

LA NAVEGACIÓN NUCLEAR, DE UNA FANTASÍA A UNA TRANSICIÓN INEVITABLE



ALBERTO GIL CORDERO
Junior Nuclear Engineer
TRACTEBEL

LA REVOLUCIÓN DEL TRANSPORTE, DE LA VELA AL VAPOR

A lo largo de la historia, cada revolución industrial ha estado marcada por un salto energético o tecnológico que transformó no solo las máquinas, sino también la manera en que las sociedades se organizan y progresan.

El paso del carbón al petróleo en la navegación y en el ferrocarril fue un punto de inflexión. A mediados del siglo XIX, transportar una tonelada de mercancía por carretera podía costar alrededor de 10 a 12 dólares por tonelada-milla en valores actuales, mientras que en ferrocarril bajaba a apenas 1 dólar por tonelada-milla [1]. Esa reducción cercana al 90 % en costes logísticos abrió un nuevo horizonte de competitividad: lo que antes solo podía venderse localmente, de pronto podía viajar cientos de kilómetros y seguir siendo rentable. El efecto sobre los tiempos fue igual de radical: el trayecto de Nueva York a California, que en carreta o barco podía tomar hasta seis meses, se redujo con la llegada del tren transcontinental (1869) a apenas siete días [2]. En Europa, el ferrocarril permitió que trigo o carne procedentes de Europa del Este llegaran a Berlín, París o Londres más baratos, lo que abarató el pan y transformó la dieta urbana.

La transición al petróleo en la navegación llevó esa transformación al mar. Los buques de vapor a carbón debían repostar cada 5–7 días, mientras que los primeros buques petroleros podían cruzar el Atlántico sin escalas. Esto redujo los costes de operación en torno a un 30 % y acortó el cruce de 15 a 9 días, una diferencia que multiplicó la com-

petitividad de las rutas y permitió que materias primas como el acero estadounidense o el grano argentino fluyeran con rapidez hacia Europa [3].

Décadas después, la aviación civil dio un salto aún más disruptivo. En los años 1930, un viaje transatlántico en barco demoraba 5 a 7 días; con la entrada en servicio del Boeing 707 en 1958, el mismo trayecto se redujo a 8 horas. La diferencia de costes era significativa: transportar mercancía en avión resultaba entre 20 y 100 veces más caro por kilo que en barco (unos 2 a 6 dólares por kilo en la actualidad, frente a 0,02 a 0,10 dólares por kilo en transporte marítimo). Sin embargo, esa diferencia se justificaba en sectores donde el tiempo era crítico: gracias a la aviación empezaron a exportarse flores frescas desde Colombia a Europa, microchips desde California a Asia o frutas tropicales a supermercados europeos. En apenas dos décadas, la carga aérea mundial pasó de 70.000 toneladas en 1950 a más de 15 millones en 1970, impulsando industrias que dependían de la inmediatez [4].

EL RETO AMBIENTAL DEL SIGLO XXI

Hoy, el transporte marítimo, responsable de más del 80 % del comercio mundial en volumen, se enfrenta a un dilema semejante: necesita reinventarse frente a la presión de descarbonizar sus operaciones, garantizar eficiencia y abrir una nueva era de autonomía energética.

El sector mueve más de 11.000 millones de toneladas de carga al año, con costes que siguen siendo los más

competitivos de todas las modalidades de transporte: en promedio, 0,02 a 0,10 dólares por kilo frente a los 2 a 6 dólares por kilo del transporte aéreo. En términos de tiempo, un buque portacontenedores tarda aproximadamente 25 a 30 días en cubrir la ruta Shanghái-Róterdam, mientras que la misma conexión aérea se resuelve en menos de 24 horas, pero a un coste prohibitivo para mercancías de gran volumen. Esta ecuación hace que el transporte marítimo sea insustituible para el comercio de bienes masivos: desde materias primas como petróleo, carbón y grano, hasta productos manufacturados y tecnología de consumo [5].

El problema es que este modelo tiene un costo ambiental creciente. La flota mundial, dependiente casi en su totalidad de fuelóleo pesado o gas natural licuado, emite cerca de 1.000 millones de toneladas de CO₂ al año, lo que equivale a entre el 2,5 y el 3 % de las emisiones globales. Para dimensionarlo: si el transporte marítimo fuera un país, estaría entre los cinco mayores emisores del mundo, comparable con Alemania o Japón. A ello se suman contaminantes como óxidos de azufre y nitrógeno, que afectan la calidad del aire en zonas costeras y puertos [6].

