos como el hidrógeno, el metanol o el amoníaco presentan limitaciones físicas, logísticas y económicas que impiden su desarrollo inmediato y generalizado. En este contexto, la energía nuclear reaparece en el debate no como una promesa futurista, sino como una tecnología conocida, probada y deliberadamente relegada durante décadas por razones ajenas a su viabilidad técnica. La elevada densidad energética del uranio, su capacidad para operar sin emisiones directas y su autonomía prolongada aconsejan reconsiderar su papel en un escenario marcado por objetivos climáticos y de independencia energética cada vez más exigentes y márgenes de maniobra cada vez más estrechos para poner en marcha soluciones realistas.

Este artículo analiza las ventajas, límites y condiciones bajo las cuales la propulsión nuclear podría constituir una opción estratégica para determinados segmentos del transporte marítimo comercial. Lejos de plantear soluciones universales, se exploran los avances recientes en reactores modulares, las barreras regulatorias y jurídicas existentes, y el papel clave de los puertos y la aceptación social en cualquier posible despliegue futuro.

Las **necesidades energéticas** y la capacidad para abastecerlas han marcado las posibilidades de desarrollo de las sociedades, desde las primitivas basadas en la madera para cocinar y calentarse hasta la actualidad en que la sociedad utiliza una variedad de **fuentes** y **vectores energéticos**. La **energía** no es un bien más si no que su disponibilidad condiciona la producción y el uso de cualquier otro, de ahí su importancia en el funcionamiento y posibilidades de desarrollo de las sociedades.

Una buena parte de la energía que consumimos la obtenemos a partir de procesos de combustión que, además de energía, generan una serie de subproductos (como el dióxido de carbono, los óxidos de nitrógeno o el material particulado) que se han probado perjudiciales sobre la salud humana y a nivel medioambiental.

Desde que la humanidad ha tomado conciencia de ese hecho se ha puesto el foco en la utilización de **tecnologías energéticas** que permitan reducir las emisiones asociadas y para ello es necesario reducir y limitar los procesos de combustión de hidrocarburos que protagonizan una parte mayoritaria de la propulsión móvil de vehículos, aviones o barcos. En el proceso de **descarbonización**, las aplicaciones de movilidad ligera (automóviles) han comenzado la **transición a tecnologías de base eléctrica** que descarbonizarían la actividad siempre y cuando la electricidad usada se origine a partir de **fuentes renovables**. Las aplicaciones pesadas (aviones y barcos) requieren cantidades de energía que son difíciles de almacenar en los soportes eléctricos (baterías) y requieren otro tipo de **soluciones tecnológicas**.

Centrándonos en la **movilidad marítima**, las soluciones que están actualmente más desarrolladas son los **combustibles sintéticos** como el **hidrógeno** y sus derivados (**metanol** y **amoníaco**). No obstante, estos combustibles presentan ciertas limitaciones respecto a los combustibles convencionales que condicionan su aplicabilidad al sector.

Durante las primeras fases de despliegue de la **energía nuclear** se consideraron aplicaciones de esta tipología, pero las ventajas prácticas e inmediatas derivadas del uso de combustibles fósiles y una moratoria generalizada de la tecnología limitaron estas aplicaciones a casos muy concretos tales como la propulsión de submarinos y portaviones militares y algunas, escasas, aplicaciones civiles. En este artículo se analizan las ventajas y limitaciones que puede tener esta solución tecnológica.

La descarbonización marítima y el retorno de un debate postergado

En diciembre de 1953, el **presidente** de los **Estados Unidos** pronunció ante la **Asamblea General de las Naciones Unidas** el discurso conocido como *Atoms for Peace* en el que se proponía un **marco internacional** para promover el **uso civil** de la **energía nuclear** como instrumento de progreso económico, cooperación internacional y desarrollo pacífico, en contraposición a su asociación exclusiva con aplicaciones militares.

