Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica

Página principal: www.riiit.com.mx

El Futuro Eléctrico de la Navegación: Sostenibilidad y Avances Tecnológicos

The Electric Future of Shipping: Sustainability and Technological Advances

Arredondo-Cortés, R.*, Castellanos-Meza, C., Bedolla-Solano, J.J.

Departamento de Posgrado e Investigación; Maestría en Desarrollo Regional e Innovación Tecnológica; Avenida Instituto Tecnológico. Km. 6.5, S/N, Col. El Cayaco, C.P. 39905, Acapulco de Juárez, Guerrero, México (https://orcid.org/0009-0004-1541-2128, https://orcid.org/0000-0002-3327-3342, https://orcid.org/0000-0002-3327-3342).

rodrigo.arredondo1@gmail.com*; carmelo.cm@acapulco.tecnm.mx; juan.bs@acapulco.tecnm.mx

Innovación tecnológica: Implementación de sistemas de propulsión eléctrica con baterías de alta densidad energética y recarga solar en embarcaciones.

Área de aplicación industrial: Propulsión eléctrica, almacenamiento de energía (baterías), energías renovables (recarga solar/eólica), eficiencia energética y automatización naval.

Recibido: 08 mayo 2025
Aceptado: 20 octubre 2025

Abstract

Electrification in the nautical sector is important for reducing emissions and improving energy efficiency in navigation. This study analyzes the current situation and obstacles to migrating to electric and hybrid propulsion systems in vessels through a systematic literature review and case studies from various countries. The results show clear growth in the use of electric technology for small and medium-sized vessels, while its application for large vessels is restricted by technical and infrastructural challenges. In the short term, hybrid solutions appear to be the best option. In summary, despite promising technical developments, further investment in research, regulatory harmonization, and economic incentive structures by stakeholders are needed for the transition to occur at a much faster pace. This work provides a holistic perspective and actionable insights to improve sustainability in the nautical industry.

Keywords: Electric vessel, Energy storage, Electromobility, Hibrid, Propulsion systems.

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: Almacenamiento de energía, Embarcación eléctrica, Electromovilidad, Hibrido, Sistemas de propulsión.

I. 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 que provocan fenómenos climatológicos más extremos (Hernández, 2025).

El transporte náutico en México ya sea turístico o de pasajeros, contribuye a la contaminación marina mediante el vertido de aceites, combustibles, aguas residuales y residuos sólidos como plásticos, que afectan los ecosistemas y la vida marina. Esta contaminación puede causar eutrofización y agotar el oxígeno del agua, poniendo en riesgo la biodiversidad y la salud humana. La presencia de embarcaciones también genera contaminación acústica y lumínica, alterando el comportamiento de los animales marinos y sus ciclos.

Contaminantes y sus fuentes:

- **Hidrocarburos y aceites:**

Derivados del combustible y la operación de las embarcaciones, estos contaminantes se dispersan en el agua.

- **Residuos sólidos:**

Plásticos, botellas, envases y otros desechos generados por los turistas y la operación de las embarcaciones, que no son adecuadamente gestionados en tierra.

- **Aguas residuales:**

Descargas de hoteles, servicios sanitarios y otras instalaciones que, si no son tratadas correctamente, liberan contaminantes al medio acuático.

- **Microplásticos:**

Pequeños fragmentos de plástico derivados de desechos más grandes que terminan en los océanos.

Impactos ambientales:

- **Degradación de ecosistemas:**

Los contaminantes pueden llevar a la eutrofización, un proceso que disminuye el oxígeno en el agua y afecta la vida marina.

- **Pérdida de biodiversidad:**

La acumulación de sustancias nocivas y la falta de oxígeno dificultan la supervivencia de muchas especies marinas.

- **Riesgos para la salud humana:**

El consumo de mariscos y pescados contaminados por los residuos puede ser perjudicial para la salud.

- **Alteración del comportamiento animal:**

La contaminación lumínica y acústica, proveniente de las embarcaciones, interrumpe los patrones de alimentación, reproducción y migración de especies como peces, delfines y ballenas.