En este contexto, la presión regulatoria y social se intensifica. La Organización Marítima Internacional ha fijado objetivos de cero emisiones netas hacia 2050, lo que exige una transformación estructural. Las soluciones intermedias, motores más eficientes, biocombustibles, GNL, hidrógeno o amoníaco, ofrecen reducciones parciales, pero no resuelven el desafío de fondo: combinar autonomía, coste competitivo y neutralidad climática en rutas globales.

LA ENERGÍA NUCLEAR COMO NUEVA FRONTERA

Es aquí donde la energía nuclear, que durante décadas se reservó a submarinos y portaaviones, comienza a perfilarse como la próxima transición inevitable. Lo que hasta hace poco sonaba a utopía tecnológica se está convirtiendo en un proyecto regulado, viable y con respaldo internacional, capaz de responder simultáneamente a los tres retos clave del sector: coste, tiempo y emisiones.

Las proyecciones de mercado reflejan un creciente interés en la propulsión nuclear marítima, tanto en el ámbito civil como en el militar. En el caso de los buques comerciales, se estima que el mercado pasará de unos 1,14 mil millones de dólares en 2023 a alrededor de 2,23 mil millones en 2033. Esto equivale a un crecimiento anual compuesto (CAGR, por sus siglas en inglés) del 6,9 %. El CAGR no es simplemente un promedio: describe la tasa a la que un mercado crece de manera constante cada año, como si se tratara de un interés compuesto en una inversión financiera. Dicho de otro modo, cada año el mercado no solo crece, sino que el crecimiento del año anterior también se acumula y hace crecer la base para el siguiente [7] (**Figura 1**).

Aunque un 6,9 % pueda sonar modesto a primera vista, su impacto a largo plazo es considerable. Un crecimiento compuesto de ese nivel durante una década prácticamente duplica el tamaño del mercado, lo que refleja un apetito creciente de la industria y de los inversores por la propulsión nuclear.



Figura 1. Arktika Icebreaker, el Leviatán Ruso Fuente: <https://www.xataka.com/otros/arktika-rompehielos-poderoso-mundo-titan-ruso-propulsion-nuclear-capaz-atravesar-bloques-tres-metros>.

En el sector naval militar, la tendencia es similar: el mercado pasó de 26,5 mil millones de dólares en 2023 a una proyección de 39,7 mil millones en 2030, con un CAGR del 5,9 %. Para ponerlo en perspectiva, industrias maduras como la automotriz o la aviación comercial global suelen crecer en tasas de entre el 2 y el 4 % anual. Que el sector naval nuclear lo haga casi al 6 % indica un dinamismo notable, más propio de industrias tecnológicas emergentes que de un sector tradicional.

Si se consideran ambos segmentos, civil y militar, algunos estudios proyectan que el mercado mundial de buques nucleares podría acercarse a los 92,8 mil millones de dólares en 2037. Más allá de las cifras, lo importante es lo que representan: una señal de confianza en que la propulsión nuclear no será una curiosidad experimental, sino un actor central en la logística y en la defensa del siglo XXI [8].

Pero no todo es el factor económico si antes se ha considerado que un buque portacontenedores tarda entre 25 y 30 días en cubrir la ruta Shanghai-Róterdam navegando a velocidades medias de 30–40 km/h, y que este modelo marítimo emite en torno a 1.000 millones de toneladas de CO₂ al año, aproximadamente un 2,5–3 % de las emisiones globales, comparable a las de países como Alemania o Japón. A este impacto hay que

“Los primeros buques comerciales equipados con reactores nucleares modulares pequeños (SMR) podrían estar navegando a principios de la década de 2030”

añadir contaminantes como óxidos de azufre y de nitrógeno derivados del fuelóleo pesado, que afectan de forma directa la calidad del aire en zonas costeras y puertos.

Aplicando reactores nucleares en buques de carga, el sector podría experimentar una transformación significativa tanto en tiempos como en emisiones. En términos de emisiones, la reducción sería prácticamente total: un buque nuclear elimina el uso de fuelóleo y gas natural licuado, lo que supone más de un 90 % menos de CO₂. Si solo un 30 % de la flota mundial adoptara la propulsión nuclear, se podrían recortar hasta 300 millones de toneladas anuales, el equivalente a las emisiones totales de un país como España.