Más de siete décadas después, el **sector marítimo comercial** se enfrenta a un desafío de naturaleza distinta, pero comparable en magnitud: alcanzar una **descarbonización** profunda sin comprometer la **eficiencia operativa** ni la **viabilidad económica** del **comercio**

internacional. En este contexto, la **energía nuclear** reaparece en el debate marítimo no como una novedad tecnológica, sino como una opción históricamente conocida que ha permanecido al margen del desarrollo civil del transporte marítimo por razones fundamentalmente **regulatorias, políticas y sociales**.

Teniendo en cuenta que el objetivo es una **descarbonización** completa del **transporte marítimo** global, ¿es razonable excluir de antemano una tecnología que ofrece **cero emisiones** en operación, una **densidad energética** muy superior a cualquier combustible químico y una **autonomía** compatible con las exigencias del transporte oceánico? La pregunta no implica una adopción inmediata ni generalizada, pero sí obliga a reconsiderar los límites actuales del debate tecnológico.

La **propulsión nuclear** en el **ámbito marítimo** cuenta con experiencia operativa en aplicaciones navales y civiles especializadas. Además, el desarrollo reciente de **reactores modulares**, caracterizados por diseños intrínsecamente seguros y sistemas de protección pasiva, ha reactivado el interés por su posible uso en aplicaciones comerciales distintas de las plantas de potencia. No obstante, su incorporación al **transporte marítimo civil** plantea desafíos significativos en materia de **regulación internacional, responsabilidad civil, aceptación social y gestión portuaria**, que hasta la fecha no han sido abordados de forma sistemática y detallada.

El reto energético del transporte marítimo de gran escala

El **transporte marítimo internacional** constituye uno de los pilares fundamentales de la **economía global**, al canalizar en torno al **80% del comercio mundial** en términos de volumen. Esta centralidad explica que cualquier transformación de su **base energética** tenga implicaciones sistémicas que trascienden el propio sector, afectando a las **cadena de suministro**, la **seguridad alimentaria**, la **estabilidad de los mercados** y la **competitividad industrial** a escala global.

Desde un punto de vista energético, el **transporte marítimo** se caracteriza por una dependencia estructural de fuentes de alta densidad energética, capaces de sostener operaciones continuas de elevado consumo energético durante largos periodos, en entornos aislados y con elevados requisitos de fiabilidad. Los **grandes buques oceánicos** concentran una parte sustancial del consumo energético del sector y, de forma correlativa, de sus **emisiones**.

Este contexto obliga a reconocer que la **descarbonización del transporte marítimo** no puede abordarse mediante un enfoque tecnológico único. La diversidad de tipologías de **buque, perfiles operativos y rutas comerciales** exige un abanico amplio de soluciones, adaptadas a las características específicas de cada segmento. En este marco, la exclusión *a priori* de determinadas opciones energéticas (por razones históricas o psicológicas) puede limitar innecesariamente la capacidad del sector para alcanzar los objetivos climáticos fijados a medio y largo plazo.

La respuesta predominante a este desafío se ha articulado en torno al desarrollo y despliegue de **combustibles alternativos** de **origen renovable** o **bajo en carbono**, como el **metanol**, el **amoníaco** o el **hidrógeno**. Si bien estas opciones representan avances relevantes frente al uso de combustibles fósiles convencionales, su aplicación generalizada en el **transporte marítimo** de gran escala presenta limitaciones físicas y operativas significativas que no pueden ser ignoradas.

En primer lugar, la **densidad energética volumétrica** y **gravimétrica** de estos **combustibles** es sensiblemente inferior a la de los combustibles marinos tradicionales. Esta característica se traduce la necesidad de dedicar más espacio en el **buque** para almacenamiento de combustible, con impacto directo sobre el **diseño** del buque, la **carga útil disponible** y la **eficiencia económica** de la operación. A modo ilustrativo, un portacontenedores de 24.000 TEU en una sola travesía entre Shanghái y Valencia consume aproximadamente 5.500 toneladas de **combustible marítimo** (que ocupan unos 5.600 m³) lo que equivale energéticamente a más de 1.800 toneladas de **hidrógeno** (que en su forma líquida ocupan unos 25.400 m³), unas 11.000 toneladas de **metanol** o amoníaco (que ocupan unos 13.900 m³ y 16.200 m³ respectivamente) como referencia una piscina olímpica alberga unos 2.500 m³ de agua. El equivalente en masa de uranio sería 3 kilogramos que ocuparían aproximadamente 0,00014 m³, es decir, menos de la mitad de un bote de refresco.

