

EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL SECTOR MARÍTIMO DE PANAMÁ

Energy efficiency in the maritime sector OF Panama

Oriel Castillo¹

<https://orcid.org/0009-0001-9091-7263>

Maricarmen Soto-Ortigoza²

<https://orcid.org/0000-0003-2693-383X>

Cómo citar: Castillo, O., Soto-Ortigoza, M. (2025). Eficiencia energética en el sector marítimo de Panamá. *Scientia Iter*, 1(2), 96-105. <https://doi.org/10.70452/scientiaiter12.5>

RESUMEN

El organismo responsable de regular la industria marítima a nivel global ha desarrollado una nueva normativa orientada a promover la eficiencia energética en las operaciones navales. Esta regulación impactará directamente a los armadores, quienes han manifestado inquietudes sobre su aplicación práctica y los costos asociados. En este contexto, se plantea como objetivo examinar la eficiencia energética en el sector marítimo de Panamá, a partir de los desafíos derivados de la reciente normativa. La investigación se enmarca en un enfoque cualitativo, de tipo exploratorio y documental, mediante el cual se analizaron disposiciones recientes emitidas por el Grupo de Trabajo de la Organización Marítima Internacional (OMI). Entre los hallazgos, se destaca que dicho grupo ha anunciado la próxima incorporación de nuevas exigencias para buques de 500 toneladas de registro bruto o más, a través del mejoramiento progresivo del Índice de Diseño de Eficiencia Energética (EEDI). Cabe señalar que la normativa contempla excepciones para ciertas categorías de buques, como los tipos RO-RO y aquellos que emplean sistemas de propulsión eléctricos, de turbina o híbridos, cuya inclusión dependerá del establecimiento de líneas de referencia técnicas específicas. En conclusión, el transporte marítimo continúa siendo el medio de carga más eficiente en términos comerciales; sin embargo, dada su escala operativa, este sector es responsable de entre el 2% y el 4% de las emisiones globales de CO₂, lo que justifica la necesidad de regulaciones que impulsen su sostenibilidad.

Palabras Clave: OIM, armadores, eficiencia energética.

ABSTRACT

The international body responsible for regulating the maritime industry has developed a new framework aimed at promoting energy efficiency in naval operations. This regulation will have a direct impact on shipowners, who have expressed concerns regarding its practical implementation and associated costs. In this context, the objective is to examine energy efficiency within Panama's maritime sector, in light of the challenges posed by the newly introduced standards. The research follows a qualitative, exploratory, and documentary approach, analyzing recent provisions issued by the International Maritime Organization (IMO) Working Group. Among the findings, it is noted that this group has announced the upcoming implementation of new requirements for vessels

¹Canal de Panamá, Panamá. orielcastillo@hotmail.com

² Editora en Jefe de Scientia Iter, Universidad Nuestra Señora del Carmen, Panamá. drasotom@gmail.com

of 500 gross tonnage or more, through the progressive enhancement of the Energy Efficiency Design Index (EEDI). It is worth noting that the regulation includes exemptions for certain categories of ships, such as RO-RO vessels and those equipped with electric, turbine, or hybrid propulsion systems, whose inclusion will depend on the establishment of adequate technical reference baselines. In conclusion, maritime transport remains the most commercially efficient cargo mode; however, due to its operational scale, this sector accounts for between 2% and 4% of global CO₂ emissions, thereby justifying the need for regulations that foster its sustainability.

Keywords: IMO, shipowners, energy efficiency.

Introducción

La eficiencia energética en el sector marítimo ha adquirido una relevancia crítica a nivel global, debido al impacto significativo que esta industria tiene sobre el medio ambiente. Según estimaciones de la Organización Marítima Internacional (OMI), el transporte marítimo representa aproximadamente el 3 % de las emisiones globales de dióxido de carbono (CO₂), lo que ha motivado esfuerzos internacionales para mitigar su huella ecológica. Iniciativas como el Acuerdo de París y la Estrategia de Reducción de Gases de Efecto Invernadero de la OMI exigen que el sector marítimo mejore su eficiencia energética, reduzca el uso de combustibles fósiles y adopte tecnologías limpias con miras al año 2050. (Álvarez-Silva, et al., 2020).

