

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), septiembre-octubre 2025,
Volumen 9, Número 5.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i5

ELECTRIFICACIÓN EN EL SECTOR NÁUTICO: HACIA UNA NAVEGACIÓN SOSTENIBLE Y EFICIENTE

**ELECTRIFICATION IN THE NAUTICAL SECTOR: TOWARDS
SUSTAINABLE AND EFFICIENT NAVIGATION**

Rodrigo Arredondo Cortés

Tecnológico Nacional de México Campus Acapulco

Juan José Bedolla Solano

Tecnológico Nacional de México Campus Acapulco

Silvestre Bedolla Solano

Tecnológico Nacional de México Campus Acapulco

Carmelo Castellanos Meza

Tecnológico Nacional de México Campus Acapulco

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i5.20609

Electrificación en el Sector Náutico: Hacia una Navegación Sostenible y Eficiente

Rodrigo Arredondo Cortés¹rodrigo.arredondo1@gmail.com<https://orcid.org/0009-0004-1541-2128>

Estudiante posgrado Maestría en Desarrollo
Regional e Innovación Tecnológica
Acapulco de Juárez, México

Juan José Bedolla Solanojuan.bs@acapulco.tecnm.mx<https://orcid.org/0000-0001-6999-8823>

Profesor /investigador del Posgrado de Maestría
en Desarrollo Regional e Innovación
Tecnológica - Tecnológico Nacional de México
Campus Acapulco
Acapulco de Juárez, México

Silvestre Bedolla Solanosilvestre.bs@acapulco.tecnm.mx<https://orcid.org/0000-0001-8947-8403>

Profesor /investigador del Posgrado de Maestría
en Desarrollo Regional e Innovación
Tecnológica - Tecnológico Nacional de México
Campus Acapulco
Acapulco de Juárez, México

Carmelo Castellanos Mezacarmelo.cm@acapulco.tecnm.mx<https://orcid.org/0000-0002-3327-3342>

Profesor /investigador del Posgrado de Maestría
en Desarrollo Regional e Innovación
Tecnológica - Tecnológico Nacional de México
Campus Acapulco
Acapulco de Juárez, México

RESUMEN

La electrificación en el sector náutico es relevante para reducir emisiones y mejorar la eficiencia energética en la navegación. Este estudio analiza la situación actual y los obstáculos de la migración hacia sistemas de propulsión eléctrica e híbrida en embarcaciones, mediante una revisión sistemática de literatura y casos de ejemplos en diversos países. Los resultados muestran un claro crecimiento en el uso de la tecnología eléctrica para embarcaciones pequeñas y medianas, mientras que la aplicación para embarcaciones grandes está restringida por desafíos técnicos e infraestructurales. A corto plazo, las soluciones híbridas parecen ser la mejor apuesta. En resumen, a pesar de los prometedores desarrollos técnicos, se necesitan más inversiones en investigación, armonización regulatoria y estructuras de incentivos económicos por parte de los interesados para que la transición ocurra a una velocidad mucho mayor. Este trabajo proporciona una perspectiva holística y percepciones accionables para mejorar la sostenibilidad en la industria náutica.

Palabras-clave: embarcación eléctrica; electromovilidad; sistemas de propulsión; híbrido.

¹ Autor principal

Correspondencia: rodrigo.arredondo1@gmail.com

Electrification in the Nautical Sector: Towards Sustainable and Efficient Navigation

ABSTRACT

Electrification in the nautical sector is relevant to reduce emissions and improve energy efficiency in navigation. This study analyses the current situation and the obstacles to migration towards electric and hybrid propulsion systems in ships, through a systematic literature review and case examples in various countries. The results indicate a notable increase in the adoption of electric technologies for small and medium-sized vessels, while large vessels face technical and infrastructure limitations. Hybrid solutions are perceived as the most viable short-term alternative to hybrid solutions. It is concluded that, although technological progress is promising, further investment in research, regulatory standardization and economic incentives are required to accelerate this transition. This study provides a comprehensive perspective and to promote sustainability in the nautical sector, highlighting its relevance in the global context of decarbonization.

Keyword: electric boat; electromobility; propulsion systems; hybrid.

Artículo recibido 02 setiembre 2025

Aceptado para publicación: 29 setiembre 2025



INTRODUCCIÓN

La revolución industrial del siglo XVIII trajo cambios importantes en una sociedad que pasó de la agricultura rural a la urbanización, las maquinarias y el uso de energías fósiles. Si bien el petróleo y el carbón fueron fundamentales para el impulso de la humanidad, hoy sufrimos los estragos del calentamiento global con cambios visibles en las temperaturas y los patrones climáticos (Hernández, 2025).

La electrificación mejora enormemente la eficiencia energética, elimina las emisiones de dióxido de carbono (CO_x), dióxido de azufre (SO_x), óxidos de nitrógeno (NO_x) y partículas en suspensión. También reduce enormemente el ruido y las vibraciones en comparación con los motores de combustión interna. Además, no se requieren motores auxiliares para alimentar la electrónica, ya que esta energía ya la proporcionan las baterías de abordo. Los transbordadores de cero emisiones tienen un impacto tanto en el clima como en la atmósfera local y en la salud de la población local. (Siemens Energy, 2022).