Ejemplos en Acapulco, Guerrero, México:

- En Acapulco, se ha reportado la presencia de más de 800 embarcaciones contaminando el mar, muchas de ellas hundidas o dañadas por el huracán Otis en octubre de 2023, liberando grandes cantidades de aceite y combustible al agua.

La electrificación se presenta como una alternativa 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. Otro objetivo es dar a conocer las embarcaciones eléctricas e híbridas, mostrando ejemplos reales de otros países y su viabilidad en México mediante inversión pública o privada. Debido a su riqueza en rutas fluviales y destinos turísticos, México tiene una gran oportunidad para modernizar el transporte en embarcaciones de pasajeros y turistas con sistemas de propulsión limpios y eficientes.

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

Electromovilidad. La electromovilidad se refiere a la integración de vehículos eléctricos 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 (G et al., 2023). 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).

Barcos híbridos. Un barco híbrido combina al menos dos tipos de propulsión, típicamente un motor de combustión interna (diésel o gas) y un sistema de propulsión eléctrica alimentado por baterías. El principio del sistema de accionamiento híbrido consiste en que los generadores diésel o de metanol, combinados inteligentemente con los motores eléctricos, alcanzan la máxima eficiencia. Esta configuración permite operar con mayor eficiencia, reducir el consumo de combustible y disminuir las emisiones contaminantes, aprovechando lo mejor de cada fuente de energía según las condiciones de navegación. Es un paso clave hacia la descarbonización del transporte marítimo (Baumüller Nürnberg GmbH, 2018).

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 diésel 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).

Sistemas de Propulsión Eléctrica. 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).

II. Materiales y métodos

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

Para la búsqueda de datos se utilizó la base de datos científicos como: IEEE, ScienceDirect, MDPI; para el análisis bibliométrico, se utilizó el software VosWieber, permite construir y visualizar redes bibliométricas, como se muestra en la figura 1. Se puede utilizar para estudiar la estructura y dinámica de un campo científico, a partir de datos obtenidos de buscadores bibliográficos. A continuación, utilizando formulas booleanas para búsqueda en cada base de datos se utilizaron las siguientes para ScienceDirect, como se muestra en la figura se utilizó la formula booleana: (ship OR vessel OR boat) AND (electric OR battery) AND (propulsion OR drive) AND (marine OR naval) AND (hibryd), dando como 533 resultados de documentos.

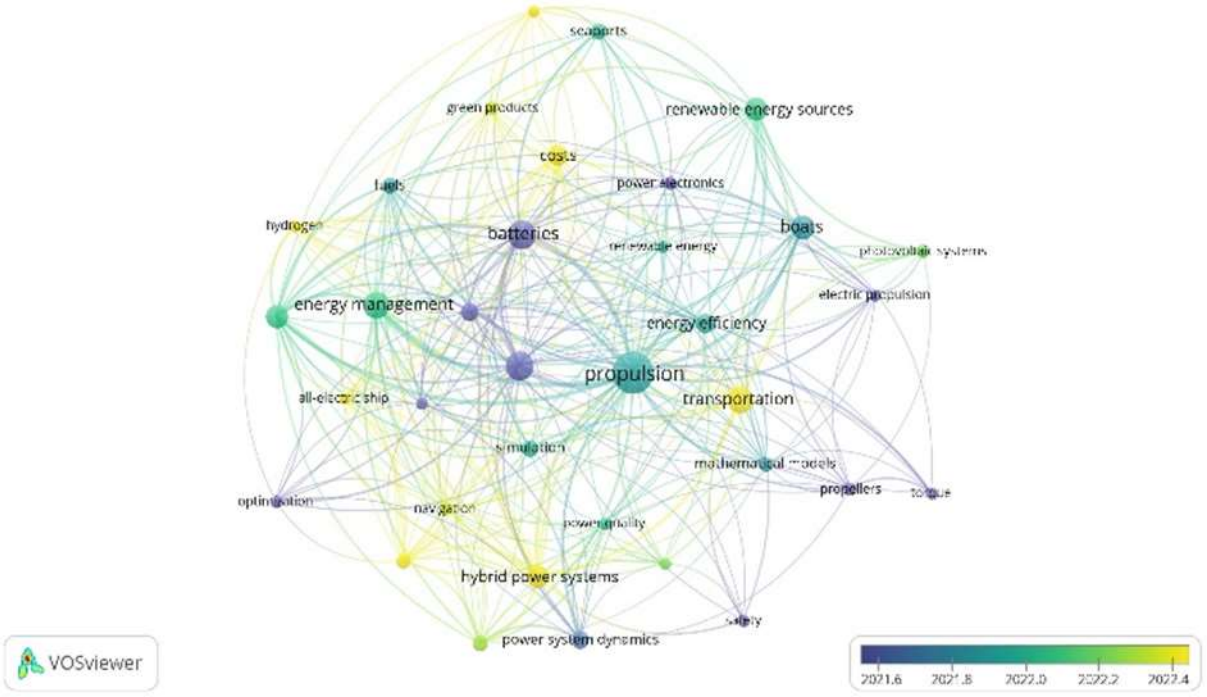
Como se observó en los resultados de búsqueda de estas bases de datos científicos, el tema ha sido tomado en cuenta desde diferentes puntos de vista, enfocados en la movilidad con fuentes de energía convencionales y renovables, mejoras del