La innovación tecnológica y la transición hacia combustibles alternativos, como el gas natural licuado (GNL), el metanol y el hidrógeno, así como la adopción de sistemas avanzados de gestión energética, han sido fundamentales en este proceso. A nivel global, la industria ha comenzado a implementar prácticas como el diseño de buques más eficientes, el aprovechamiento de energías renovables como la eólica y la solar, y el desarrollo de sistemas de propulsión eléctrica, lo que contribuye significativamente a la reducción de la huella de carbono del sector (Mora *et al.*, 2021).

Situación en América Latina

En América Latina, el sector marítimo es un pilar clave para el comercio exterior y la conectividad regional. Aunque la mayoría de las flotas latinoamericanas aún dependen en gran medida de combustibles fósiles, ha surgido una creciente conciencia sobre la necesidad de modernizar el sector y orientarlo hacia una operación más eficiente y sostenible. Expresan (Álvarez-Silva *et al.*, 2020), que países como Chile, Colombia y México han lanzado programas para mejorar la eficiencia energética en sus puertos y flotas, promoviendo la reducción del consumo de combustible mediante la digitalización y el monitoreo en tiempo real de las operaciones portuarias y marítimas (Dodón, *et al.*, 2021).

No obstante, la región enfrenta importantes desafíos estructurales en términos de infraestructura, acceso a financiamiento e incorporación de nuevas tecnologías según (De La Ossa 2020). Estos factores dificultan la adopción generalizada de estándares internacionales de sostenibilidad. La transición hacia prácticas más eficientes y ecológicas exige un compromiso más sólido con la sostenibilidad por parte de los gobiernos latinoamericanos, así como una mayor cooperación regional e internacional.

Panamá como Centro Estratégico para la Sostenibilidad Marítima más relevante del continente, avanzar hacia una mayor eficiencia energética resulta fundamental, no solo para mejorar su competitividad global, sino también para alinearse con los objetivos internacionales de reducción de emisiones. La ampliación del Canal de Panamá, inaugurada en 2016, ha sido un paso estratégico hacia una operación más eficiente, ya que permite el tránsito de buques de mayor capacidad y reduce el consumo de combustible por tonelada transportada (Paipa-Sanabria *et al.*, 2025).

Además, Panamá según la (Comunidad Andina., 2020), ha comenzado a adoptar políticas y regulaciones en línea con los compromisos ambientales globales, fomentando el uso de tecnologías verdes en los puertos y

promoviendo operaciones más sostenibles. Sin embargo, el país aún enfrenta retos significativos para acelerar esta transición. Las áreas clave de intervención incluyen la modernización de la infraestructura portuaria, la capacitación del personal técnico y tripulaciones en el uso de nuevas tecnologías energéticas, y el fortalecimiento del marco normativo para garantizar el cumplimiento de los estándares internacionales de sostenibilidad. (Peñaloza, 2020).

Objetivo

Esta investigación tiene como propósito analizar el estado actual del sector marítimo panameño, identificar sus principales retos y oportunidades, y proponer recomendaciones estratégicas para avanzar hacia un modelo más sostenible y competitivo. La presente introducción establece un marco integral de análisis que sitúa la problemática panameña dentro de los contextos global y regional, permitiendo un abordaje holístico y pertinente.

Metodología

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque cualitativo, orientado por un diseño exploratorio-documental, lo cual resulta pertinente para abordar fenómenos complejos y de reciente interés, como lo es la eficiencia energética en el sector marítimo panameño. Este enfoque permitió analizar críticamente las implicaciones técnicas, normativas, ambientales y socioeconómicas del proceso de transición energética en un sector estratégico para el país y la región.

Desde una perspectiva exploratoria, se buscó identificar y delimitar las principales problemáticas, actores, marcos regulatorios e innovaciones tecnológicas vinculadas con la eficiencia energética en la industria marítima nacional. Esto incluyó la evaluación preliminar de las medidas impulsadas por la Organización Marítima Internacional (OMI), el papel del Canal de Panamá en la reducción de emisiones, y las políticas públicas adoptadas por el Estado panameño en relación con la sostenibilidad portuaria.

