

Innovaciones Tecnológicas en la Navegación Marítima: Hacia un Futuro Sostenible y Eficiente

Trabajo Fin de Grado

Grado en Náutica y Transporte Marítimo

Junio de 2024

Autor:

Precious Osakpolor Uzamere

X7305955-M

Tutor:

Prof. Dr. José Agustín González Almeida

Escuela Politécnica Superior de Ingeniería
Sección Náutica, Máquinas y Radioelectrónica Naval
Universidad de La Laguna

D. José Agustín González Almeida, Profesor de la UD de Marina Civil, perteneciente al Departamento de Ingeniería Civil, Náutica y Marítima de la Universidad de La Laguna:

Expone que:

D. **Precious Osakpolor Uzamere** con **DNI X7305955-M**, ha realizado bajo mi dirección el trabajo fin de grado titulado: **Innovaciones Tecnológicas en la Navegación Marítima: Hacia un Futuro Sostenible y Eficiente**.

Revisado dicho trabajo, estimo reúne los requisitos para ser juzgado por el tribunal que sea designado para su lectura.

Para que conste y surta los efectos oportunos, expido y firmo el presente documento.

En Santa Cruz de Tenerife a 13 de Julio de 2024.

Fdo.: José Agustín González Almeida.

Director del trabajo.

Osakpolor Uzamere, P. (2024). *Innovaciones Tecnológicas en la Navegación Marítima: Hacia un Futuro Sostenible y Eficiente*. Trabajo de Fin de Grado. Universidad de La Laguna.

RESUMEN

La navegación marítima ha sido esencial en la historia del comercio global. Hoy en día, más del 80% del comercio mundial se transporta por mar, subrayando su importancia en la economía global. Sin embargo, la industria enfrenta desafíos significativos como la sostenibilidad ambiental, la digitalización, la ciberseguridad, la automatización, el cumplimiento normativo, los cambios en el comercio global, la seguridad marítima, los desafíos laborales y la necesidad de innovaciones en infraestructura portuaria. Estos desafíos requieren inversiones significativas, colaboración global y adaptación rápida para mantener la viabilidad económica y reducir el impacto ambiental.

Palabras claves: Sostenibilidad ambiental, Digitalización, Ciberseguridad, Automatización, Comercio global.

Osakpolor Uzamere, P. (2024). *Innovaciones Tecnológicas en la Navegación Marítima: Hacia un Futuro Sostenible y Eficiente*. Trabajo de Fin de Grado. Universidad de La Laguna.

ABSTRACT

Maritime navigation has been essential in the history of global trade. Today, over 80% of world trade is transported by sea, underscoring its importance in the global economy. However, the industry faces significant challenges such as environmental sustainability, digitalization, cybersecurity, automation, regulatory compliance, changes in global trade, maritime security, labor challenges, and the need for innovations in port infrastructure. These challenges require significant investments, global collaboration, and rapid adaptation to maintain economic viability and reduce environmental impact.

Keywords: Environmental sustainability, Digitalization, Cybersecurity, Automation, Global trade.

AGRADECIMIENTOS

Gran parte de este agradecimiento al profesor José Agustín González Almeida por su guía, enfoque y ayuda, la señorita Asun y también a mi mismo por el esfuerzo propio de volver a retomar la carrera, el deseo inquietante de acabar lo que uno empieza.

Índice del TFG

| | | |
|------|---|----|
| 1. | Introducción | 9 |
| 2. | Objetivos | 10 |
| 3. | Metodología..... | 12 |
| 4. | Desarrollo | 14 |
| 4.1. | Nuevos desafíos en el sector marítimo. | 14 |
| 4.2. | Sostenibilidad y Cambio Climático | 16 |
| 4.3. | Digitalización y Ciberseguridad | 24 |
| 4.4. | Automatización y Buques Autónomos..... | 26 |
| 4.5. | Regulaciones y Cumplimiento Normativo en el Sector Marítimo | 30 |
| 4.6. | Cambios en el Comercio Global..... | 33 |
| 4.7. | Seguridad y Piratería | 36 |
| 4.8. | Desafíos Laborales | 40 |
| 4.9. | Innovación en Infraestructura Portuaria..... | 43 |
| 5. | Discusión..... | 46 |
| 6. | Conclusiones..... | 47 |
| 7. | Conclusions..... | 49 |
| 8. | Bibliografía | 51 |