El objetivo de este artículo es analizar el estado actual y las perspectivas futuras de la electrificación en el sector náutico, con un énfasis en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, la mejora de la eficiencia energética y la adopción de tecnologías innovadoras. Se busca dar a conocer la electromovilidad y embarcaciones híbridas con ejemplos reales en países donde se están aplicando estas tecnologías e innovaciones y como se pueden aplicar a través del gobierno o privados, estas tecnologías en diversas regiones de México donde se cuenta con zonas turísticas y caminos fluviales donde se utilizan estas embarcaciones para transportar turistas o población civil, así como las oportunidades que presenta la transición hacia sistemas de propulsión eléctrica y mixta en embarcaciones de diversos tipos y usos.

Referencias teóricas

A continuación, daremos unos conceptos para entender terminologías y bases teóricas para entender el concepto de embarcaciones eléctricas e híbridas.

Barco Eléctrico. Un barco eléctrico es una embarcación que utiliza motores eléctricos para su propulsión, en lugar de depender de motores de combustión interna que utilizan combustibles fósiles como gasolina o diésel. Este tipo de embarcaciones se alimenta a través de baterías eléctricas



recargables, que pueden ser cargadas mediante electricidad de fuentes renovables o de la red eléctrica convencional (Electronica Edimar, 2023).

Las exigencias medioambientales de bajas emisiones de carbono o cero emisiones han llevado a impulsar la propulsión eléctrica con el objetivo de sustituir los motores marinos de combustión diesel en el transporte acuático de pasajeros. Para distancias cortas y vehículos ligeros, los motores eléctricos alimentados por baterías son una solución rentable. Para distancias más largas se requieren de una alta autonomía, los transbordadores con propulsión libre de carbono generalmente se han implementado utilizando almacenamiento de hidrógeno verde y en hibridación con almacenamiento de baterías de acción rápida (Cha et al., 2023).

Electromovilidad. La electromovilidad se refiere a la integración de vehículos eléctricos (EV) en los sistemas de transporte, señalando su papel en la elaboración de soluciones de transporte sostenibles y energéticamente eficientes. Este concepto abarca no sólo los propios vehículos sino también la infraestructura necesaria, como las estaciones de carga, y las implicaciones para la red eléctrica y el comportamiento del consumidor. La transición a la electromovilidad se considera esencial para reducir los impactos ambientales y la dependencia de los combustibles fósiles, alineándose con las políticas climáticas globales (Graham & Hua, 2024) (G et al., 2023).

Sistemas de Propulsión. Los sistemas de propulsión eléctrica (EPS) son tecnologías avanzadas que emplean energía eléctrica para generar empuje, especialmente en aplicaciones aeroespaciales y marinas. Estos sistemas se caracterizan por su capacidad para generar bajo empuje mientras logran un alto impulso específico. En contextos marinos, el EPS mejora la confiabilidad y maniobrabilidad, aunque enfrenta desafíos en tamaño y peso en comparación con los motores térmicos (Batrak et al., 2022).

Baterías Ion-Litio. Las baterías de ion litio han transformado el almacenamiento de la energía, destacando por su alta densidad de carga y eficiencia. Desde su invención en 1985, se han realizado avances significativos en su diseño, especialmente en la incorporación de materiales como el grafito en los cátodos, lo que mejora la estabilidad y seguridad de estas baterías (Paz Penagos et al., 2024), además, su uso se ha expandido en aplicaciones como vehículos eléctricos. Sin embargo, la

sostenibilidad y el reciclaje de estos dispositivos son retos críticos que deben abordarse para evitar su impacto ambiental (Moyón Moyón et al., 2024).

Materiales y métodos

Para desarrollar este artículo, se ha llevado a cabo una revisión sistemática de la literatura científica, revisión de ejemplos de fabricantes en el sector náutico de embarcaciones eléctricas e híbridas, tanto en el ámbito comercial como recreativo. Los datos recopilados se han organizado en torno a dos ejes principales: embarcaciones eléctricas y embarcaciones híbridas.

Sistema de propulsión y componentes de embarcaciones eléctricas

Los barcos eléctricos (E-Boats) desempeñan un papel importante en el transporte de pasajeros, e incluso de mercancías, hacia el centro de las ciudades dotadas de vías marítimas o fluviales o en cada lugar para cumplir con las normas medioambientales decididas por las autoridades locales para limitar el acceso a áreas acuáticas protegidas (Guellard et al., 2013).

Los elementos fundamentales de un sistema de propulsión eléctrica utilizado para embarcaciones eléctricas, como se muestra en la figura 1. La hélice está conectada al motor eléctrico directamente o mediante una caja de cambios. El motor está alimentado por un convertidor CC/CA o CC/CC y el sistema de batería de propulsión. Los sistemas de gestión de batería (SGB) aseguran que el sistema de batería de propulsión funcione de manera segura. Asimismo, una batería secundaria proporciona los servicios auxiliares, mientras que un sistema de carga a bordo administra la carga del sistema de batería está conectado al sistema de energía (Porru et al., 2020).