El componente documental implicó una revisión sistemática y crítica de fuentes secundarias, incluyendo literatura científica indexada en bases como Scopus, SciELO, EBSCO y Google Scholar; informes técnicos de organismos multilaterales (UNCTAD, CEPAL, OMI); normativas vigentes (como el EEDI y la estrategia de descarbonización de la OMI); y estudios de caso regionales relevantes. Este corpus documental fue analizado mediante técnicas de análisis de contenido temático y categorización inductiva, orientadas a la extracción de patrones, divergencias y tendencias. (Soto-Ortigoza, 2025).

Definición del objetivo de la revisión

Se estableció como propósito central identificar, analizar y sintetizar el estado del conocimiento y las prácticas actuales relacionadas con estrategias regulatorias, técnicas e institucionales para la descarbonización del sector marítimo, particularmente en relación con los criterios del Energy Efficiency Design Index (EEDI) y la estrategia de la Organización Marítima Internacional (OMI).

Formulación de criterios de inclusión y exclusión

Se delimitaron los siguientes criterios:

Inclusión: fuentes publicadas entre 2015 y 2024; documentos en español e inglés; estudios relacionados con regulación ambiental marítima, eficiencia energética, políticas de sostenibilidad y experiencias regionales en América Latina.

Exclusión: artículos sin revisión por pares, documentos sin acceso completo, literatura redundante o que no abordara el enfoque multisectorial (ambiental, técnico, normativo).

Selección de bases de datos y fuentes documentales

La búsqueda se realizó en bases científicas indexadas reconocidas por su calidad y alcance multidisciplinario: Scopus, SciELO, EBSCOhost, y Google Scholar. Se complementó con: Informes técnicos de organismos multilaterales como UNCTAD, CEPAL, y OMI.

Normativas internacionales vigentes, como el EEDI, estrategias de la OMI, y documentos de política de sostenibilidad del transporte marítimo.

Estudios de caso regionales aplicables a países de América Latina.

Estrategia de búsqueda

Se utilizaron operadores booleanos y combinaciones clave como:

"EEDI" AND "IMO decarbonization strategy"

"maritime emissions" AND "Latin America"

"regulation AND shipping AND CO2"

"descarbonización marítima" AND "política pública"

Se aplicaron filtros por fecha, idioma, tipo de documento y campo temático (medioambiente, economía, transporte).

Evaluación crítica de la calidad de las fuentes

Cada documento seleccionado fue evaluado mediante criterios de:

Relevancia temática.

Rigor metodológico.

Autoridad de la fuente (revistas indexadas, instituciones reconocidas).

Actualidad del contenido.

Se aplicaron listas de verificación adaptadas del método CASP (Critical Appraisal Skills Programme).

Codificación y análisis del contenido

Se emplearon técnicas de análisis de contenido temático con enfoque cualitativo, estructuradas en dos fases:

Codificación abierta e inductiva, para identificar categorías emergentes sin imponer marcos previos.

Agrupamiento temático, donde se establecieron patrones, divergencias, tendencias regulatorias y enfoques institucionales de implementación.

Síntesis de hallazgos

Se organizó la información en mapas temáticos que articularon:

Tendencias regulatorias internacionales.

Desafíos de aplicación regional.

Buenas prácticas sectoriales en América Latina.

Brechas entre normativas globales y capacidades locales.

Se aplicaron además criterios de validez metodológica como la triangulación teórica y la saturación temática, lo que permitió contrastar distintas visiones —tecnológicas, regulatorias, económicas y medioambientales— en torno a la implementación de prácticas energéticas eficientes en buques, puertos y operaciones logísticas marítimas en Panamá.

El uso de herramientas cualitativas posibilitó obtener una comprensión integral y contextualizada del fenómeno, enmarcando sus implicaciones tanto en el plano nacional como en el cumplimiento de metas globales, como los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 7, 9, 13 y 14). Este diseño metodológico sirve como base para futuras investigaciones empíricas que podrán incluir entrevistas a expertos del sector, análisis de políticas portuarias locales, o evaluación de tecnologías aplicadas a la eficiencia energética.