Índice de Ilustraciones

| | |
|--|----|
| Ilustración 1. Buque "Laura" propulsado por metanol verde. Fuente: diarioelcanal.com. | 18 |
| Ilustración 2. Vista aérea del puerto de Rotterdam. Fuente: sandraitm2014.wordpress.com. | 19 |
| Ilustración 3. Diagrama del proyecto Porthos. Fuente: mr-sustainability.com..... | 21 |
| Ilustración 4. Captura de pantalla de la infección por el ransomware Petya. Fuente: blog.smartekh.com. | 25 |
| Ilustración 5. Sistema ECDIS. Fuente: researchgate.net. | 27 |
| Ilustración 6. Buque Yara Birkeland. Fuente: vesselfinder.net. | 28 |
| Ilustración 7. Buque autónomo Falco de Finferries. Fuentes: laivakuvat.com. | 29 |
| Ilustración 8. Mayflower Autonomous Ship. Fuente: newsroom.ibm.com. | 29 |
| Ilustración 9. Logotipo de la OMI. Fuente: imo.org. | 31 |
| Ilustración 10. Buque de la USCG. Fuente: wikipedia.org. | 32 |
| Ilustración 11. Expansión del Canal de Panamá. Fuente: elmundo.es. | 35 |
| Ilustración 12. Ejemplo de datos obtenidos por IoT. Fuente: naucher.com. | 36 |
| Ilustración 13. Área de acción de la Operación Atalanta. Fuente: wikipedia.org..... | 38 |
| Ilustración 14. Fotograma de la película "Capitán Phillips" protagonizada por el actor Tom Hanks. Fuente: nytimes.com..... | 39 |
| Ilustración 15. Vertido del MV Wakashio. Fuente: wikipedia.org. | 41 |
| Ilustración 16. Programa Next-Gen de la OMI y Singapur. Fuente: imo.org. | 44 |

1. Introducción

La navegación marítima ha sido un pilar fundamental en la historia del comercio y la comunicación global. Desde las primeras embarcaciones impulsadas por el viento hasta los modernos buques de carga, el transporte marítimo ha evolucionado significativamente a lo largo de los siglos. Hoy en día, más del 80% del comercio mundial en términos de volumen se transporta por mar, lo que subraya la importancia de la industria marítima en la economía global (1).

Sin embargo, esta industria enfrenta desafíos cruciales que amenazan tanto su viabilidad económica como su impacto ambiental. Por un lado, la demanda de transporte marítimo sigue creciendo, impulsada por el aumento del comercio internacional y la globalización. Por otro lado, la presión para reducir la huella ambiental de los buques es cada vez mayor, en línea con los compromisos internacionales para combatir el cambio climático y proteger los océanos. La Organización Marítima Internacional (OMI) ha establecido objetivos ambiciosos para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en al menos un 50% para 2050 en comparación con los niveles de 2008 (2).

2. Objetivos

Objetivo Principal.

El objetivo principal que nos hemos propuesto en este trabajo de final de grado comprende analizar y abordar los desafíos contemporáneos de la industria marítima mediante la evaluación de tecnologías emergentes, regulaciones y prácticas sostenibles, con el fin de mejorar la sostenibilidad ambiental, la eficiencia operativa y la competitividad global, promoviendo al mismo tiempo la colaboración internacional y la innovación.

Objetivos específicos.

Para ello, plantearemos los siguientes objetivos específicos:

1. **Identificar los Principales Desafíos del Siglo XXI en la Industria Marítima:** Este objetivo busca una comprensión profunda de los obstáculos que enfrenta actualmente la industria marítima. Incluye analizar factores como la sostenibilidad ambiental, las presiones económicas, los avances tecnológicos y los cambios en el comercio global. Identificar estos desafíos es crucial para desarrollar estrategias efectivas que permitan a la industria adaptarse y prosperar en un entorno en constante evolución.
2. **Analizar las Iniciativas y Tecnologías Emergentes:** Este objetivo se centra en explorar y evaluar las innovaciones tecnológicas y las iniciativas sostenibles que están siendo adoptadas por la industria marítima. Se investigarán tecnologías como los combustibles alternativos, la automatización de buques, la digitalización de operaciones y las medidas de ciberseguridad. Además, se evaluarán las iniciativas globales y locales destinadas a reducir el impacto ambiental de la navegación marítima.
3. **Evaluar el Impacto de las Regulaciones y Normativas:** Comprender el marco regulatorio es esencial para cualquier estrategia de adaptación en la industria marítima. Este objetivo implica un análisis detallado de las regulaciones actuales y futuras, tanto ambientales como de seguridad, y cómo estas afectan las operaciones marítimas. Se examinarán los desafíos y oportunidades que estas normativas presentan para las

navieras y los puertos, así como las inversiones necesarias para su cumplimiento.