Hasta ahora, la aplicación de la energía nuclear al transporte civil estaba limitada a portaaviones y submarinos, mientras que en el ámbito comercial se encontraba frenada por barreras regulatorias, altos costos y una percepción pública negativa. Sin embargo, estos obstáculos comienzan a desvanecerse. La reciente reforma normativa de la OMI elimina la restricción a los antiguos reactores de agua a presión y abre el marco legal a una nueva generación de SMR (reactores modulares

pequeños) y a conceptos de buques “todo eléctrico”. Paralelamente, expertos y sociedades de clasificación subrayan que las tecnologías más avanzadas, como los reactores de sal fundida, refrigerados por helio o por plomo, muchos de ellos basados en combustible TRISO, son ya técnicamente viables para el transporte marítimo. No en vano, el presidente del registro ABS ha afirmado que los reactores de tercera y cuarta generación “tienen un gran potencial para el sector naval”. Con regulaciones internacionales en proceso de adaptación y estudios de seguridad en marcha, la incertidumbre normativa se reduce de manera significativa, abriendo la puerta a la descarbonización del transporte marítimo mediante la propulsión nuclear.

REGULACIÓN Y REALIDAD INDUSTRIAL

La Organización Marítima Internacional (OMI) acordó en junio de 2025 revisar por primera vez en más de cuatro décadas el marco regulatorio para buques mercantes con propulsión nuclear. La decisión, adoptada en la 110ª sesión del Comité de Seguridad Marítima (MSC-110), supone un giro histórico: se deja atrás un código redactado en 1981, cuando la única referencia real eran portaaviones y submarinos militares, para dar paso a normas adaptadas al siglo XXI. El Subcomité de Diseño de Buques (SDC) será el encargado de iniciar esta actualización en enero de 2026 [9].

El objetivo central es modernizar el antiguo Código de Seguridad para Buques Mercantes Nucleares (SOLAS A.491), un texto que quedó obsoleto porque estaba pensado para reactores de agua a presión de diseño militar. Con la reforma, se busca alinearlos con los estándares actuales del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), de manera que se puedan certificar y operar tecnologías mucho más seguras y eficientes. Esto abre la puerta a los reactores modulares pequeños (SMR) y a conceptos avanzados como los reactores de sal fundida o refrigerados por plomo, que ofrecen ventajas clave: mayor seguridad intrínseca, ciclos de vida más largos sin recarga y la posibilidad de adaptarse a buques civiles sin los riesgos asociados a diseños militares.

En paralelo, el OIEA lanzará en 2025 el programa ATLAS (“Atomic Technologies Licensed for Applications at Sea”), cuyo propósito es crear un marco internacional de licencias y supervisión específico para reactores navales civiles. Esto es fundamental porque, hasta ahora, cada país debía improvisar sus propias reglas para autorizar un buque nuclear en sus aguas, lo que generaba inseguridad jurídica y hacía casi inviable la operación comercial. Con ATLAS, en cambio, se establece una “ventanilla única” internacional: un sistema común de evaluación de seguridad, certificación y seguimiento, reconocido por los estados miembros.

En conjunto, esta doble acción OMI–OIEA cambia las reglas del juego. Para las navieras significa poder invertir en propulsión nuclear con certezas legales y tecnológicas. Para los puertos y estados costeros, implica contar con un marco común de garantías y protocolos de emergencia. Y para la sociedad, supone que la energía nuclear, antes asociada únicamente al ámbito militar, puede convertirse en una herramienta práctica para reducir emisiones, abaratar costes logísticos y acelerar el comercio mundial, todo ello bajo estándares internacionales de seguridad y transparencia.

DE LA NORMATIVA AL DESARROLLO EFECTIVO

Pero ahora que se han evidenciado las mejoras que supondría esta tecnología, junto con la evolución regulatoria que empieza a derribar las barreras históricas, surge la pregunta clave: ¿en qué punto se encuentran hoy los diseños nucleares para la propulsión marítima?

La gran diferencia respecto a décadas pasadas es que los diseños actuales sí resultan viables para el transporte marítimo. En los años ochenta, los reactores disponibles eran demasiado grandes, complejos y dependían de sistemas activos de seguridad, pensados para submarinos y portaaviones militares. Hoy, en cambio, los reactores modulares pequeños (SMR) y los diseños de sal fundida, plomo o sodio han reducido drásticamente su tamaño, aumentado la densidad energética y, sobre todo, incorporado seguridad pasiva: la capacidad de apagarse y disipar calor sin necesidad de intervención humana o suministro eléctrico externo. Esto resuelve uno de los principales temores de la sociedad y de las autoridades portuarias, a la vez que permite integrar los reactores en buques civiles con un coste operativo competitivo.