rendimiento de diferentes tipos de embarcaciones, sistemas de propulsión totalmente eléctricos e híbridos, etc. Realizando el análisis bibliométrico con voswiever, podemos observar que hay palabras claves concurrentes en las bases de datos que cubren el tema.

El gráfico resultante del análisis bibliométrico, muestra que las palabras claves más utilizadas son propulsión, baterías, barcos, transportación, gestión de energía, energías renovables. Eso indica que son las áreas o donde más estudios o investigación se está realizando, Así como que países lideran la investigación tecnológica y la innovación en este tipo de embarcaciones donde resalta como líder hasta el momento, en esta área de barcos o embarcaciones eléctricas e híbridas; Estados Unidos, China, Reino Unido, Alemania y la India.

III. Método experimental datos recopilados

A continuación, se muestra una tabla con la clasificación de embarcaciones eléctricas e híbridas y se desarrolló el compilatorio de los datos obtenidos en la investigación.



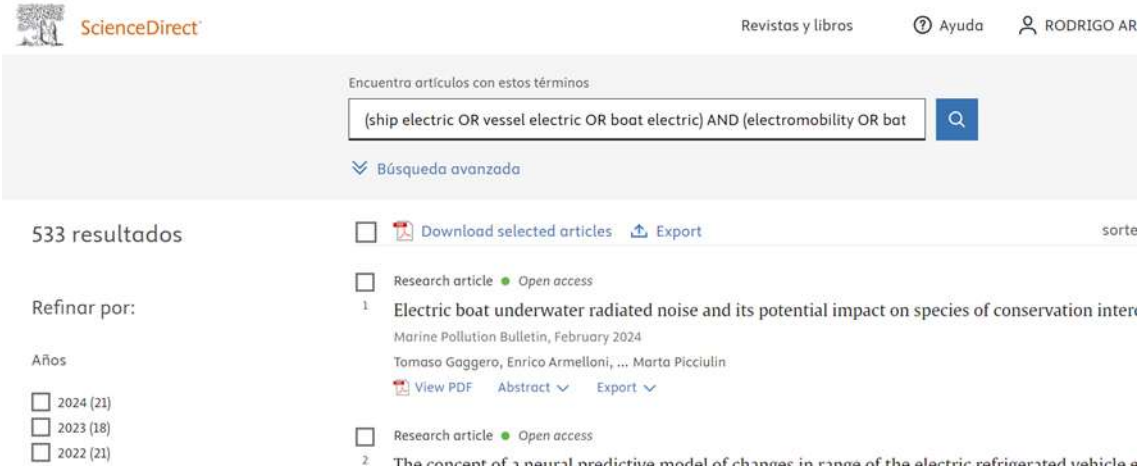


Figura 1. Gráfica superior con análisis bibliométrico con programa vosviewer donde se muestra las palabras claves más utilizadas en artículos científicos sobre embarcaciones eléctricas e hibridas. Gráfica inferior muestra la realización de búsqueda de artículos utilizando formulas booleanas.
Fuente https://www.vosviewer.com/ https://www.sciencedirect.com/

Tabla 1. Diferencias entre embarcación totalmente eléctricas e hibridas.