4. **Proponer Recomendaciones para Mejorar la Sostenibilidad y Eficiencia Operativa:** Basado en los análisis anteriores, este objetivo se centra en desarrollar recomendaciones prácticas y estratégicas que las navieras, puertos y otras partes interesadas pueden implementar. Estas recomendaciones abarcarán desde la adopción de nuevas tecnologías hasta la mejora de las prácticas operativas y la colaboración internacional. El objetivo es proporcionar una hoja de ruta que permita a la industria marítima reducir su huella ambiental, aumentar su eficiencia y mantener su competitividad en el mercado global.
5. **Promover la Colaboración Global y la Innovación:** Fomentar la cooperación entre gobiernos, empresas, organizaciones internacionales y centros de investigación es fundamental para abordar los desafíos complejos que enfrenta la industria marítima. Este objetivo busca identificar formas de promover la colaboración y la innovación a nivel global, incluyendo el desarrollo de alianzas estratégicas, la inversión en investigación y desarrollo, y la creación de políticas que apoyen la transición hacia un futuro más sostenible y eficiente.

3. Metodología

Para llevar a cabo este estudio se ha adoptado una metodología exhaustiva que combina tanto enfoques cualitativos como cuantitativos, con el objetivo de proporcionar una comprensión profunda y detallada de los desafíos y oportunidades en la industria marítima. La metodología se estructura en varias fases clave, descritas a continuación:

1. **Revisión de la Literatura:** Realizar una revisión exhaustiva de la literatura existente para identificar y comprender los desafíos y tendencias actuales en la industria marítima.

Para ello hemos realizado el siguiente proceso:

- **Selección de Fuentes:** Se seleccionaron artículos académicos, informes de organismos internacionales (como la OMI y UNCTAD), estudios de caso y documentos técnicos relevantes.
- **Análisis de Contenido:** Se utilizó un enfoque de análisis de contenido para identificar temas recurrentes y emergentes en la literatura.
- **Síntesis de Hallazgos:** Se sintetizaron los hallazgos clave para proporcionar un contexto teórico sólido que respalde el estudio.

2. **Análisis de Casos de Estudio:** Investigar casos específicos de empresas y puertos que han implementado soluciones innovadoras y sostenibles.

Para ello hemos realizado el siguiente proceso:

- **Selección de Casos:** Se eligieron casos de estudio representativos que cubren diversas regiones y enfoques tecnológicos.
- **Recolección de Datos:** Se recopilaron datos detallados a través de informes de empresas, entrevistas con expertos y publicaciones de prensa.
- **Evaluación Comparativa:** Se realizó una evaluación comparativa para identificar mejores prácticas y lecciones aprendidas.

3. Evaluación de Regulaciones y Normativas: Analizar el marco regulatorio actual y futuro que afecta a la industria marítima, y evaluar su impacto en las operaciones y la sostenibilidad.

Para ello hemos realizado el siguiente proceso:

- Revisión de Normativas: Se revisaron las principales regulaciones y normativas internacionales y nacionales, incluyendo el Convenio MARPOL, el Código PBIP y el MLC 2006.
- Análisis de Cumplimiento: Se evaluaron las estrategias de cumplimiento adoptadas por las empresas marítimas y los desafíos asociados.

Esta metodología proporciona una estructura robusta y detallada para abordar los objetivos del estudio, asegurando que los hallazgos y recomendaciones estén basados en un análisis riguroso y exhaustivo.