En segundo lugar, la adopción de **nuevos combustibles** requiere la existencia de **cadena de suministro globales** que hoy no están desarrolladas. La producción a gran escala de combustibles sintéticos renovables exige cantidades significativas de **energía limpia**, **infraestructuras industriales complejas** y una **coordinación internacional** que todavía se encuentra en fases iniciales. Desde la perspectiva **portuaria**, ello implica inversiones muy importantes en nuevas **infraestructuras** de **almacenamiento**, **manipulación** y **seguridad**, con horizontes de amortización largos y elevados niveles de incertidumbre económica y regulatoria. La ausencia de necesidades de recarga de uranio durante la vida operativa del barco hace innecesarias instalaciones de **recarga de combustible en puertos**. El combustible se cargaría bien en las instalaciones del fabricante del reactor o bien en el astillero de construcción. Cabe recordar que los elementos combustibles presentan baja radioactividad previamente a su uso, lo que permite un proceso de transporte e instalación no excesivamente complejo aplicando las normas de seguridad adecuados ya conocidos.

A estas limitaciones se suma la cuestión de la **eficiencia energética** del sistema en su conjunto. En muchos casos, los **combustibles alternativos** implican cadenas de conversión energéticas largas —**electricidad renovable**, **producción de hidrógeno**, **síntesis de combustibles**, **transporte** y **uso final**— con pérdidas acumuladas significativas. Para determinados perfiles operativos, estas pérdidas pueden comprometer la **viabilidad económica y ambiental** de la solución cuando se analiza desde una perspectiva de ciclo de vida completo. El uranio existe en la naturaleza y se extrae de ella. Es necesario realizar un proceso de enriquecimiento para aumentar el porcentaje isotópico del material fisil. Este proceso es el mismo que el que se requiere para **centrales nucleares** convencionales por lo que se integraría en las cadenas ya existentes.

Es precisamente en este espacio, definido por las limitaciones físicas de los **combustibles alternativos** en el **transporte marítimo** de gran escala, donde la **propulsión nuclear** comienza a adquirir relevancia estratégica. Su potencial no radica en sustituir de forma generalizada a otras tecnologías, sino en ofrecer una solución específica para aquellos casos en los que la **densidad energética**, la **autonomía** y la **estabilidad operativa** constituyen requisitos de diseño.

La propulsión nuclear en el ámbito marítimo: estado del arte y evolución reciente

La **propulsión nuclear** aplicada a **plataformas marítimas** no constituye un desarrollo experimental ni una tecnología emergente en sentido estricto. Desde mediados del siglo XX, los **reactores nucleares** han sido utilizados de forma continuada en **aplicaciones navales**, especialmente en **submarinos y portaaviones**, así como en **flotas civiles** especializadas como los rompehielos operativos en el ártico. Estas aplicaciones han demostrado, durante décadas de operación acumulada, elevados niveles de **fiabilidad, disponibilidad y seguridad**, incluso en entornos operativos exigentes y aislados.

Tabla 1 | Experiencias operativas de buques civiles con propulsión nuclear

Nombre	País	Periodo	Tipo / Experiencia
NS Savannah	Estados Unidos	1962–1972	Primer barco mercante nuclear construido (programa Atoms for Peace). Potencia 74 MW (LWR). Capacidad (14000 t y 60 pasajeros). Demostró viabilidad técnica pero costes y complejidad operativa la hicieron poco rentable.
NS Otto Hahn	Alemania	1968–1979	Buque de carga experimental nuclear. Construido como buque mercante y plataforma de investigación. Reactor de 38 MW. Operado durante 10 años antes de conversión a diésel.
NS Mutsu	Japón	1991	Buque experimental. Navegó durante 110 días acumulando 2320 horas de operación
Lenin	URSS	1959–1989	Primer rompehielos y primer buque civil con propulsión nuclear del mundo; varios reactores y servicio prolongado.
Sevmorput	Rusia	1988–2007; 2016–2023	Uno de los cuatro rompehielos nucleares actualmente en operación. 135 MW.