Figura 1 Elementos o componentes que integran un sistema de propulsión para embarcación eléctrica.

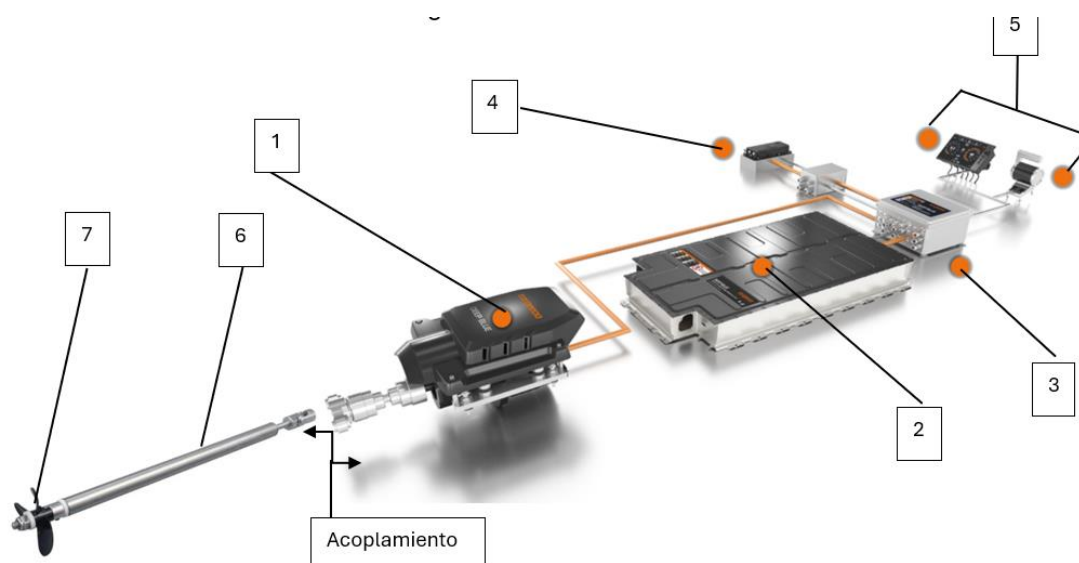


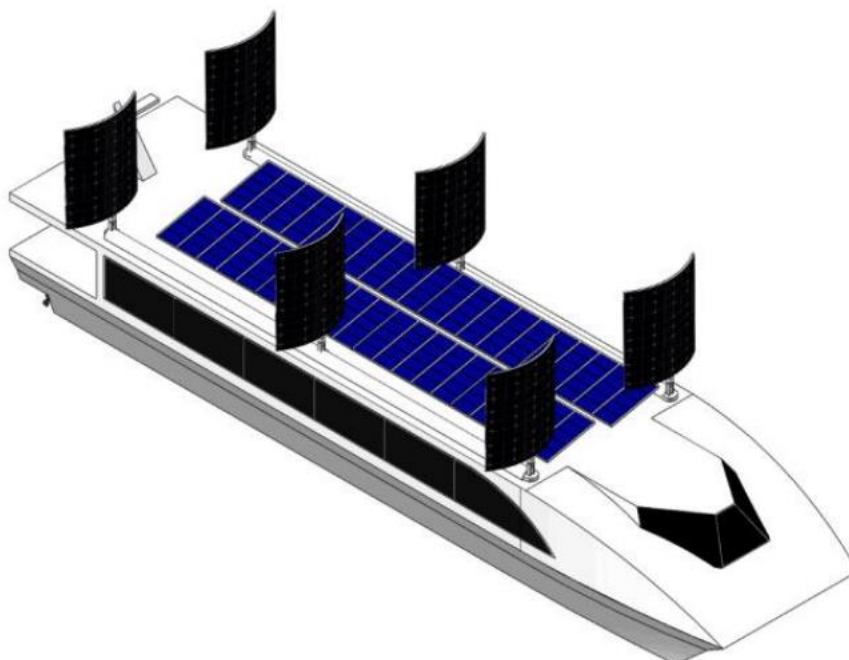
Tabla 1 Número de partes y descripción del componente del sistema de propulsión.

No. Parte	Descripción
1	Motor eléctrico de alta potencia
2	Batería de alta densidad de energía
3	Unidad de gestión del sistema
4	Cargador
5	Pantalla de visualización del sistema y Acelerador electrónico
6	Eje de transmisión
7	Hélice
Acoplamiento	Unión del eje de salida del motor y eje de transmisión de la hélice

Integración de Energías Alternativas en embarcaciones eléctricas.

Las embarcaciones eléctricas pueden integrar a su sistema de almacenamiento de energía (baterías) aprovechando el entorno geográfico y climático como suministro auxiliar o directo la energía para hacer funcionar los sistemas de propulsión (motores eléctricos) para su desplazamiento, mediante generadores eólicos y/o con paneles fotovoltaicos como se muestra en la figura 2, logrando cero emisiones y cero contaminaciones de manera efectiva y reducir la destrucción del entorno ecológico y ecosistemas marinos.