Sistema de propulsión y componentes de embarcaciones eléctricas	Sistemas híbridos
Los barcos eléctricos 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. La hélice está conectada al motor eléctrico directamente o mediante una caja de cambios fig. 2 y Tabla 2 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 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). La adopción generalizada de vehículos eléctricos ha necesitado el desarrollo de estaciones de carga para, 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.	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 7. El sistema de propulsión híbrido diésel-eléctrico utilizando energía solar fotovoltaica para ser instalado en la parte superior de la embarcación. 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. Un inversor de corriente o inversor de potencia es un dispositivo electrónico que tiene como función principal transformar la tensión de entrada de corriente continua (CC o DC) en una tensión simétrica de salida de corriente alterna (CA o AC). La corriente continua es la que se obtiene de fuentes como baterías o paneles solares. La mayoría de los electrodomésticos y equipos eléctricos domésticos o de red funcionan con corriente alterna. Por lo tanto, el inversor es esencial para permitir que estos aparatos funcionen en lugares donde la única fuente de energía disponible es de corriente continua, o para integrar

	energías renovables (como la solar) a la red o al uso doméstico. Además de convertir el tipo de corriente, un inversor también puede modificar la magnitud del voltaje y la frecuencia de la corriente alterna de salida para adaptarla a los requisitos del usuario o del equipo. (Arif Budiyanto et al., 2024)

Fuente: Información consultada del estado de arte.

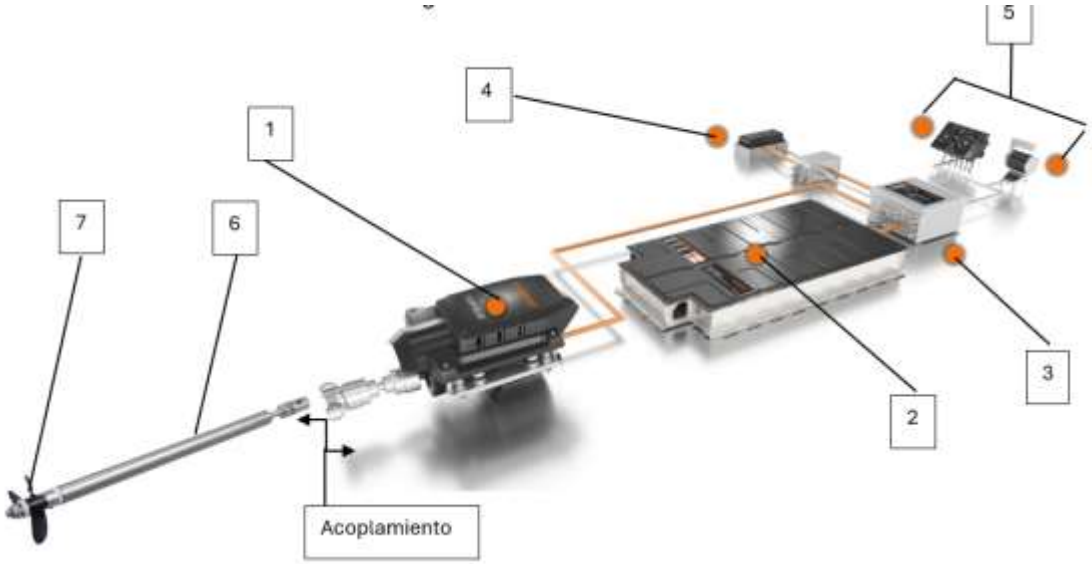


Figura 2. Elementos o componentes que integran un sistema de propulsión para embarcación eléctrica.
Fuente: https://www.torqeedo.com/en/products/inboards/deep-blue-25-50i-2000/M-3301-00.html

Tabla 2. Numero 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 de 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 3. De esta manera, se logra bajas emisiones y contaminaciones de manera efectiva, reduciendo la destrucción del entorno ecológico y los ecosistemas marinos.