4. Desarrollo

4.1. Nuevos desafíos en el sector marítimo.

El sector marítimo enfrenta una serie de nuevos desafíos que están redefiniendo la industria y su operación en el siglo XXI. Estos desafíos son complejos y abarcan diversos ámbitos, desde la sostenibilidad ambiental hasta la tecnología y la seguridad. Aquí se destacan algunos de los más relevantes:

1. Sostenibilidad y Cambio Climático: La industria marítima debe abordar el desafío de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. La Organización Marítima Internacional (OMI) ha establecido objetivos ambiciosos de descarbonización, pero la mayoría de la flota mundial todavía depende de combustibles fósiles. Según un informe de UNCTAD, la transición a combustibles más limpios y la implementación de tecnologías verdes requerirán inversiones masivas y una colaboración a nivel mundial (3) (4).

2. Digitalización y Ciberseguridad: La adopción de tecnologías como el Internet de las Cosas (IoT), el big data y la inteligencia artificial está revolucionando el sector. Sin embargo, esto también aumenta la vulnerabilidad a ciberataques. Un informe de IMarEST destaca la necesidad de fortalecer la ciberseguridad para proteger estos sistemas digitales integrados (5).

3. Automatización y Buques Autónomos: El desarrollo de buques autónomos promete reducir costos operativos y mejorar la seguridad, pero también plantea desafíos regulatorios y de responsabilidad. La International Chamber of Shipping (ICS) ha identificado la necesidad de desarrollar un marco normativo claro para integrar estas nuevas tecnologías de manera segura y efectiva (6).

4. Regulaciones y Cumplimiento Normativo: Las regulaciones ambientales y de seguridad son cada vez más estrictas. El cumplimiento de normativas como el Convenio Internacional para el Control y la Gestión del Agua de Lastre y los Sedimentos de los Buques (BWM) requiere inversiones significativas en nuevas tecnologías y equipos (7).

5. Cambios en el Comercio Global: La dinámica del comercio global está cambiando debido a factores como la guerra comercial entre Estados Unidos y China, el Brexit y la pandemia de COVID-19. Estos cambios afectan las rutas comerciales y los

flujos de mercancías, requiriendo una mayor flexibilidad y capacidad de adaptación por parte de las navieras (3).

6. Seguridad y Piratería: Aunque ha habido una disminución en los ataques de piratería en algunas áreas, sigue siendo un problema significativo en otras, como el Golfo de Guinea. Además, la seguridad marítima enfrenta amenazas de terrorismo y tráfico ilícito, lo que requiere medidas de seguridad más robustas (7).

7. Desafíos Laborales: La escasez de mano de obra calificada es un problema creciente. La falta de interés de los jóvenes en las carreras de ingeniería y la pérdida de conocimientos técnicos debido a la jubilación de trabajadores experimentados son preocupaciones importantes. El sector necesita iniciativas para atraer y retener talento, así como mejorar la formación y las condiciones laborales (5).

8. Innovación en Infraestructura Portuaria: Los puertos deben modernizarse para manejar buques más grandes y volúmenes de carga mayores. Esto incluye la inversión en infraestructura física y tecnologías avanzadas para mejorar la eficiencia y reducir los tiempos de espera (3).

9. Impacto de la Pandemia de COVID-19: La pandemia ha subrayado la importancia de la resiliencia en la cadena de suministro marítima. Ha provocado interrupciones significativas, afectando tanto el comercio como la movilidad de la tripulación. La industria debe adaptarse a estas nuevas realidades, incluyendo la implementación de protocolos de salud más estrictos y la mejora de la planificación ante contingencias (6).

En resumen, el sector marítimo se encuentra en un punto de inflexión, enfrentando una serie de desafíos complejos que requieren una adaptación rápida y eficaz. Las empresas que puedan navegar estos desafíos estarán mejor posicionadas para prosperar en el futuro.

A continuación, veremos en mayor detalle cada uno de estos desafíos y en que manera se está adaptando el sector marítimo para hacer frente a los mismos, de manera inmediata y de cara al futuro.

4.2. Sostenibilidad y Cambio Climático

El cambio climático y la sostenibilidad son dos de los desafíos más importantes que enfrenta el mundo en el siglo XXI. El sector marítimo, que incluye el transporte marítimo, la pesca y la explotación de recursos marinos, es un componente clave de la economía global y tiene un papel significativo en el impacto ambiental. Este informe aborda las interacciones entre el cambio climático y el sector marítimo, las iniciativas de sostenibilidad en curso y ejemplos reales de medidas adoptadas por diversas entidades en todo el mundo.