Figura 2 Representación gráfica de un prototipo de embarcación con paneles solares y velas eólicas para propulsión.



La energía solar es una inagotable fuente de energía renovable con múltiples beneficios, tales como limpieza, seguridad, larga vida útil y bajo mantenimiento. Asimismo, sus recursos son abundantes y tiene un gran potencial económico, lo cual le brinda un papel fundamental en la estrategia energética a largo plazo. La aplicación de energía solar en embarcaciones es una tendencia actual. Los proyectos de barcos pueden incorporar sistemas de generación de energía fotovoltaica para suministrar energía a las embarcaciones, como se muestra en la figura 3.

El sistema utiliza tecnología de generación de energía fotovoltaica para convertir la energía solar en energía eléctrica y luego utiliza convertidores CC/CC carga y descarga, controladores para distribuir la energía eléctrica según corresponda. Si la luz del sol es lo suficientemente fuerte, la energía eléctrica se suministra directamente al motor para impulsar la hélice. Si la luz del sol no es lo suficientemente fuerte, la energía eléctrica se almacena en la batería (Zhang & Xu, 2020).

Figura 3 Sistema de propulsión para embarcación eléctrica integrando panel solar al sistema.

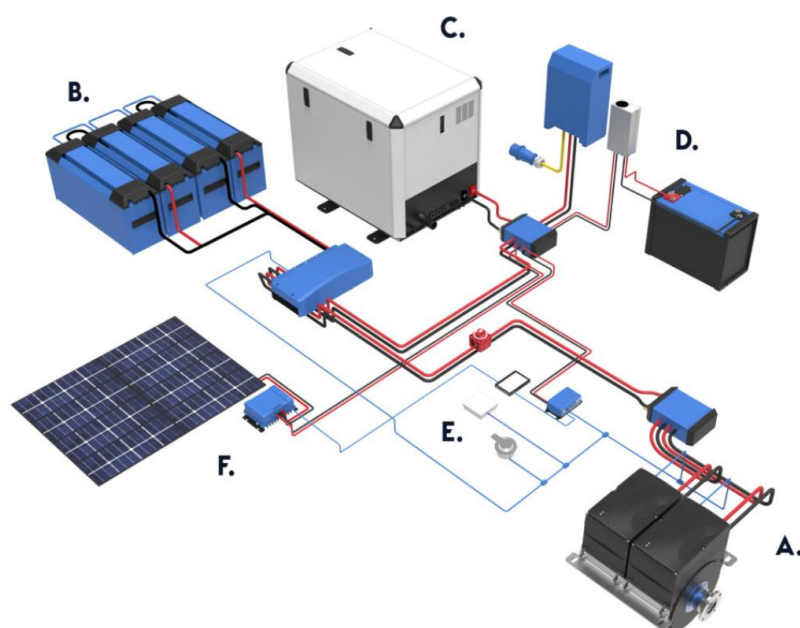


Tabla 2 Componentes principales del sistema de propulsión con panel solar.

A. Motor de transmisión por eje Oceanvolt AXC24	B. Banco de baterías de propulsión de iones de litio
C. Generador de CC	D. Toma de tierra, carga, convertidor CC/CC y batería doméstica
E. Palanca de control, visualización, control y monitoreo del sistema	F. Paneles solares y cargador solar

Estaciones de Carga

La adopción generalizada de vehículos eléctricos (VE) ha necesitado el desarrollo de estaciones de carga para VE, lo que requiere planificación estratégica y soluciones innovadoras. Las fuentes de energía sostenibles, la ubicación óptima y los marcos regulatorios son clave para la aceleración de la eficiencia de la infraestructura de carga. La implementación de estaciones de carga para embarcaciones eléctricas desempeñará un papel crucial en el avance del transporte marítimo sostenible.

Hay dos tipos de estaciones de carga:

1. Conectadas a la red eléctrica. Como se muestra en la figura 4.

2. Estaciones con energías alternativas como paneles solares y generadores eólicos, siendo independientes de la red de distribución eléctrica o en zonas donde no está disponible. Como se muestra en la figura 5.

Estas estaciones de carga también tienen efectos positivos y negativos sobre los sistemas de distribución de energía de la red eléctrica urbana. La incorporación de estaciones de carga de vehículos eléctricos (VE) requiere nuevas soluciones para tratar los perfiles de carga, la estabilidad de la red y los problemas de calidad de energía. Las nuevas configuraciones, como los rectificadores de fuente de corriente, permiten conexiones directas a redes de media tensión, reduciendo las distorsiones armónicas y mejorando la eficiencia (Azimi & Wei, 2024). La implementación de estaciones de carga móviles integradas con baterías y almacenamiento local de baterías puede ayudar a administrar las cargas máximas y mejorar la resiliencia de la red (Jaworski et al., 2024)

Figura 4 Ejemplo de estación de carga en muelle en la red eléctrica urbana.



Las estaciones de carga con energía solar están surgiendo como una opción viable, utilizando energía fotovoltaica para satisfacer la demanda de manera eficiente. Estos sistemas pueden operar dentro de un rango de voltaje de 360 V a 800 V y ofrecer salidas de potencia entre 20 y 180 kW, asegurando adaptabilidad y resiliencia (Armenta-Déu & Sancho, 2024).