Fuente: *Historic survey on nuclear merchant ships, Nuclear Engineering and Design, 2015 y Rosatom*

No obstante, la extrapolación directa de estas experiencias al **transporte marítimo comercial civil** no es inmediata. Los **reactores navales** tradicionales han sido diseñados bajo criterios específicos de defensa, empleando en muchos casos **combustible** altamente enriquecido y regímenes operativos que no serían aceptables (ni necesarios) en un contexto civil. Esta diferencia explica en parte por qué los primeros intentos de **aplicación comercial** de la **propulsión nuclear** —como el NS Savannah en Estados Unidos o el NS Otto Hahn en Alemania—, aunque exitosos desde el punto de vista técnico, no lograron consolidarse

como **soluciones económicamente competitivas** en un entorno dominado por **combustibles fósiles baratos y abundantes**.

Ilustración 1 | Lenin, primer rompehielos de propulsión nuclear (1989)



Fuente: Rosatom, 2013

El contexto tecnológico actual, sin embargo, difiere sustancialmente del existente durante aquellas primeras experiencias. En las últimas dos décadas, el **sector nuclear** ha experimentado una evolución significativa hacia el desarrollo de **reactores modulares pequeños** (*Small Modular Reactors*) y **micro reactores**, caracterizados por potencias más reducidas, diseños estandarizados y un énfasis creciente en la seguridad pasiva e intrínseca. Estos desarrollos han sido impulsados tanto por la necesidad de **reducir costes** y **plazos** de construcción como por la búsqueda de aplicaciones más flexibles, incluyendo entornos remotos o no conectados a red.

Los análisis del Maritime Nuclear Application Group (Maritime Nuclear Application Group, 2022) identifican precisamente en estos **reactores avanzados** una oportunidad potencial para el **sector marítimo comercial**, al permitir configuraciones más compatibles con los requisitos de los **buques civiles** en términos de tamaño, peso y operación continua.

Desde el punto de vista de la **seguridad nuclear**, los **reactores avanzados** incorporan principios de **diseño** que buscan minimizar la probabilidad de liberaciones radiológicas, incluso en escenarios accidentales severos. La eliminación de la necesidad de sistemas de refrigeración activos, la existencia de **sistemas de seguridad intrínsecos** y la **integración** del **reactor** en contenciones compactas y robustas son elementos recurrentes en los

conceptos evaluados para **aplicaciones marítimas**. Estas características resultan especialmente relevantes en un entorno como el **marítimo**, donde la **simplicidad operativa** y la **resiliencia** frente a condiciones externas adversas son factores muy relevantes.

El informe del Idaho National Laboratory (Idaho National Lab, 2025) subraya que, desde **una perspectiva estrictamente técnica**, no existen **barreras** fundamentales que impidan el **uso de reactores avanzados** para la **propulsión** de **grandes buques comerciales**, siempre que se adapten los criterios de diseño de **seguridad** intrínseca al **entorno marítimo**. Los **reactores nucleares** se diseñan para tener una probabilidad de daño al núcleo determinada considerando una evolvente de situaciones que incluyen variables de emplazamiento. Estas variables son distintas a los emplazamientos terrestres y se requerirán **criterios de seguridad** actualizados a incluir en la base de diseño de los **reactores**.

Las **sociedades de clasificación** han comenzado a desempeñar un papel relevante como interfaz técnica entre el **sector nuclear** y el **marítimo**. Lloyd's Register (Lloyd's Register, 2025), entre otras, ha desarrollado guías preliminares para evaluar los **riesgos**, los **requisitos de diseño** y los **procesos de certificación** asociados a la **propulsión nuclear civil**, destacando la necesidad de adaptar los enfoques tradicionales de clasificación a una tecnología que introduce nuevos vectores de riesgo y responsabilidad.

Pese a estos avances, el **grado de madurez tecnológica** no debe confundirse con una preparación inmediata para el **despliegue comercial**. La **propulsión nuclear marítima** se encuentra en una fase en la que la **tecnología del reactor** avanza más rápido que los **marcos institucionales** necesarios para su adopción. La falta de proyectos demostradores, la limitada experiencia operativa comercial reciente y la **fragmentación regulatoria internacional** siguen siendo obstáculos significativos que se reflejan en la lenta progresión de la **energía nuclear civil** en otros ámbitos.