Desarrollo de la investigación

En cuanto al tema de combustibles GNL (Ing) para propulsión, se considera que el Gas Natural Licuado (GNL) es el futuro de la industria naviera. El uso de GNL reduce la contaminación del aire procedente de los barcos, y su combinación con diésel marítimo mejora el rendimiento del motor, lo que resulta en un ahorro significativo de combustible (CEPAL, 2013).

Con respecto al uso de GNL en Máquinas Auxiliares y su Contribución a la Eficiencia Energética, las máquinas auxiliares a bordo de los buques cumplen funciones esenciales, ya que proporcionan energía continua para operar sistemas eléctricos, bombas, iluminación y otras funciones críticas del navío. Estas unidades representan una fuente significativa de emisiones contaminantes durante la navegación y las operaciones portuarias.

La utilización de gas natural licuado (GNL) como combustible alternativo para estas máquinas ha demostrado un notable potencial en la reducción de la contaminación atmosférica, especialmente en lo que respecta a las emisiones de óxidos de nitrógeno (NO_x), dióxido de carbono (CO_2) y partículas finas. De acuerdo con la UNCTAD y la CEPAL (2020), el empleo de GNL no solo contribuye a mitigar los impactos ambientales de la industria marítima, sino que también representa un paso estratégico hacia el cumplimiento de las normativas internacionales de sostenibilidad impulsadas por la Organización Marítima Internacional (OMI).

En el escenario que se vivió e impactó con el COVID-19 en el Transporte Marítimo de Panamá —incluyendo el Canal de Panamá— demostró una notable capacidad de adaptación y resiliencia. En un contexto global marcado por restricciones de movilidad, cierres de fronteras y una caída generalizada en el comercio internacional, el transporte marítimo fue el único sector que logró mantener su operatividad sin interrupciones significativas. Este desempeño reafirmó su rol estratégico en la cadena logística global, facilitando el traslado continuo de bienes esenciales, como alimentos, insumos médicos y productos farmacéuticos (CEPAL-Caribe, 2020).

La pandemia de COVID-19 representó un desafío sin precedentes para el sistema logístico mundial, afectando particularmente al sector marítimo. En el caso de Panamá, incluyendo el Canal y sus principales puertos, el impacto fue significativo, pero también revelador de su papel estratégico en el comercio global. A diferencia de otros sectores, el transporte marítimo no se detuvo completamente, sino que demostró una capacidad notable de resiliencia y adaptación ante las nuevas realidades impuestas por la crisis sanitaria (CEPAL, 2020).

Durante la fase inicial de la pandemia, se observó una caída abrupta de la demanda de transporte marítimo, consecuencia directa de la contracción del comercio internacional y de las restricciones de movilidad. Esta situación provocó una reducción en la frecuencia de tránsito de buques, afectando temporalmente la operatividad del Canal de Panamá y los ingresos relacionados. Simultáneamente, se presentaron retrasos logísticos derivados de las cuarentenas impuestas a las tripulaciones, el cierre parcial de puertos y la escasez de personal, lo que ralentizó significativamente las operaciones (Comunidad Andina, 2020).

Sectores económicos clave como el turismo, la manufactura y la construcción experimentaron fuertes contracciones, lo que disminuyó la demanda de transporte de mercancías a través del canal. No obstante, el Canal de Panamá logró posicionarse como un conector esencial para el tránsito de bienes estratégicos —como alimentos, insumos médicos y productos manufacturados— lo cual reforzó su relevancia dentro de las cadenas logísticas globales. (UNCTAD-CEPAL, 2020).

En cuanto a la respuesta institucional, se destaca la implementación de protocolos avanzados de bioseguridad, el uso de sistemas digitales para la supervisión remota y la aceleración de procesos de digitalización y automatización portuaria, lo que permitió minimizar los impactos operativos (UNCTAD, 2021).