Figura 5 Ejemplo de estación de carga integrando energías alternativas como paneles solares y generadores eólicos en muelle para embarcaciones.



La implementación de estaciones de carga para transbordadores híbridos y eléctricos implica abordar desafíos técnicos, económicos y legales, particularmente en lo que respecta a la estabilidad de la red local. La necesidad de capacidades de recarga rápida plantea preocupaciones sobre la calidad de la energía y la adecuación de la infraestructura (Cuculić et al., 2022).

Componentes de consideración para la estación de carga

Estimación del consumo de energía. Teniendo en cuenta la limitación de autonomía, la estimación del consumo de energía es un dato crucial para los problemas de planificación del transporte de vehículos eléctricos. La potencia es casi proporcional al cubo de la velocidad. Significa que la velocidad tiene un impacto importante sobre el consumo de energía. Es importante a considerar la variable de velocidad en embarcaciones eléctricas (Villa et al., 2019).

Función de carga no lineal. La función de carga modelada la relación entre el tiempo de carga de la batería y el nivel de la misma. En general, la función de carga no es lineal, porque el voltaje y la corriente del terminal cambian durante el proceso de carga. El esquema de carga se compone de dos fases: Corriente constante y tensión constante (Villa et al., 2019).

Degradación de la batería. La mayoría de las baterías utilizadas en la movilidad eléctrica sufren un proceso de degradación. Este proceso provoca una reducción de la capacidad de almacenamiento de energía de la batería. Por lo tanto, el valor de la batería disminuye afectando el valor total del vehículo, dado que el costo de la batería ronda el 40% del vehículo eléctrico. Existen dos condiciones de

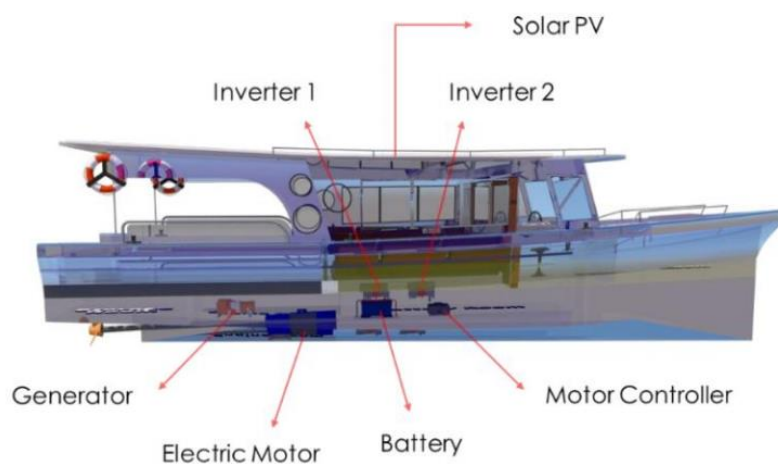
degradación de la batería el calendario (almacenamiento y paso del tiempo) y el envejecimiento por ciclo (ciclos de trabajo; carga-descarga) (Villa et al., 2019).

Sistemas híbridos

El sistema de energía híbrido se refiere a una planta de energía que combina dos o más fuentes de energía para proporcionar propulsión y electricidad al buque. El punto clave es optimizar la eficiencia energética y reducir las emisiones mediante el uso de la fuente de energía más adecuada en determinadas condiciones de funcionamiento. El tipo de fuente de energía híbrida se puede dividir en híbrido diésel-eléctrico, híbrido de pila de combustible, híbrido eólico-diésel (Peng et al., 2023).

A continuación, se describe un ejemplo del funcionamiento de un sistema híbrido en una embarcación de uso turístico como se muestra en la figura 6. El sistema de propulsión híbrido diésel-eléctrico utilizando energía solar fotovoltaica para ser instalado en la parte superior de la embarcación.

Figura 6 Embarcación híbrida con sus principales componentes.



El generador se utiliza para generar energía y cargar la batería al máximo, ya que la energía solar fotovoltaica no es suficiente para cargar la batería. El generador se selecciona en función de la energía para cargar la batería, que es menor que la del panel solar. El inversor se utiliza para convertir la corriente del generador a la batería, ya que la corriente del generador es corriente alterna, debe convertirse en corriente continua para que pueda ser aceptada por la batería, que almacena la corriente de la batería en corriente continua. Además, el inversor se utiliza nuevamente para convertir la corriente continua de la batería en corriente alterna para un motor de inducción eléctrica que utiliza

una corriente alterna trifásica. Además, la corriente continua del panel solar también pasa a través del inversor antes de ingresar a la batería para evitar la sobrecarga (Arif Budiyanto et al., 2024).

Ejemplos de la implementación de embarcaciones eléctricas e híbridas

Ampereship modelo ASP-60. Para que un barco funcione con energía solar de forma eficiente no basta con generar energía solar. El barco debe aprovechar al máximo la energía generada: se trata de una cuestión de hidrodinámica y peso. Los barcos de Ampereship como se muestra en la figura 7, están optimizados hidrodinámicamente para que puedan funcionar sin generar emisiones. Los cascos de sus barcos están diseñados y contruidos teniendo en cuenta la optimización del peso y de acuerdo con los requisitos del cliente (ampereship, s. f.).