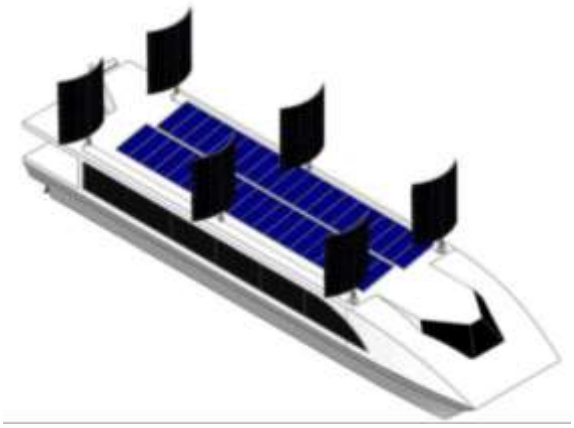


Figura 3. Representación gráfica de un prototipo de embarcación con paneles solares y velas eólicas para propulsión.
Fuente "Investigación y diseño de electricidad complementaria eólica y solar barco turístico" de Haomin Zhang, Xingang Xu.

La energía solar es una inagotable fuente de energía renovable con múltiples beneficios, tales como limpieza, seguridad, larga vida útil y bajos costos de 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 para carga y descarga, controladores para distribuir la energía eléctrica según corresponda, como se muestra en la figura 4. Si la luz del sol es lo suficientemente intensa, 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).

El uso masivo de baterías recargables en electrónica ha agravado el problema recurrente a nivel mundial de la generación de grandes cantidades de baterías de iones de litio usadas. La insuficiencia de recursos de metales críticos en agotamiento también se ha descrito con frecuencia. La evaluación ambiental del ciclo de vida de las baterías ion-litio se ha dilucidado en relación con los efectos del suministro de materias primas, el transporte y el reciclaje. Las baterías de iones de litio representan una fuente significativa de materiales valiosos —como litio, cobalto, níquel y manganeso—, pero también de componentes potencialmente peligrosos para la salud humana y el medio ambiente. Su eliminación inadecuada, común en países en desarrollo por la falta de normativas de recolección y reciclaje, genera riesgos ambientales y un desperdicio de recursos estratégicos. Asociación de Baterías Recargables Portátiles (PRBA), la Corporación de Reciclaje de Baterías Recargables (RBRC), la Asociación Europea de Baterías Portátiles (EPBA), impulsan el reciclaje en Europa y Estados Unidos, pero su alcance es limitado a nivel global.

Estructuralmente, las baterías ion litio están compuestas por un cátodo (óxidos metálicos como $LiCoO_2$ o $LiMnO_2$ sobre lámina de aluminio), un ánodo (grafito sobre cobre), un electrolito (sales como $LiPF_6$ o $LiBF_6$), un separador polimérico (PP o PE) y una carcasa metálica. Estas configuraciones determinan tanto el valor económico del reciclaje como los riesgos asociados a su disposición final. La masa de las celdas varía, lo que incide en la economía de su procesamiento.

En este sentido, el reciclaje ecológico surge como la alternativa más sostenible, capaz de minimizar los efectos adversos ambientales y recuperar recursos estratégicos para la industria tecnológica (Meshram et al., 2020).