Estas innovaciones incluyeron desde el monitoreo remoto de la salud del personal hasta sistemas automatizados de despacho y control de cargas, consolidando un modelo de eficiencia adaptativa.

A nivel tecnológico, la crisis también incentivó una mayor atención hacia la eficiencia energética de los buques, considerando alternativas sostenibles como el uso de gas natural licuado (GNL) en máquinas auxiliares, así como sistemas híbridos de propulsión y gestión energética inteligente. Estas tecnologías están alineadas con los objetivos climáticos internacionales y con las directrices de la Organización Marítima Internacional (OMI), que impulsa el cumplimiento progresivo del Índice de Diseño de Eficiencia Energética (EEDI) para buques de nueva construcción.

Finalmente, en el escenario post-COVID, se observa una reconfiguración del transporte marítimo panameño, donde los nuevos protocolos de seguridad sanitaria, la automatización y la transición hacia fuentes de energía más limpias están marcando el rumbo hacia una recuperación más sostenible y resiliente. Este contexto abre oportunidades estratégicas para Panamá como hub logístico regional, siempre que logre consolidar una infraestructura verde y políticas públicas alineadas con la agenda 2030 de desarrollo sostenible. (UNCTAD-CEPAL, 2020).

Hallazgos y discusión

Sobre la eficiencia energética en diversos sistemas

1. Depuración de azufre en buques

La eficiencia energética en el transporte marítimo implica también la reducción de emisiones contaminantes, especialmente de óxidos de azufre (SOx), los cuales representan una de las principales fuentes de contaminación atmosférica generada por los buques. La Organización Marítima Internacional (OMI, 2011) ha señalado que, aunque la eliminación total del uso de combustibles fósiles en la industria naval no es viable a corto plazo, es posible mitigar significativamente su impacto ambiental mediante tecnologías intermedias de control de emisiones (Brito Navarrete *et al.*, 2020).

Una de las soluciones más efectivas en este sentido es la instalación de sistemas depuradores de gases de escape (scrubbers), los cuales permiten reducir hasta en un 98% las emisiones de SOx, además de disminuir otros contaminantes particulados presentes en los gases expulsados por los motores principales del buque (Energías Renovables, 2022). Estos sistemas actúan mediante procesos de lavado que capturan y neutralizan los compuestos de azufre antes de ser liberados a la atmósfera (Abuella *et al.*, 2024).

La implementación de esta tecnología no solo contribuye al cumplimiento de los límites establecidos por la normativa MARPOL Anexo VI, sino que también representa un paso intermedio clave en la transición hacia una navegación más limpia y sostenible. En consecuencia, la depuración de gases de escape se posiciona como una estrategia central dentro del conjunto de medidas orientadas a mejorar la eficiencia energética y reducir el impacto ambiental del sector marítimo internacional.

2. Sistema avanzado de timón y hélice

La eficiencia propulsiva de un buque representa un componente esencial en la reducción del consumo energético y, por ende, de las emisiones contaminantes. En este sentido, los avances tecnológicos en el diseño de hélices de alto rendimiento y sistemas de timón aerodinámicos han demostrado ser una solución efectiva para mejorar tanto la eficiencia energética como la maniobrabilidad de las embarcaciones.

Estudios recientes indican que una hélice optimizada y un sistema de timón de diseño avanzado pueden generar un ahorro energético de hasta un 4%, al reducir la resistencia hidrodinámica durante la navegación (Comunidad Andina, 2020). Este incremento en la eficiencia no solo disminuye el consumo de combustible, sino que también contribuye a una reducción directa en las emisiones de gases contaminantes como el CO₂ y los NOx.

Asimismo, estos sistemas pueden mejorar la velocidad de operación del buque sin necesidad de aumentar la potencia del motor, lo que refuerza su funcionalidad en términos de sostenibilidad y costos operativos. La integración de estas tecnologías en embarcaciones modernas forma parte de las estrategias recomendadas por la Organización Marítima Internacional (OMI) para alcanzar los objetivos de descarbonización en el transporte marítimo hacia 2050.