Ya existen casos concretos que muestran que la propulsión nuclear en buques mercantes ha dejado de ser una idea teórica.

Un ejemplo especialmente relevante es el de Rusia, que ya opera la mayor flota de buques civiles con propulsión nuclear: los rompehielos de Rosatomflot. Desde el histórico

Lenin (1959), el primero de su clase, el país ha desplegado más de una decena de rompehielos nucleares, varios de ellos aún en servicio. La nueva serie Proyecto 22220, que incluye los buques Arktika, Sibiry y Ural, utiliza reactores RITM-200, un diseño compacto de agua a presión (PWR) de 175 MW térmicos cada uno, que proporciona unos 60 MW de potencia en ejes. Estos reactores destacan por su eficiencia y seguridad mejorada respecto a generaciones anteriores. Gracias a ellos, los rompehielos pueden mantener velocidades de unos 22 km/h atravesando capas de hielo de hasta 3 metros de espesor y, lo más importante, cuentan con una autonomía de hasta 7 años sin necesidad de repostar (**Figura 2**).

Por otra parte, Corea del Sur lidera con iniciativas de diseños tangibles, la firma HD Hyundai KSOE presentó en febrero de 2025 un modelo de portacontenedores de 15.000 TEU impulsado por SMR. El diseño optimiza el espacio interno al eliminar motores convencionales y equipa barreras reforzadas contra radiación. Además, Hyundai está construyendo una instalación de prueba en tierra para validar la seguridad de su prototipo antes de ponerlo en el mar (**Figura 3**).

En Europa, Noruega ha avanzado con el consorcio NuProShip I (liderado por VARD y la NTNU), que evaluó distintas tecnologías de SMR y seleccionó tres con mayor potencial: un reactor de sal fundida con combustible TRi-structural ISOTropic (TRISO), un reactor refrigerado por helio y otro refrigerado por plomo. Estos diseños, todos de cuarta generación, destacan por su alta eficiencia térmica y tolerancia a accidentes.





Figura 3. El barco propulsado por un reactor nuclear: Hyudai TEU. Fuente: <https://rosatom.ru/en/rosatom-group/the-nuclear-ice-breaker-fleet/>.

En Asia, China también da pasos firmes: el astillero estatal Jiangnan (CSSC) presentó el buque KUN-24AP, un porta-contenedores de 24.000 TEU alimentado por un reactor de sal fundida de torio. La meta es clara: alcanzar “cero emisiones” durante toda su operación y demostrar la viabilidad de los reactores de torio en aplicaciones navales.

El sector privado tampoco se queda atrás. La naviera Maersk se ha asociado con Lloyd's Register y la británica Core Power para evaluar la factibilidad de buques nucleares de próxima generación. Core Power, de hecho, proyecta que la demanda global podría traducirse en pedidos valorados en decenas de miles de millones de dólares antes de 2030, impulsando un mercado completamente nuevo en el transporte marítimo.

Todas estas iniciativas y el cambio regulatorio confirman que la propulsión nuclear ya no es una visión futurista, sino una solución en fase de desarrollo industrial. Lo que hasta hace poco parecía un horizonte lejano se ha convertido en un proyecto tangible, con plazos definidos y una hoja de ruta clara. Según diversos consorcios internacionales, los primeros buques comerciales equipados con reactores nucleares modulares pequeños (SMR) podrían estar navegando a principios o mediados de la década de 2030. Proyectos como el NuProShip 1, en Noruega, ya han señalado el año 2030 como meta para contar con un prototipo en operación, lo que marca un punto de inflexión en la descarbonización del transporte marítimo [10] **(Figura 4).**