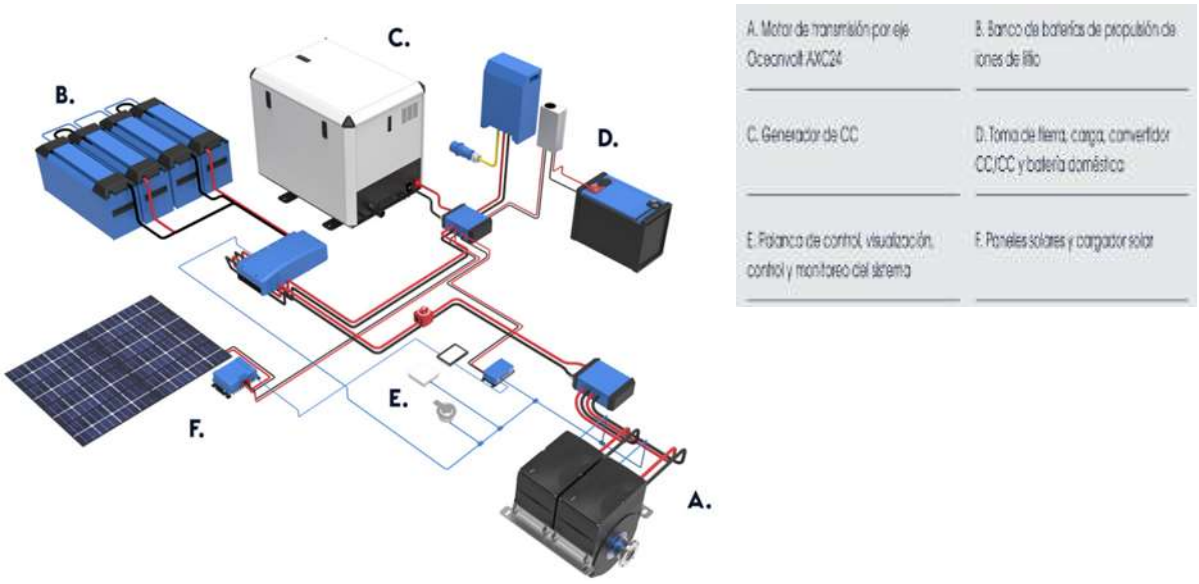


Figura 4. Sistema de propulsión y energía para embarcación puramente eléctrica integrando panel solar al sistema al lado derecho se muestra a que componente esta designado cada letra de la gráfica.
Fuente https://oceanvolt.com

Estaciones de Carga

La adopción generalizada de vehículos eléctricos ha necesitado el desarrollo de estaciones de carga, 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 5.
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 6. A estas se les conoce como las microrredes de energías renovables son sistemas locales de generación y distribución de electricidad que integran fuentes como la solar, eólica e hidroeléctrica, a menudo con almacenamiento en baterías. Su principal ventaja es su capacidad para operar de forma autónoma de la red eléctrica principal, lo que garantiza un suministro más seguro, resiliente y sostenible.

Existen diferentes razones por las que las microrredes pueden ser una eficaz alternativa de suministro eléctrico a una localidad geográfica específica. Algunas de sus principales beneficios son:

Una de las principales ventajas de las microrredes es la posibilidad de suministrar una energía constante y de alta calidad a una determinada localidad, que muchas veces se encuentra alejada de los grandes centros urbanos, como las zonas rurales. A diferencia de las líneas de transmisión.

Gran parte de las microrredes distribuyen electricidad que proviene de fuentes de energía renovable como paneles solares o turbinas eólicas. Con eso, garantizan la incorporación de más tecnología renovable y se posiciona como un pilar importante para la transición energética.

Las alteraciones en la red producidas por incidencias, ya sea por causas meteorológicas, por fallos en los equipos o por variación en las tensiones, no afectan a los usuarios que están conectados a las microrredes (IBERDROLA, 2025).

Las 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 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 5. Ejemplo de estación de carga en muelle en la red eléctrica urbana.

Fuente realizado con inteligencia artificial en canva. canva.com/es_419/

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 6. Ejemplo de estación de carga integrando energías alternativas como paneles solares y generadores eólicos en muelle para embarcaciones.
Fuente realizado con inteligencia artificial en canva. canva.com/es_419/

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).