3. Toberas de velocidad

Las toberas de velocidad representan una innovación hidrodinámica ampliamente utilizada en buques de suministro, remolcadores y embarcaciones de servicio, cuyo propósito es optimizar el empuje generado por la hélice, especialmente en condiciones de baja velocidad y alta carga de trabajo. Este dispositivo canaliza el flujo de agua y mejora la eficiencia propulsiva del buque al reducir las pérdidas de energía provocadas por turbulencias y cavitación.

Al integrarse con diseños de casco optimizados, las toberas permiten concentrar el flujo propulsor y aumentar la fuerza de empuje sin requerir mayor potencia de los motores. Según estudios técnicos recientes, su implementación puede incrementar la eficiencia energética en aproximadamente un 5%, lo cual se traduce en una reducción significativa del consumo de combustible y, por consiguiente, de las emisiones de gases contaminantes.

Además, este tipo de sistemas resulta particularmente útil en operaciones que requieren alta maniobrabilidad y estabilidad, como las desarrolladas por remolcadores portuarios o buques de asistencia logística. En embarcaciones más grandes, las toberas también se están incorporando como complemento a otras tecnologías de eficiencia energética, como hélices de paso controlable y timones de alto rendimiento.

4. Sistema de propulsión a vela

La propulsión asistida por vela ha resurgido como una solución innovadora en el contexto de la eficiencia energética y la sostenibilidad del transporte marítimo. Esta tecnología, que combina velas modernas —ya sean rígidas, de rotor Flettner o de tipo ala— con sistemas de propulsión convencionales, permite aprovechar la fuerza del viento para reducir significativamente el consumo de combustible fósil y, con ello, las emisiones contaminantes. (Li, et al., 2022).

De acuerdo con investigaciones recientes en ingeniería naval, el uso combinado de propulsión eólica y mecánica puede lograr ahorros de combustible de hasta un 35%, dependiendo del tipo de buque, las condiciones de navegación y el diseño del sistema eólico (IMO, 2022; Windship Technology, 2023). Este porcentaje convierte a la propulsión asistida por vela en una de las tecnologías más prometedoras para alcanzar los objetivos de descarbonización del sector hacia 2050. (Domínguez, 2025).

Los sistemas de propulsión a vela son especialmente viables en rutas oceánicas de largo recorrido, donde los vientos constantes permiten una operación continua del sistema eólico. Además, esta tecnología puede ser adaptada tanto a buques nuevos como a embarcaciones existentes mediante proyectos de retrofit, lo que la hace accesible y escalable (Millefiori et al., 2020).

El sistema de lubricación de baja fricción representa una de las innovaciones clave en la mejora de la eficiencia energética de los buques modernos. Este sistema está diseñado para reducir la resistencia al avance del casco, disminuyendo así el consumo de combustible y las emisiones contaminantes asociadas a la navegación (Liang et al., 2021).

Uno de los métodos más utilizados es el sistema de lubricación por aire (Air Lubrication System - ALS), el cual consiste en la inyección controlada de burbujas de aire bajo el casco del buque para crear una capa de fricción reducida entre el agua y el casco. Esta capa actúa como una “alfombra de aire” que permite al buque deslizarse con menor resistencia. Estudios realizados por la industria naval indican que esta tecnología puede

reducir el consumo de combustible entre un 5% y un 10%, dependiendo del tamaño del buque y las condiciones de navegación.

Otro enfoque se basa en recubrimientos especiales antiadherentes o hidrofóbicos aplicados al casco, que minimizan la acumulación de organismos marinos (biofouling) y mejoran el flujo hidrodinámico, disminuyendo también la fricción.

Además de reducir el esfuerzo del sistema de propulsión, estos sistemas contribuyen a prolongar la vida útil de los equipos mecánicos y reducir los costos operativos de mantenimiento.

6. Proa vertical

El diseño de proa vertical ha emergido recientemente como una alternativa eficiente frente a la tradicional proa de bulbo, especialmente en buques que operan en condiciones de velocidad variable. Pruebas y estudios recientes indican que la proa vertical puede ofrecer un ahorro de combustible aproximado del 10%, resultado de una mejora en la hidrodinámica y la reducción de la resistencia al avance (UNDA-CEPAL, 2020).