Figura 7 Embarcacion totalmente eléctrica Ampereship modelo ASP-60 con sus principales características.



Ferry Hyke. Desde Londres hasta París y Hong Kong, una característica común de muchas de las ciudades más pobladas y económicamente exitosas del mundo es que dependen del agua, lo que significa que los transbordadores eléctricos podrían desempeñar un papel en la aceleración de los objetivos nacionales de cero emisiones netas, con los beneficios adicionales de reducir la congestión y brindar a los pasajeros un viaje más suave. El fabricante de ferry noruego Hyke es pionero en el concepto de barco autónomo y ha establecido un método innovador para cargar sus baterías mediante un sistema integrado mediante el cual los muelles flotantes permiten a los barcos cargarse sin necesidad de un permiso de planificación. Los barcos de Hyke se alimentan mediante paneles solares incorporados en el techo y se cargan automáticamente de forma inalámbrica mientras están atracados,

como se muestra en la figura 8, con la opción de integrar una batería de respaldo en los muelles para reducir la dependencia de las actualizaciones de la conexión a la red (Bindman, 2023).

Figura 8 Embarcación ferry eléctrica Hyke atracado en muelle.



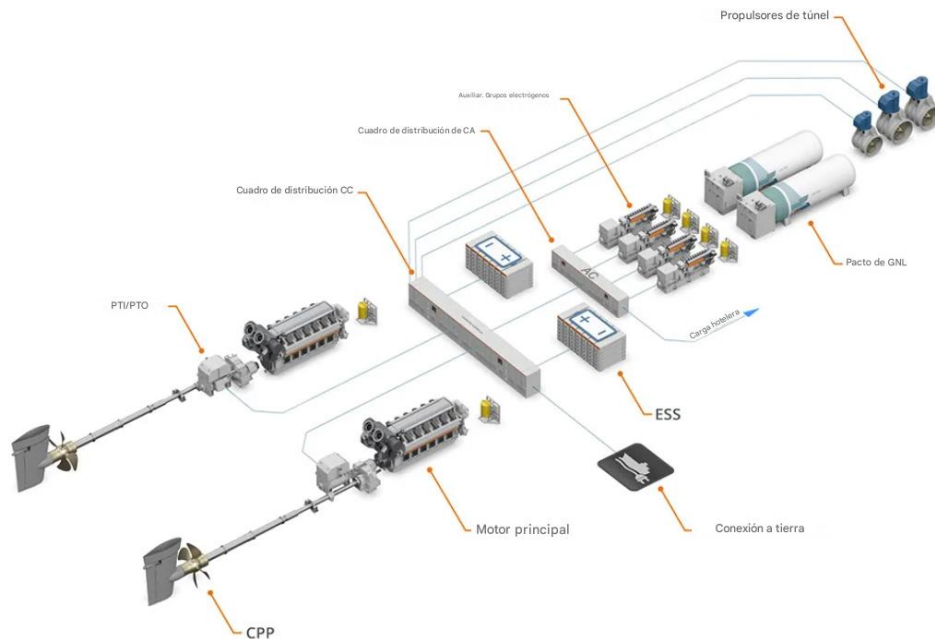
Brittany Ferries. En 2022, Brittany Ferries encargó dos nuevos buques híbridos que operarán entre Portsmouth (Reino Unido) y los puertos franceses de Saint-Malo y Caen. A bordo habrá un sistema de almacenamiento de energía basado en baterías de 11,5 MWh que batirá récords, lo que los convertirá en los buques híbridos más grandes del mundo como se muestra en la figura 9. El funcionamiento híbrido se está convirtiendo rápidamente en la norma para los transbordadores de nueva construcción por dos razones. En primer lugar, ahorra combustible y, por lo tanto, emisiones y gastos operativos. En segundo lugar, proporciona una gran flexibilidad operativa para los buques (Wartsila.com, s. f.).

Figura 9 Embarcación híbrida Brittany Ferries Navegando entre Inglaterra y Francia.



Brittany Ferries ha elegido un sistema híbrido para sus nuevos buques porque les permitirá hacer funcionar sus motores con una carga óptima, lo que mejora significativamente la eficiencia. Las baterías se utilizan para absorber las fluctuaciones de carga y proporcionar redundancia energética. También pueden proporcionar energía instantánea cuando se necesita, como se muestra en la figura 10 sin necesidad de esperar a que entren en funcionamiento los grupos electrógenos auxiliares (Wartsila.com, s. f.).

Figura 10 Sistema de propulsión híbrida con los principales componentes que lo conforman.



Color line ferry. En febrero de 2017, Color Line firmó un contrato con el Astillero Ulstein para construir el barco híbrido enchufable más grande del mundo. Este híbrido opera entre Sandefjord (Noruega) y Strömstad (Suecia) estuvo listo en 2019. El barco funciona con baterías al máximo en el trayecto entre el fiordo y el puerto interior de Sandefjord como se muestra en la figura 11. Esto significa que el barco no emite gases de efecto invernadero nocivos para la atmósfera y el ruido se reduce considerablemente. A 100 metros del barco, el ruido es tan fuerte como una conversación normal entre dos personas.