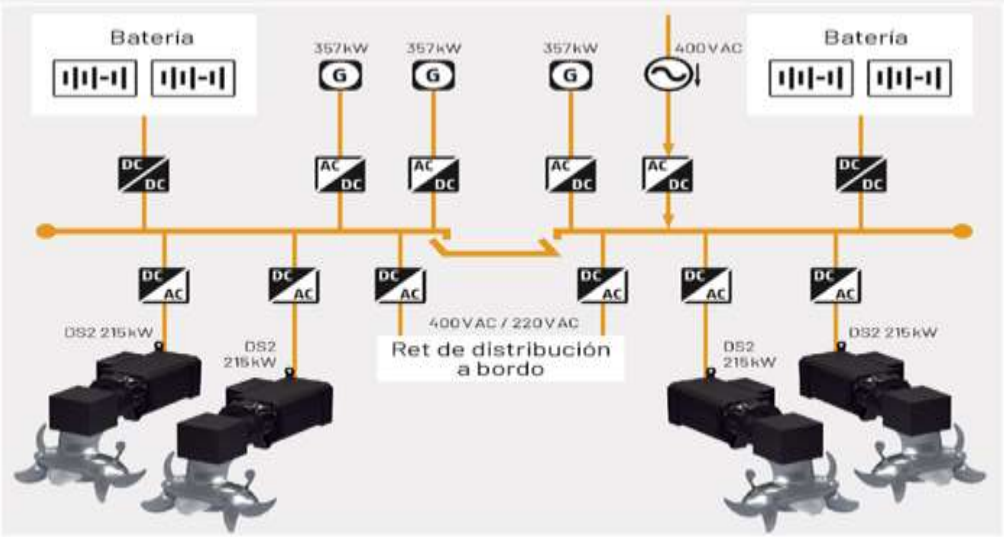


Figura 7. Embarcación hibrida con sus principales componentes.
Fuente https://www.baumueller.com/es/sectores/naval/accionamientos-hibrido.

IV Ejemplos de la implementación de embarcaciones eléctricas e hibridas

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 8, están optimizados hidrodinámicamente para que puedan funcionar sin generar emisiones. Los cascos de sus barcos están diseñados y construidos teniendo en cuenta la optimización del peso y de acuerdo con los requisitos del cliente (ampereship, s. f.).



Figura 8. Embarcación totalmente eléctrica Ampereship modelo ASP-60 con sus principales características.
Fuente https://ampereship.com/

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 9, 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 9. Embarcación ferry eléctrica Hyke atracado en muelle.
Fuente https://www.energymonitor.ai/sectors/transport/the-secret-to-electric-ferries/?cf-view.

Hybrid Ecopelican: tecnología híbrida para aguas más limpias. Una solución sostenible y eficaz para la recogida de residuos en zonas portuarias y costeras.

En un contexto global en el que la protección del medioambiente marino se ha convertido en una prioridad, el Hybrid Ecopelican surge como una innovadora solución tecnológica que combina sostenibilidad, eficiencia operativa y compromiso ecológico.

Diseñado y construido por AISTER, este buque híbrido está especialmente concebido para realizar tareas de limpieza en zonas portuarias, ríos y aguas interiores, con el objetivo de eliminar residuos sólidos flotantes y contribuir de forma activa a la preservación de los ecosistemas acuáticos.

Su diseño compacto, su avanzado sistema de propulsión y su equipamiento operativo lo convierten en una herramienta versátil, ideal para enfrentarse a los desafíos actuales de la gestión de residuos marinos.

El Hybrid Ecopelican es una embarcación de 12,5 metros de eslora (largo) y 2,48 metros de manga (ancho), construida íntegramente en aluminio naval, un material ligero, resistente a la corrosión y de bajo mantenimiento, como se muestra en la figura 10.

Esta aleación confiere al casco una gran durabilidad, a la vez que garantiza una estructura insumergible, ideal para operaciones prolongadas en condiciones exigentes. Su calado de apenas 0,80 m le permite maniobrar fácilmente en aguas someras, lo que lo hace especialmente útil en puertos, zonas de difícil acceso o entornos urbanos fluviales.

La característica más destacada de esta embarcación es su sistema de propulsión híbrido en paralelo. Equipado con un motor diésel de 74 kW y un motor eléctrico de 20 kW alimentado por una batería de litio de 80 kWh, permite alternar entre modos de funcionamiento dependiendo de las necesidades operativas. Así, puede operar en modo completamente eléctrico durante maniobras delicadas o en zonas de sensibilidad ambiental, reduciendo al mínimo las emisiones contaminantes y el ruido. Esta capacidad no solo mejora el rendimiento energético, sino que también favorece una menor huella ambiental.

El sistema de recogida de residuos está optimizado para una eficacia máxima gracias a su innovador diseño en proa. Allí se ubican dos pinzas hidráulicas laterales que, al desplegarse, forman una cántara interna: un espacio abierto entre costados que canaliza el fujo de agua junto con los residuos hacia el sistema de recolección central. Esta cántara actúa como una “boca” de captación dinámica, capaz de dirigir eficazmente plásticos, maderas y otros elementos contaminantes hacia un elevador que los deposita en un contenedor sobre cubierta.