El cambio climático afecta al sector marítimo de varias maneras:

- **Aumento del Nivel del Mar:** El incremento en el nivel del mar puede afectar los puertos y las infraestructuras costeras, incrementando los costos de mantenimiento y la necesidad de adaptaciones.
- **Fenómenos Meteorológicos Extremos:** Tempestades más frecuentes y severas pueden causar daños a las embarcaciones, retrasos en el transporte y pérdidas económicas.
- **Acidificación de los Océanos:** Afecta la vida marina, especialmente los organismos calcificadores como corales y mariscos, impactando la pesca y la biodiversidad marina.

Para mitigar los efectos del cambio climático y promover la sostenibilidad, el sector marítimo ha adoptado varias iniciativas:

Eficiencia Energética y Reducción de Emisiones:

- **Tecnologías de Propulsión Alternativa:** La introducción de motores de gas natural licuado (GNL) y la propulsión híbrida están reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).
- **Optimización de Rutas:** Utilizar software avanzado para optimizar las rutas de navegación ayuda a reducir el consumo de combustible y las emisiones.

Energías Renovables en Infraestructuras Portuarias:

- **Energía Solar y Eólica:** La implementación de energías renovables en puertos, como paneles solares y turbinas eólicas, reduce la dependencia de combustibles fósiles.
- **Sistemas de Gestión de Residuos:** Mejorar los sistemas de reciclaje y tratamiento de residuos en los puertos para minimizar el impacto ambiental.

Normativas y Certificaciones Ambientales:

- **MARPOL y el Convenio de Aguas de Lastre:** Regulaciones internacionales para prevenir la contaminación y proteger la biodiversidad marina.
- **Certificaciones Green Marine:** Incentivar a las empresas marítimas a adoptar prácticas más sostenibles y reducir su huella ambiental.

A continuación, presentamos algunos ejemplos de sostenibilidad en el sector marítimo desarrollados recientemente.

A.P. Moller-Maersk: Pionero en la Neutralidad de Carbono en el Sector Marítimo.

En el ámbito del transporte marítimo, A.P. Moller-Maersk se ha destacado no solo por su liderazgo global en logística y transporte, sino también por su compromiso firme con la sostenibilidad ambiental. Conscientes del impacto del cambio climático, Maersk ha establecido una meta ambiciosa: alcanzar la neutralidad de carbono para 2050. Este objetivo no solo refleja la responsabilidad corporativa hacia el medio ambiente, sino también un reconocimiento de la necesidad de innovar y adaptar las operaciones para enfrentar los desafíos climáticos actuales.

Maersk ha comenzado a trazar su camino hacia esta meta mediante inversiones significativas en tecnologías de combustibles alternativos. Una de las más prometedoras es el metanol verde. Este combustible, producido a partir de fuentes renovables como biomasa o CO₂ capturado, ofrece una reducción significativa de las emisiones de CO₂ en comparación con los combustibles fósiles tradicionales. En 2023, Maersk anunció la construcción de su primer buque portacontenedores propulsado por metanol verde, con la expectativa de que entre en operación en 2024. Este avance marca un hito

importante, ya que podría reducir las emisiones de CO2 en hasta un 90%, mostrando así el potencial transformador de los combustibles alternativos en la industria marítima.



Ilustración 1. Buque "Laura" propulsado por metanol verde. Fuente: diarioelcanal.com.

Pero Maersk no se detiene ahí. La empresa está explorando también el uso de amoníaco y biocombustibles avanzados como opciones viables para sus flotas. El amoníaco, en particular, presenta un gran potencial debido a que, al ser quemado, no produce emisiones de CO2. No obstante, la transición hacia estos combustibles requiere no solo inversión en nuevas tecnologías, sino también en infraestructura adecuada para su producción y distribución a escala global.

El compromiso de Maersk con la sostenibilidad también se refleja en el diseño ecológico de sus buques. La optimización hidrodinámica de los cascos y hélices es una de las estrategias empleadas para reducir la resistencia al agua, lo que a su vez disminuye el consumo de combustible. Además, la implementación de sistemas de propulsión avanzados, incluyendo opciones híbridas y eléctricas, permite que los buques puedan utilizar fuentes de energía renovable cuando estén disponibles. Esta combinación de innovación en el diseño y en la tecnología de propulsión no solo mejora la eficiencia energética, sino que también reduce la huella de carbono de la empresa.