Figura 11 Vistas de la embarcación Híbrida ColorLine y sus principales características.

Datos sobre el barco híbrido:

Tipo de barco:	Híbrido enchufable
Astillero:	Construido en el astillero Ulstein
Número de pasajeros:	2.000
Tripulación total:	100
Número de vehículos:	500
Dimensiones generales:	Eslora 160 m, manga 27,1 m, calado 6,0 m
Paquete de batería:	Aproximadamente 5 MWh (megavatios hora) que permiten maniobrar y navegar hasta 60 minutos a velocidades de 0 a 12 nudos. Buena recuperación de calor residual (WHR) mediante un sistema de depósito de agua caliente. Emisiones de ruido extremadamente bajas durante el funcionamiento con batería y cuando está amarrado por la noche.
Inicio de la construcción:	Julio de 2017
Entrega:	Verano 2019



Resultados y discusión

El principal resultado de este estudio es la identificación de un crecimiento significativo en la adopción de sistemas de propulsión eléctrica en embarcaciones de pequeño y mediano tamaño,

especialmente en el segmento de recreo y transporte urbano acuático. Sin embargo, la electrificación de grandes buques comerciales sigue enfrentando desafíos importantes, como la limitada capacidad de almacenamiento de energía en baterías y la infraestructura portuaria insuficiente para la recarga rápida. Se destaca que las soluciones híbridas (combinación de motores diésel o gas lp y eléctricos) son actualmente la opción más viable para reducir emisiones en el corto y mediano plazo. Las políticas internacionales están evolucionando para apoyar la transición hacia tecnologías más limpias; Sin embargo, todavía existen obstáculos regulatorios que están dificultando el progreso.

Tabla 3 Embarcaciones eléctricas existentes y en operatividad mostrando datos como capacidad de la batería, sistema de propulsión y tiempo de recorrido de ruta.

Los transbordadores eléctricos existentes tienen una variedad de capacidades de batería

Detalles de una selección de transbordadores eléctricos existentes

	Año	Tipo de propulsión	Longitud de la ruta (minutos)	Capacidad de la batería (MWh)	Método de carga
Amperio 	2015	Totalmente eléctrico	20	1.0	Batería de 410 kWh en ambos muelles, lo que permite una "carga rápida" a la llegada (1 MW en nueve minutos)
Color híbrido 	2019	Batería híbrida (diésel eléctrico más batería)	180	4.7	Sistema de carga de 11,5 kV (solo en Sandefjord (por ahora))
Electra +	2017	Batería híbrida (diésel eléctrico más batería)	15	1.0	Carga directamente desde la red
Bastø eléctrico +	2020	Totalmente eléctrico	30	4.3	Carga rápida directa
EM Medstraum 	2021	Totalmente eléctrico	30	1.5	Salas de baterías a nivel de cubierta y carga en tierra
E-Ferry Ellen 	2020	Totalmente eléctrico	60	4.3	Impulsado por turbinas eólicas locales

CONCLUSIONES

El potencial de electrificación estimado del sector náutico es una gran oportunidad para lograr un nuevo paradigma de navegación más sostenible y eficiente. Aunque se esperan importantes avances tecnológicos en materia de baterías y sistemas de gestión energética en los próximos años, todavía son necesarias soluciones a escala y sigue siendo crucial la reinversión en I+D. Dicha transición requerirá una colaboración sin precedentes entre gobiernos, industria y academia. Además, es necesario contar con regulaciones más estandarizadas y el establecimiento de incentivos económicos para fomentar la adopción de tecnologías limpias.

En el futuro, la integración de energías renovables, como la solar y eólica, en los sistemas de propulsión eléctrica podría ampliar aún más las posibilidades de descarbonización del sector.

Agradecimientos

Agradezco al cuerpo académico y administrativo del posgrado de maestría en desarrollo regional e innovación tecnológica del Tecnológico Nacional de México Campus Acapulco a CONAHCYT por su apoyo.