Con todo, el estado actual del arte permite afirmar que la **propulsión nuclear** no es una hipótesis tecnológica si no una opción **técnicamente viable**, cuya materialización en el **sector marítimo comercial** dependerá menos de avances científicos disruptivos y más de decisiones estratégicas en materia de **regulación, gobernanza y aceptación social**. Esta constatación refuerza la idea de que el debate ya no puede limitarse a la pregunta de si la tecnología funciona, sino a cómo podría integrarse de forma responsable en la **industria marítima global**.

Ventajas estratégicas de la propulsión nuclear para determinados segmentos del transporte marítimo comercial

El análisis de la **propulsión nuclear** en el **transporte marítimo comercial** adquiere pleno sentido cuando se aborda como una solución concreta. Como se ha destacado anteriormente, la diversidad del **sector marítimo** (en términos de **tamaño de buque, perfil operativo, rutas, velocidad requerida** y **régimen de explotación**) hace recomendable seleccionar la mejor **solución tecnológica** para cada ámbito de uso. En este contexto, la principal aportación de la **propulsión nuclear** no reside en su capacidad para sustituir de forma

generalizada a otras alternativas, sino en ofrecer ventajas claras en aquellos segmentos donde los **requisitos energéticos** son más exigentes. Cabe subrayar que estas ventajas no se materializan de forma homogénea en toda la **flota**. Para **buques de pequeño o mediano tamaño, rutas cortas o perfiles operativos flexibles**, las soluciones basadas en **combustibles alternativos o electrificación parcial** pueden resultar más adecuadas desde el **punto de vista técnico y económico**. Sin embargo, para los segmentos de mayor **consumo energético** y mayor **complejidad operativa**, la **propulsión nuclear** presenta atributos difíciles de replicar por otras tecnologías, lo que justifica su consideración como una opción estratégica dentro del conjunto de soluciones disponibles.

La primera de estas ventajas es la eliminación prácticamente total de las emisiones de gases de efecto invernadero durante la operación del buque. A diferencia de los combustibles alternativos de origen químico, cuya huella de carbono depende en gran medida de los procesos de producción, la **energía nuclear** permite desacoplar de forma directa la **operación del buque** de las **emisiones** asociadas al **consumo energético**.

Una segunda ventaja estratégica es la **autonomía energética prolongada**, que constituye un atributo diferencial frente a cualquier combustible químico. Los **reactores avanzados** evaluados para **aplicaciones marítimas** permiten ciclos de operación de varios años (incluso toda la vida operativa del buque) sin necesidad de recarga de **combustible**, lo que elimina la dependencia de **infraestructuras de bunkering**, reduce la exposición a interrupciones en la **cadena de suministro** y simplifica la **planificación operativa** en rutas de largo recorrido.

Desde el **punto de vista económico**, la **propulsión nuclear** ofrece además una mayor estabilidad de los **costes energéticos** a lo largo del **ciclo de vida del buque**. Mientras que los combustibles fósiles y alternativos están sujetos a una elevada volatilidad de precios, influida por factores geopolíticos, regulatorios y de disponibilidad de recursos, el coste del **combustible nuclear** representa una fracción relativamente pequeña del coste total de generación. Esta característica reduce la incertidumbre asociada a la explotación del **buque** y facilita la planificación financiera a largo plazo, un aspecto especialmente relevante en activos con vidas útiles superiores a los veinte o treinta años.

El estudio del Idaho National Laboratory ponen de manifiesto que, bajo determinadas hipótesis de costes de capital y operación, la **propulsión nuclear** puede resultar económicamente competitiva frente a alternativas basadas en combustibles fósiles o sintéticos, especialmente cuando se consideran escenarios de incremento progresivo de los precios del carbono o la introducción de mecanismos fiscales asociados a las emisiones. Al ser una **tecnología intensiva en capital** se beneficia de escenarios de bajos tipos que caracteriza la economía moderna.