En términos de energía renovable, Maersk ha comenzado a instalar paneles solares y otras tecnologías a bordo de sus buques. Estas medidas complementan las necesidades energéticas y reducen aún más la dependencia de combustibles fósiles. Es un enfoque integral que demuestra cómo las tecnologías renovables pueden integrarse de manera efectiva en la operación diaria de una flota marítima.

La colaboración es otro pilar fundamental en la estrategia de Maersk. La empresa ha establecido asociaciones con instituciones de investigación, organizaciones no gubernamentales y otras empresas del sector para compartir conocimientos y desarrollar nuevas tecnologías. Estas alianzas son cruciales para acelerar la transición hacia un transporte marítimo más sostenible y para enfrentar los retos técnicos y logísticos que implica este cambio.

Un ejemplo claro de este enfoque colaborativo es la participación de Maersk en iniciativas globales como los Principios de Poseidón, que alinean las decisiones de financiamiento con los objetivos climáticos del Acuerdo de París. A través de estas iniciativas, Maersk no solo se compromete a reducir sus propias emisiones, sino que también fomenta una cultura de sostenibilidad en toda la industria.

Puerto de Rotterdam: Líder en Sostenibilidad y Tecnologías Verdes.

El Puerto de Rotterdam, uno de los puertos más grandes e importantes del mundo, ha adoptado un enfoque proactivo y visionario hacia la sostenibilidad y la mitigación del cambio climático. Enfrentando desafíos ambientales significativos, el puerto ha implementado una serie de iniciativas innovadoras que no solo buscan reducir su huella de carbono, sino también establecer un estándar para otros puertos a nivel mundial.



Ilustración 2. Vista aérea del puerto de Rotterdam. Fuente: sandraitm2014.wordpress.com.

Energía Eólica y Solar

Uno de los pilares de la estrategia sostenible del Puerto de Rotterdam es la integración de energías renovables en sus operaciones diarias. El puerto ha instalado numerosas turbinas eólicas y paneles solares en sus instalaciones. Estas fuentes de energía limpia no solo abastecen una parte significativa de las necesidades energéticas del puerto, sino que también ayudan a reducir la dependencia de combustibles fósiles.

- **Energía Eólica:** Las turbinas eólicas instaladas en el puerto aprovechan los vientos fuertes y constantes de la región, generando electricidad de manera sostenible. Estas turbinas han sido diseñadas para operar eficientemente incluso en condiciones meteorológicas adversas, maximizando así su producción de energía.
- **Energía Solar:** El puerto ha cubierto grandes superficies de techos y áreas no utilizadas con paneles solares. Estos paneles capturan la luz solar y la convierten en electricidad, complementando el suministro energético y reduciendo aún más las emisiones de CO2.

Electrificación de Operaciones Portuarias

Además de utilizar energías renovables, el Puerto de Rotterdam está implementando programas para electrificar sus operaciones. Esta iniciativa incluye la electrificación de grúas, vehículos y equipos de manejo de carga, que tradicionalmente funcionaban con combustibles fósiles. La electrificación de estas operaciones no solo reduce las emisiones de gases de efecto invernadero, sino que también mejora la calidad del aire en el entorno portuario.

- **Grúas Eléctricas:** Las grúas eléctricas, alimentadas por la red de energía renovable del puerto, operan con mayor eficiencia y menor impacto ambiental. Estas grúas no producen emisiones directas de CO2 y generan menos ruido, contribuyendo a un ambiente de trabajo más saludable y seguro.
- **Vehículos Eléctricos:** El puerto ha comenzado a reemplazar su flota de vehículos diésel con vehículos eléctricos. Esto incluye tanto vehículos de transporte de personal como equipos de manipulación de carga. Los vehículos eléctricos son más silenciosos y tienen menores costos operativos a largo plazo.

Captura y Almacenamiento de Carbono (CCS)

Una de las iniciativas más ambiciosas del Puerto de Rotterdam es su proyecto de captura y almacenamiento de carbono (CCS). Este proyecto tiene como objetivo capturar el CO₂ emitido por las industrias del puerto y almacenarlo de manera segura en formaciones geológicas subterráneas. El CCS es una tecnología crucial para reducir las emisiones de sectores industriales difíciles de descarbonizar.