Aunque la proa de bulbo ha sido históricamente el diseño predominante en buques portacontenedores debido a su eficiencia a altas velocidades —generalmente superiores a los 18 nudos—, esta configuración pierde eficacia en trayectos cortos o rutas con velocidades menores, como las que predominan en rutas regionales o en operaciones portuarias cercanas. En estos escenarios, la proa vertical optimiza el rendimiento energético, adaptándose mejor a las condiciones operativas que implican bajas velocidades y frecuentes maniobras.

Esta característica convierte a la proa vertical en una solución idónea para flotas dedicadas a rutas cortas y medias distancias, lo que es particularmente relevante para regiones con alta actividad portuaria y comercio interregional, como es el caso de América Latina y el Caribe.

Conclusión

El transporte marítimo en Panamá, especialmente a través del Canal de Panamá, ha demostrado una notable resiliencia frente a los desafíos iniciales derivados de la pandemia de COVID-19. Las estrictas medidas sanitarias implementadas, junto con la aceleración de procesos de digitalización y un enfoque creciente en la sostenibilidad, se perfilan como factores decisivos para que Panamá mantenga y fortalezca su posición estratégica dentro del comercio global. La recuperación del sector, combinada con la adopción de tecnologías innovadoras, permitirá que Panamá no solo supere los efectos adversos de la pandemia, sino que también se consolide como un referente en la modernización y la eficiencia del transporte marítimo en los años venideros.

En este contexto, el Índice de Diseño de Eficiencia Energética (EEDI, por sus siglas en inglés) se presenta como una herramienta fundamental para evaluar la eficiencia energética de los buques. Este índice mide la cantidad mínima de energía necesaria para transportar una carga máxima determinada, estableciendo así un estándar para la reducción de emisiones y el consumo eficiente de combustible. Un buen desempeño en el EEDI es indicativo de un diseño naval optimizado para la sostenibilidad ambiental y económica.

Mirando hacia el futuro, se prevé que la eficiencia energética se convierta en un componente esencial dentro del departamento de nuevas construcciones de cada armador. No obstante, el diseño inicial de un buque que cumpla con los objetivos del EEDI no será suficiente por sí solo. Será indispensable que la eficiencia energética sea monitoreada y mantenida a lo largo de toda la vida operativa de la embarcación, garantizando así un equilibrio entre el rendimiento ecológico y la rentabilidad económica a largo plazo.

La búsqueda sistémica permitió generar un marco analítico útil para orientar futuras investigaciones y decisiones de política pública. Se plantearon recomendaciones estratégicas sobre cómo adaptar las

normativas globales de descarbonización a contextos locales, considerando dimensiones técnicas, jurídicas e institucionales.