Adicionalmente, la integración de la **propulsión nuclear** abre la puerta a funcionalidades complementarias que van más allá de la propulsión estricta. Entre ellas se incluye la posibilidad de suministrar **energía eléctrica a sistemas auxiliares**, o incluso de exportar **electricidad a puerto** durante las **escalas (OPS inverso)**, que ha sido identificado como un potencial vector de creación de valor adicional para determinados **perfiles de buque** y

puerto. Si bien estas aplicaciones requieren **desarrollos normativos y técnicos** específicos, ilustran el carácter multifuncional de la **energía nuclear** en el **entorno marítimo**.

En consecuencia, la discusión sobre la **propulsión nuclear** en el **transporte marítimo comercial** no debe plantearse en términos de sustitución total, sino de **complementariedad tecnológica**. Su valor reside en cubrir aquellos nichos donde las alternativas convencionales muestran limitaciones estructurales, contribuyendo así a una **descarbonización** más realista, robusta y alineada con las exigencias operativas del **comercio marítimo global**.

Barreras regulatorias, jurídicas y operativas para la adopción de la propulsión nuclear comercial

A pesar de las **ventajas estratégicas** identificadas, la incorporación de la **propulsión nuclear** al **transporte marítimo comercial** se enfrenta a un conjunto de **barreras estructurales** más allá del ámbito tecnológico. Estas barreras se sitúan principalmente en los **planos regulatorio, jurídico y operativo**.

Desde el **punto de vista normativo**, el marco regulatorio marítimo existente reconoce la posibilidad de **buques mercantes** de **propulsión nuclear**, pero lo hace sobre la base de instrumentos desarrollados en un contexto tecnológico y político muy distinto del actual. El principal referente es el “Code of Safety for Nuclear Merchant Ships”, adoptado por la Organización Marítima Internacional (IMO) en 1981 (IMO, 1981). Este código, de carácter no vinculante y desarrollado en un **escenario tecnológico e industrial** muy distinto al actual, se concibió principalmente como un **marco orientativo** sin llegar a constituir un régimen regulatorio completo incluyendo principios generales de diseño de instalaciones nucleares flotantes. El propio enfoque del código evidencia que su aplicación queda en gran medida supeditada a la legislación del estado de **bandera del buque** y a **acuerdos bilaterales** con los países en los que se ubican los puertos implicados, lo que refuerza la **fragmentación normativa** y subraya la **ausencia** de un **marco internacional armonizado** específico para la operación comercial de **buques nucleares**.

Esta obsolescencia normativa se ve agravada por la fragmentación de responsabilidades entre distintos niveles de autoridad. La **regulación nuclear** es competencia de las autoridades nucleares nacionales, que operan bajo marcos jurídicos diseñados fundamentalmente para instalaciones terrestres fijas, dentro de una única jurisdicción. La movilidad inherente a los **buques mercantes** introduce, por tanto, una complejidad en términos de licencia, supervisión y cumplimiento normativo no considerada por la normativa nuclear vigente en la mayoría de los países que cuentan con **desarrollos normativos** sobre **energía nuclear**.

Los estudios y documentos técnicos del Organismo Internacional de Energía Atómica (IAEA) (IAEA, 1968) subraya que, si bien existe un **marco internacional consolidado** en materia de **seguridad nuclear, protección radiológica, salvaguardias y responsabilidad civil**, estos instrumentos fueron concebidos para **instalaciones nucleares terrestres** o para **buques nucleares** de carácter **militar**. En particular, el propio IAEA reconoce que la

operación de **reactores nucleares** embarcados en **buques mercantes** introduce condicionantes singulares que no quedan plenamente cubiertos por los **convenios internacionales** vigentes, requiriendo evaluaciones específicas y acuerdos *ad hoc* entre estados para garantizar niveles equivalentes de **seguridad** y **protección**.