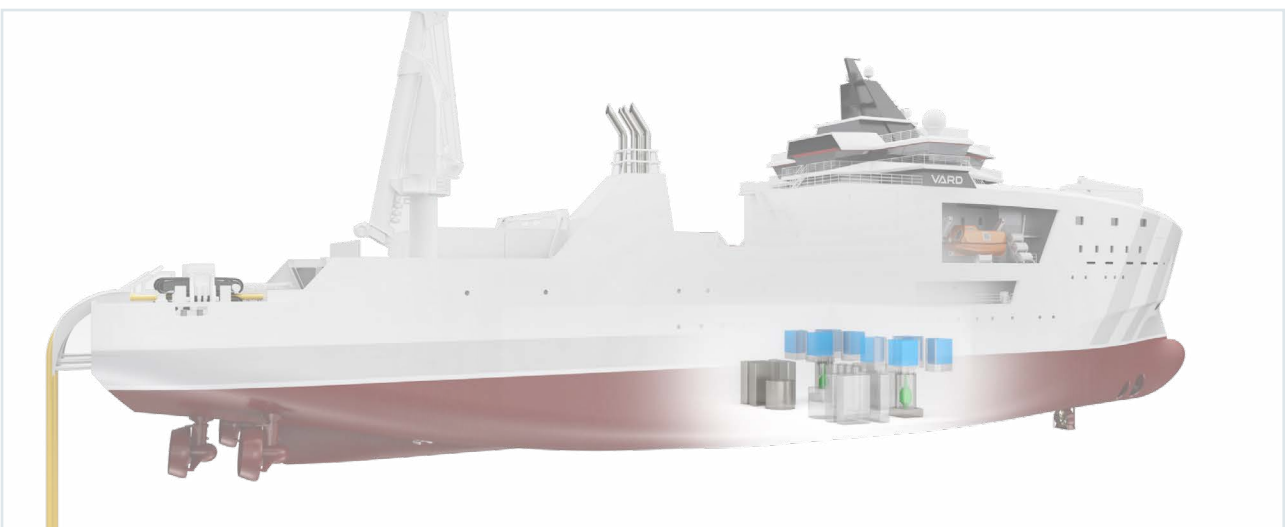


Figura 4. NuProShip el barco nuclear noruego. Fuente: <https://www.vard.com/articles/nuproship-exploring-advanced-nuclear-propulsion-in-shipping>].

La madurez alcanzada por las tecnologías SMR específicas para el sector naval refuerza esta previsión. Diseños de reactores de sal fundida, reactores refrigerados por plomo o incluso modelos de gas de alta temperatura con combustible TRISO demuestran que la innovación ha dejado de estar en los laboratorios para acercarse a aplicaciones prácticas en buques. Estos sistemas compactos, seguros y de larga vida útil ofrecen la posibilidad de rutas intercontinentales sin reabastecimiento y, en paralelo, la opción de suministrar energía a puertos o comunidades aisladas durante las operaciones, convirtiendo al buque en un actor energético más allá del transporte.

En paralelo, la entrada de actores institucionales de peso ha aportado el respaldo necesario para acelerar la transición. En 2025, el Banco Mundial y el OIEA formalizaron un acuerdo histórico para cooperar en el desarrollo nuclear, abriendo la puerta a que esta fuente de energía vuelva a contar con financiación multilateral tras décadas de exclusión. Este apoyo no es menor: garantiza no solo recursos económicos, sino también el fortalecimiento de capacidades regulatorias, la extensión segura de la vida útil de instalaciones nucleares y el avance de nuevos proyectos como los SMR. Con ello, se allana el camino para que la adopción de la propulsión nuclear en la marina mercante no sea un esfuerzo aislado, sino parte de una transición global coordinada y segura.

CONCLUSIÓN

En suma, la convergencia entre tecnología, regulación y financiamiento permite afirmar que los buques nucleares ya no pertenecen al terreno de la especulación. La década de

2030 se perfila como el inicio de su despliegue real, con ventajas estratégicas tanto en la reducción de emisiones como en la autonomía operativa. La combinación de innovación tecnológica, visión política y respaldo institucional hace posible que, en pocos años, el transporte marítimo nuclear se convierta en una de las piezas clave de la descarbonización global.

REFERENCIAS

- [1] https://haas.berkeley.edu/wp-content/uploads/Railroads_HR_16Dec2019.pdf.
- [2] <https://ilovehistory.utah.gov/ferrocarril-transcontinental-1869/#:~:text=El%20ferrocarril%20transcontinental%20fue%20la,seis%20d%C3%ADas%20gracias%20al%20ferrocarril>.
- [3] <https://www.mol-service.com/blog/transition-in-ships-fuel>.
- [4] <https://www.waytronsc.com/en/sys-nd/716.html>.
- [5] <https://zarachlogistics.com/air-freight-vs-ocean-freight-costs/>.
- [6] <https://cero2050.es/es/>.
- [7] <https://www.sphericalinsights.com/reports/nuclear-ship-propulsion-system-market>.
- [8] <https://www.researchnester.com/reports/nuclear-powered-naval-vessels-market/7135>.
- [9] <https://www.nucnet.org/news/imo-to-start-revision-of-outdated-regulations-for-nuclear-powered-ships-6-5-2025>.
- [10] <https://www.reuters.com/business/autos-transportation/maersk-agrees-study-nuclear-powered-container-shipping-2024-08-15/>. ■