Referencias

- Abuella, M.; Fanaee, H.; Atou, M. A.; Nowaczyk, S.; Johansson, S.; Faghani, E. (2024). Data Analytics for Improving Energy Efficiency in Short Sea Shipping. arXiv. <https://arxiv.org/abs/2404.00902>
- Álvarez-Silva, Ó.; Osorio, A. G.; Sánchez-Sáenz, C. I. (2020). Salinity gradient energy potential in Latin America with emphasis in Colombia and Mexico. Pan American Marine Energy Conference 2020 Book of Abstracts. <https://tethys.pnnl.gov/publications/pan-american-marine-energy-conference-2020-book-abstracts>
- Brito Navarrete, L. M.; Pérez Otamendi, S.; Romero Medina, V. M. (2020). Análisis del desempeño y eficiencia de una turbina para una planta de Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC) mediante simulación utilizando el programa Ansys Fluent. Pan American Marine Energy Conference 2020 Book of Abstracts. <https://tethys.pnnl.gov/publications/pan-american-marine-energy-conference-2020-book-abstracts>
- CEPAL (2020). Curso de capacitación y actualización portuaria: Desafíos actuales del sistema portuario para los países del Gran Caribe. <https://www.cepal.org/es/cursos/curso-capacitacion-actualizacion-portuaria-desafios-actuales-sistema-portuario-paises-gran>
- CEPAL. (2013). Medidas para mejorar la eficiencia energética en el transporte marítimo. Boletín FAL, Edición No. 324. <https://www.cepal.org/es/subtemas/logistica-movilidad>
- Comunidad Andina. (2020). Impacto del COVID-19 en el transporte acuático de la CAN. <https://www.cepal.org/es/eventos/impacto-covid-19-transporte-acuatico-la-can>
- De La Ossa Prieto, M. (2020). Panamá lidera proyectos para la eficiencia energética en la región. El Capital Financiero. <https://elcapitalfinanciero.com/panama-lidera-proyectos-para-la-eficiencia-energetica-en-la-region/>
- Dodón, A.; Quintero, V.; Chen Austin.; Mora, D. (2021). Alternativas de almacenamiento de electricidad bioinspiradas para respaldar la generación masiva de energía del lado de la demanda: una revisión de las aplicaciones a escala de construcción. Biomimética, 6, 48. <https://doi.org/10.3390/biomimetics6010048>
- Domínguez, A. (2025). Los barcos ya se pueden mover con energías renovables. El País. <https://elpais.com/america-futura/2025-06-12/arsenio-dominguez-secretario-general-de-la-organizacion-maritima-mundial-los-barcos-ya-se-pueden-mover-con-energias-renovables.html>
- Energías Renovables. (2022). El sector marítimo echa mano a la eficiencia energética para lograr su descarbonización. <https://www.energias-renovables.com/eficiencia/el-sector-maritimo-echa-mano-a-la-20220203>
- Li, C., Othman, M.; Ahamad, N. B.; Molinas, M. (2022). Marine Integrated Energy Microgrids. arXiv. <https://arxiv.org/abs/2208.12980>
- Liang, H.; Li, H.; Gao, J.; Cui, R.; Xu, D. (2021). Economic MPC-based planning for marine vehicles: Tuning safety and energy efficiency. arXiv. <https://arxiv.org/abs/2112.05844>
- Millefiori, L. M.; Braca, P.; Zissis, D.; Spiliopoulos, G.; Marano, S.; Willett, P. K.; Carniel, S. (2020). COVID-19 Impact on Global Maritime Mobility. arXiv. <https://arxiv.org/abs/2009.06960>
- Mora, D., Chen Austin, M., & Castillo, M. (2021). Revisión de la definición del concepto de construcción de energía cero y desarrollos en América Latina: una definición marco para su aplicación en Panamá. *Energías*, 14(18), 5647. <https://doi.org/10.3390/en14185647>

- Organización Marítima Internacional (OMI). (2011). Medidas de eficiencia energética. <https://www.imo.org/es/OurWork/Environment/Pages/Technical-and-Operational-Measures.aspx>
- Paipa-Sanabria, E.; González-Montoya, D.; Coronado-Hernández, J. R. (2025). Green Technologies for Environmental Air and Water Impact Reduction in Ships: A Systematic Literature Review. *Journal of Marine Science and Engineering*, 13(5), 839. <https://doi.org/10.3390/jmse13050839>
- Peñaloza, E. (2020, 20 de febrero). Panamá lidera proyectos para la eficiencia energética en la región. *El Capital Financiero*. <https://elcapitalfinanciero.com/panama-lidera-proyectos-para-la-eficiencia-energetica-en-la-region/>
- Soto-Ortigoza, M. (2025). *Investiga y Escribe sin miedo*. 3era. Edición. Amazon.
- UNCTAD-CEPAL. (2020). COVID-19 y transporte marítimo: Disrupciones y resiliencia en América Latina y el Caribe. <https://www.cepal.org/es/eventos/unctad-cepal-webinar-covid-19-transporte-maritimo-disrupciones-resiliencia-america-latina>
- UNDA-CEPAL. (2020). Smart road and rail solutions for transport connectivity. <https://www.cepal.org/es/subtemas/logistica-movilidad>

Información adicional:
Licencia CC BY NC

Fechas:
Recibido: 15/03/2025 / Aceptado: 15/06/2025 / Publicado: 24/07/2025