- Proyecto Porthos: En colaboración con varias empresas y organizaciones, el Puerto de Rotterdam está desarrollando el proyecto Porthos (Port of Rotterdam CO₂ Transport Hub and Offshore Storage). Este proyecto busca capturar CO₂ de las refinerías y plantas químicas del puerto, transportarlo por tuberías hasta una plataforma en el Mar del Norte y almacenarlo en antiguos yacimientos de gas vacíos. Se espera que el proyecto Porthos pueda almacenar hasta 2.5 millones de toneladas de CO₂ anualmente, contribuyendo significativamente a la reducción de las emisiones industriales del puerto.



Ilustración 3. Diagrama del proyecto Porthos. Fuente: mr-sustainability.com.

Innovación y Futuro Sostenible

El Puerto de Rotterdam no solo se centra en las tecnologías actuales, sino que también está invirtiendo en innovación y desarrollo para el futuro. El puerto está explorando el uso de hidrógeno verde como combustible alternativo y fuente de energía. El hidrógeno verde, producido mediante electrólisis del agua utilizando electricidad renovable, podría ser una solución clave para descarbonizar el transporte marítimo y las operaciones industriales.

- **Infraestructura de Hidrógeno:** El puerto está desarrollando la infraestructura necesaria para la producción, almacenamiento y distribución de hidrógeno verde. Esto incluye la construcción de plantas de electrólisis y la instalación de estaciones de abastecimiento de hidrógeno para barcos y vehículos.

Iniciativa de Descarbonización del Transporte Marítimo (Poseidon Principles):

En un esfuerzo por mitigar el cambio climático y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, el sector del transporte marítimo ha visto la necesidad de adoptar medidas sostenibles. Los Principios de Poseidón, lanzados en junio de 2019, representan una iniciativa pionera que alinea las decisiones de financiamiento con los objetivos climáticos del Acuerdo de París. Este informe explora los objetivos, principios fundamentales, impacto, ejemplos de implementación, y desafíos de esta iniciativa.

Objetivos de los Principios de Poseidón

Los Principios de Poseidón tienen como meta principal promover la sostenibilidad en la industria marítima mediante la alineación de las decisiones financieras con los objetivos del Acuerdo de París. Los objetivos específicos incluyen:

1. **Alinear la Industria con el Acuerdo de París:** Asegurar que las decisiones de financiamiento contribuyan a limitar el calentamiento global a muy por debajo de 2 grados Celsius, y hacer esfuerzos para limitarlo a 1.5 grados Celsius.
2. **Promover la Transparencia:** Fomentar la transparencia en la industria financiera y marítima sobre el impacto climático de las inversiones y operaciones.

3. Incentivar la Reducción de Emisiones: Motivar a las empresas navieras a adoptar tecnologías y prácticas sostenibles para reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero.

Principios Fundamentales

Los Principios de Poseidón se basan en cuatro pilares esenciales que guían las decisiones de financiamiento e inversión en la industria naviera:

1. Evaluación y Divulgación Anual: Las instituciones financieras deben evaluar anualmente el impacto climático de sus carteras de financiamiento marítimo y compararlo con la trayectoria de descarbonización acordada. Estos resultados deben ser divulgados públicamente, promoviendo la transparencia y la responsabilidad.
2. Establecimiento de Objetivos: Los financiadores deben establecer objetivos claros y medibles para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero de sus carteras, alineándolos con los objetivos del Acuerdo de París. Esto incluye apoyar proyectos y tecnologías que contribuyan a la descarbonización del transporte marítimo.
3. Compromiso con la Mejora Continua: Las instituciones se comprometen a revisar y mejorar continuamente sus políticas y prácticas para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, fomentando la innovación y la adopción de tecnologías limpias en la industria marítima.
4. Colaboración y Acción Colectiva: Los firmantes de los Principios de Poseidón colaboran entre sí y con otras partes interesadas para promover la acción colectiva y el intercambio de mejores prácticas en la descarbonización del transporte marítimo.

Impacto y Participación

Desde su lanzamiento, los Principios de Poseidón han visto una creciente participación de instituciones financieras globales. Hasta la fecha, más de 30 bancos y entidades financieras que representan una parte sustancial del financiamiento global de la industria naviera han firmado los Principios. Esto incluye a líderes del sector como Citi, Société Générale y DNB.