Conflictos de interés

Declaramos que no existe conflicto de interés.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ampereship. (s. f.). *ASP-60—Amperaje ES*. Recuperado 20 de febrero de 2025, de <https://www.ampereship.com/en/asp-60.html>
- Arif Budiyanto, M., Zyan Beckham, M., Liston Putra, G., & Riadi, A. (2024). Study on Design of Hybrid Diesel-Electric Motor Propulsion System for Eco-Tourism Boat. *Journal of Physics: Conference Series*, 2739(1), 012053. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2739/1/012053>
- Armenta-Déu, C., & Sancho, L. (2024). Sustainable Charging Stations for Electric Vehicles. *Eng*, 5(4), 3115-3136. <https://doi.org/10.3390/eng5040163>
- Azimi, E., & Wei, Q. (2024). Direct Connection of EV Fast Charging Station to Medium Voltage AC Grid. *2024 IEEE 10th International Power Electronics and Motion Control Conference (IPEMC2024-ECCE Asia)*, 1954-1958. <https://doi.org/10.1109/IPEMC-ECCEAsia60879.2024.10567669>
- Batrak, D. V., Nikushchenko, D. V., & Senkov, A. P. (2022). Electric propulsion system for high-speed vessels. *Elektrotehnika*, 11, 59-64. https://doi.org/10.53891/00135860_2022_11_59
- Bindman, P. (2023, marzo 22). Electric ferries: The secret to the rapid electrification of ferries. *Energy Monitor*. <https://www.energymonitor.ai/sectors/transport/the-secret-to-electric-ferries/>
- Cha, M., Enshaiei, H., Nguyen, H., & Jayasinghe, S. G. (2023). Towards a future electric ferry using optimisation-based power management strategy in fuel cell and battery vehicle application—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 183, 113470. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113470>



- Cuculić, A., Panić, I., Ćelić, J., & Škrobonja, A. (2022). Implementation of Charging Stations for Hybrid and Electrical Ferries in Croatian Ports. *Journal of Maritime & Transportation Science, Special edition 4*(4), 147-160. <https://doi.org/10.18048/2022.04.10>
- Electronica Edimar. (2023, mayo 7). *E-boating: Definición y ventajas – Electrónica Edimar*. <https://www.edimar.com/e-boating-definicion-y-ventajas/>
- G, D. G. S., Dharawadmath, S. I., R, U. H., D, Y., K, S., N, P., Kerur, M. A. M., & C, R. H. (2023). Advancements and Challenges in Electromobility: A Comprehensive Review. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology, 11*(12), 1050-1056. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2023.57516>
- Graham, J. D., & Hua, K. (2024). Electromobility. En D. J. Fiorino, T. A. Eisenstadt, & M. K. Ahluwalia (Eds.), *Elgar Encyclopedia of Climate Policy* (pp. 382-386). Edward Elgar Publishing. <https://doi.org/10.4337/9781802209204.ch73>
- Guellard, B., De Montgros, X., De La Barriere, P. P., Wolfensberger, G., & D'oliveira, P. (2013). An overview of electric and solar boats market in France. *2013 World Electric Vehicle Symposium and Exhibition (EVS27)*, 1-13. <https://doi.org/10.1109/EVS.2013.6915050>
- Hernández, E. L. (2025, febrero 14). *Energías limpias, recurso indispensable para contrarrestar el cambio climático*. El País México. <https://elpais.com/mexico/branded/el-futuro-es-renovable/2025-02-14/energias-limpias-recurso-indispensable-para-contrarrestar-el-cambio-climatico.html>
- Jaworski, J., Miskiewicz, R., Miazek, P., Drozd, W., Rzepka, A., & Karnowski, J. (2024). Challenges and Solutions for Grid Penetration Caused by EV Charging Stations in Urban Areas. En B. Alareeni & A. Hamdan (Eds.), *Technology: Toward Business Sustainability* (Vol. 925, pp. 453-462). Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-54019-6_41
- Moyón Moyón, C. D. R., Gavilanes Yunga, L. A., Huilca Modumba, L. Á., & Lema Rodríguez, J. D. (2024). Estado del arte de la prospectiva del uso de baterías de iones de litio en autos híbridos: Evaluaciones ambientales y desarrollo industrial sostenible en Latinoamérica. *ConcienciaDigital, 7*(2), 141-155. <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v7i2.2994>



- Paz Penagos, H., Cristancho Rivera, V. Y., & Morales Mahecha, E. (2024). *Evaluación teórica de la estabilidad de la batería ION Litio, mediante la incorporación de grafito en el cátodo*. 1-11.
<https://doi.org/10.26507/paper.3662>
- Peng, H., Yi, H., Feng, C., Jiang, J., & Chen, X. (2023). Hybrid Power Systems for Vessels with Lithium-Ion Battery System: An Application Case. *2023 IEEE/IAS Industrial and Commercial Power System Asia (I&CPS Asia)*, 762-767.
<https://doi.org/10.1109/ICPSAsia58343.2023.10294893>
- Porru, M., Pisano, M., Serpi, A., & Pilo, F. (2020). Electrification of Leisure Boats: A commercial State-of-the-Art. *2020 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC)*, 1-6.
<https://doi.org/10.1109/VPPC49601.2020.9330879>
- Siemens Energy. (2022). *Decarbonizing maritime transport*. Bellona. [siemens-energy.com](https://www.siemens-energy.com)
- Villa, D., Montoya, A., & Ciro, J. M. (2019). The electric boat charging problem. *Production*, 29, e20190067. <https://doi.org/10.1590/0103-6513.20190067>
- Wartsila.com. (s. f.). *How a hybrid power-up is helping Brittany Ferries to decarbonise*. Wartsila.com. Recuperado 20 de febrero de 2025, de <https://www.wartsila.com/insights/case-study/brittany-ferries>
- Zhang, H., & Xu, X. (2020). *Investigación y Diseño de Electricidad Complementaria Eólica y Solar Barco Turístico*.
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202014>