El equipo incluye una toma hidráulica auxiliar preparada para acoplar dispositivos adicionales como un skimmer, ideal para la recogida de hidrocarburos o una hidro limpiadora para tareas de limpieza del propio barco o instalaciones externas.

Un modo de succión con tobera deslizante, conectada a la hélice, permite trabajar con precisión en zonas de difícil acceso o en presencia de residuos semisumergidos (Aister, 2025).

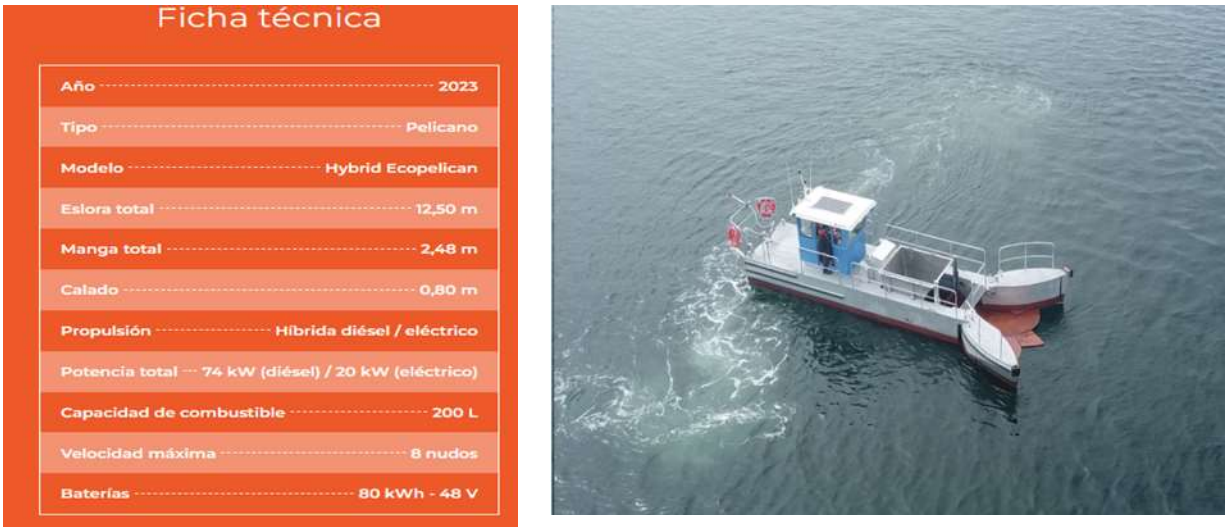


Figura 10. Embarcación Ecopelican en pruebas en mar abierto y ficha técnica.
Fuente https://aister.com/es/proyecto/hibridos-electricos/hybrid-ecopelican-tecnologia-hibrida-para-aguas-mas-limpias/

V. Discusión de resultados

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.

VI. 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.

VII. 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.

VIII. Conflictos de interés

Declaramos que no existe conflicto de interés.

IX Referencias

Aister. (2025). Hybrid Ecopelican: Tecnología híbrida para aguas más limpias. *Aister*. https://aister.com/es/proyecto/hibridos-electricos/hybrid-ecopelican-tecnologia-hibrida-para-aguas-mas-limpias/

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

Batrak, D. V., Nikushchenko, D. V., & Senkov, A. P. (2022). Electric propulsion system for high-speed vessels. *Elektrotekhnika*, *11*, 59-64. https://doi.org/10.53891/00135860_2022_11_59

Baumüller Nürnberg GmbH. (2018, junio 12). *Accionamientos híbridos de barcos | propulsión naval con Baumüller*. Baumüller Nürnberg GmbH. https://www.baumueller.com/es/sectores/naval/accionamientos-hibrido

Cha, M., Enshaei, 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

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

IBERDROLA, I. (2025). *Microrredes: Soluciones energéticas*. Iberdrola. https://www.iberdrola.com/conocenos/nuestra-actividad/smart-grids/microrredes

Meshram, P., Mishra, A., Abhilash, & Sahu, R. (2020). Environmental impact of spent lithium ion batteries and green recycling perspectives by organic acids – A review. *Chemosphere*, *242*, 125291. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125291

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