A **nivel portuario**, la **ausencia** de **procedimientos armonizados** para la autorización de **escalas** en **puerto**, la **inspección nuclear** por parte de estados o la gestión coordinada de emergencias constituye una de las principales fuentes de **incertidumbre regulatoria**. A esta situación se añade la cuestión de la **responsabilidad civil y los seguros**, que representa uno de los obstáculos más significativos desde la perspectiva de la viabilidad comercial. La falta de un marco claro que articule la interacción entre **los ámbitos marítimo y nuclear** dificulta la estructuración de sistemas aseguradores viables para **buques nucleares comerciales**, tal como señalan los análisis de Lloyd’s Register y del Maritime Nuclear Application Group.

Desde el **punto de vista operativo**, la **propulsión nuclear** plantea exigencias específicas en materia de **formación, cualificación y organización de las tripulaciones**. La operación segura de un **reactor nuclear** requiere personal altamente cualificado, con formación específica y procesos de certificación que, en la actualidad, no están integrados en los marcos de **formación marítima**.

Los **puertos** emergen como **actores** relevantes en este **esquema regulatorio**. La aceptación de **buques** de **propulsión nuclear** implica la adaptación de **planes de emergencia, procedimientos de seguridad, protocolos de comunicación** y **capacidades de respuesta ante incidentes**, aun cuando la probabilidad de un evento radiológico es extremadamente baja. La **ausencia** de **criterios armonizados** a escala internacional puede conducir a decisiones unilaterales de restricción de acceso, complicando el marco operativo y reduciendo la previsibilidad para **armadores** y **operadores**.

En conjunto, estas **barreras** no deben interpretarse como argumentos definitivos contra la **propulsión nuclear**, sino como síntomas de un **desfase institucional** entre la **evolución tecnológica** y los **sistemas administrativos** existentes. Tal y como subraya el informe del Idaho National Laboratory, el principal desafío para la adopción comercial de la **propulsión nuclear** no es la falta de soluciones técnicas, sino la necesidad de desarrollar **marcos regulatorios coherentes**, predecibles y aceptables desde el **punto de vista social** y **económico**.

Aceptación social, percepción del riesgo y el papel de los puertos

Más allá de las barreras regulatorias y operativas, la viabilidad a largo plazo de la **propulsión nuclear** en el **transporte marítimo comercial** está condicionada por la **aceptación social** y la **percepción del riesgo**. A diferencia de otros vectores energéticos emergentes, la nuclear arrastra una carga simbólica y política que influye de manera directa en la toma de decisiones públicas, especialmente en entornos portuarios densamente poblados y con una elevada visibilidad social.

Numerosos estudios han puesto de manifiesto la divergencia existente entre el **riesgo técnico** asociado a la **operación nuclear**, particularmente en diseños avanzados con sistemas pasivos de seguridad, y el riesgo percibido por la ciudadanía. Esta brecha se ve amplificada en el **ámbito marítimo** por la **movilidad del buque**, la cercanía a zonas urbanas durante las **escalas** y la preocupación por posibles impactos transfronterizos. El informe del Idaho National Laboratory subrayan que la aceptación pública constituye uno de los factores más determinantes para la implementación de **tecnologías nucleares marítimas**, al mismo nivel que la **viabilidad económica** o **regulatoria**.

En este contexto, los **puertos** no son únicamente **infraestructuras logísticas**, sino espacios de interacción directa entre la **actividad marítima**, la **ciudad** y la **opinión pública**. La eventual presencia de **buques de propulsión nuclear** en **puertos comerciales** exige una redefinición del papel portuario en materia de gestión del **riesgo, comunicación y coordinación institucional**. Esto incluye la integración de la **dimensión nuclear** en los **planes de emergencia portuarios**, la **formación específica** de autoridades y servicios de respuesta, y la **articulación** de **canales de información** transparentes y comprensibles para la ciudadanía.

La experiencia acumulada en otros ámbitos de la **transición energética** muestra que la aceptación social no se logra mediante argumentos técnicos aislados, sino a través de procesos basados en la **transparencia**, la **anticipación** y la **participación** de los **actores implicados**. En el caso de la **propulsión nuclear marítima**, esta lógica resulta aún más relevante, dado que las decisiones adoptadas por un número limitado de Estados o puertos pueden tener efectos sobre las **rutas comerciales** y la **competitividad global del sector**.

En un escenario marcado por la **urgencia climática**, la presión sobre los **sistemas energéticos** y la necesidad de garantizar **cadena de suministro resilientes**, la **percepción social** de la **energía nuclear** puede experimentar transformaciones significativas, especialmente si se presenta como parte de un enfoque coherente de **sostenibilidad** y no como una excepción tecnológica impuesta.

Conclusiones

La **descarbonización** del **transporte marítimo internacional** plantea un desafío de carácter estructural que no admite soluciones únicas ni simplificaciones tecnológicas. La diversidad de **perfiles operativos**, **tipologías de buque** y **rutas comerciales** exige un enfoque plural, basado en la complementariedad de soluciones y en una evaluación rigurosa de sus límites y ventajas respectivas.

En este marco, la **propulsión nuclear** no puede ser considerada una solución inmediata ni universal para el **sector marítimo comercial**. Sin embargo, tampoco resulta razonable su exclusión *a priori* del análisis técnico. Las limitaciones que imponen el uso de los **combustibles alternativos** en determinados segmentos de gran escala y largo recorrido, junto con la **madurez tecnológica** alcanzada por los **reactores avanzados**, confieren a la **energía**

nuclear un potencial relevante que merece ser evaluado con criterios técnicos y no únicamente desde la percepción psicológica del riesgo.

El análisis desarrollado en este artículo muestra que las **principales barreras** para la adopción de la propulsión nuclear marítima no son de naturaleza tecnológica, sino **institucionales, regulatorias y sociales**. La falta de alineación entre los **marcos marítimo y nuclear**, la incertidumbre en materia de **responsabilidad civil y seguros**, y la ausencia de **mecanismos** claros de **aceptación portuaria** constituyen los verdaderos **cuellos de botella** para su eventual desarrollo.

Reconocer esta realidad no implica promover la adopción inmediata de **buques nucleares comerciales**, sino integrar la **propulsión nuclear** en la reflexión estratégica a largo plazo del sector marítimo. Hacerlo permitiría anticipar escenarios, desarrollar **marcos regulatorios coherentes** y evitar decisiones precipitadas en un futuro marcado por mayores restricciones climáticas y menor margen de maniobra tecnológica.

En última instancia, la cuestión no es si la **propulsión nuclear** debe sustituir a otras alternativas energéticas, sino si el **transporte marítimo** puede permitirse prescindir de una opción que, para determinados usos, ofrece atributos difíciles de replicar. Como ya ocurrió en otros momentos clave de la historia energética, el desafío consiste en abordar el debate con rigor, responsabilidad y visión de largo plazo, antes de que las circunstancias obliguen a hacerlo en condiciones menos favorables.

Referencias bibliográficas

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY – IAEA. 1968. *Safety considerations in the use and approaches by nuclear merchant ships*. Viena: IAEA. Disponible en: https://gnssn.iaea.org/Superseded%20Safety%20Standards/Safety_Series_027_1968.pdf [Consultado 28/01/2026].

IDAHO NATIONAL LABORATORY. 2025. *Considerations for maritime nuclear technologies, economic viability and public acceptance*. Idaho Falls: INL. Disponible en: <https://nric.inl.gov/content/uploads/34/2025/09/RPT-24-80343-Rev-0-Considerations-for-Maritime-Nuclear-Technologies-Economic-Viability-and-Public-Acceptance.pdf> [Consultado 28/01/2026].

INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION – IMO. 1981. *Code of Safety for Nuclear Merchant Ships*. Londres: IMO. Disponible en: [https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/AssemblyDocuments/A.491\(12\).pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/AssemblyDocuments/A.491(12).pdf) [Consultado 28/01/2026].

LLOYD'S REGISTER. 2025. *Navigating nuclear energy in maritime*. Londres: Lloyd's Register. Disponible en: <https://www.lr.org/en/knowledge/research-reports/2025/navigating-nuclear-energy-in-maritime/> [Consultado 28/01/2026].

MARITIME NUCLEAR APPLICATION GROUP. 2022. *Introduction to advanced commercial nuclear for maritime*. 2022.

Pharos 39.0

Valenciaport Knowledge Hub

| www.pharos390.com

| info@pharos390.com