Un ejemplo destacado de la implementación de los Principios de Poseidón es la colaboración entre el banco noruego DNB y varias compañías navieras escandinavas. DNB ha integrado los Principios en su proceso de evaluación de riesgos y decisiones

de financiamiento, priorizando proyectos que contribuyan a la reducción de emisiones. Esto incluye el financiamiento de buques propulsados por combustibles alternativos, como el metanol verde y el hidrógeno, y la modernización de flotas existentes con tecnologías de eficiencia energética.

4.3. Digitalización y Ciberseguridad

La digitalización ha revolucionado múltiples industrias, incluyendo el sector marítimo. Este proceso ha traído consigo una mayor eficiencia operativa y nuevas oportunidades de negocio, pero también ha incrementado los riesgos asociados a la ciberseguridad. Este informe analiza la digitalización en el ámbito marítimo y los desafíos de ciberseguridad que esta transformación conlleva, respaldado por referencias bibliográficas y ejemplos reales.

Digitalización en el Ámbito Marítimo

La digitalización en el sector marítimo implica la integración de tecnologías avanzadas como Internet de las Cosas (IoT), big data, inteligencia artificial (IA) y blockchain para mejorar la eficiencia y seguridad de las operaciones marítimas. Entre los avances más destacados se encuentran:

1. **Sistemas de Gestión de Tráfico Marítimo (VTMIS):** Permiten una mejor gestión del tráfico y monitoreo de embarcaciones, aumentando la seguridad y eficiencia en las rutas marítimas.
2. **Navíos Autónomos:** El desarrollo de buques autónomos que operan sin intervención humana directa, como los proyectos de Rolls-Royce y Kongsberg, está transformando la industria, aunque aún enfrentan desafíos regulatorios y de seguridad.
3. **Mantenimiento Predictivo:** Utilizando sensores IoT y análisis de big data, las navieras pueden predecir y prevenir fallos en los equipos, reduciendo el tiempo de inactividad y los costos de mantenimiento.

Desafíos de Ciberseguridad

La digitalización conlleva un incremento en los riesgos de ciberseguridad, dada la creciente interconexión de sistemas y la dependencia de tecnologías digitales. Los principales desafíos incluyen:

1. Amenazas Cibernéticas: Las embarcaciones y sistemas portuarios son objetivos atractivos para ciberataques, como el ransomware y el espionaje industrial. Por ejemplo, en 2017, el ataque de ransomware NotPetya afectó gravemente a Maersk, resultando en pérdidas estimadas de 300 millones de dólares (Kaspersky, 2017).



Ilustración 4. Captura de pantalla de la infección por el ramsonware Petya. Fuente: *blog.smartekh.com*.

2. Vulnerabilidades de Sistemas: Los sistemas de navegación y comunicación pueden ser vulnerables a ataques si no se implementan medidas de seguridad adecuadas. En 2019, un ataque cibernético a la Autoridad del Canal de Suez comprometió temporalmente sus sistemas de TI (9).
3. Cumplimiento Normativo: Las regulaciones sobre ciberseguridad marítima, como las directrices de la Organización Marítima Internacional (OMI) y la Norma ISO/IEC 27001, imponen requisitos estrictos que las empresas deben cumplir para proteger sus operaciones.

Para abordar estos desafíos, se recomiendan las siguientes estrategias:

1. Implementación de Sistemas de Seguridad Robustos: Adoptar soluciones de seguridad avanzada, como firewalls, sistemas de detección de intrusos (IDS) y cifrado de datos para proteger la integridad de los sistemas y datos marítimos.
2. Capacitación Continua del Personal: Formar al personal en ciberseguridad para que identifiquen y respondan adecuadamente a posibles amenazas. Según un estudio de Allianz (2018), el 80% de los incidentes cibernéticos se deben a errores humanos, subrayando la importancia de la capacitación (8).

3. Auditorías y Evaluaciones Regulares: Realizar auditorías y pruebas de penetración regulares para identificar y corregir vulnerabilidades en los sistemas antes de que puedan ser explotadas por atacantes.
4. Colaboración Internacional: Fomentar la cooperación entre gobiernos, organizaciones internacionales y el sector privado para compartir información sobre amenazas y mejores prácticas en ciberseguridad.

Algunos ejemplos de estos hechos los encontramos a continuación:

- Maersk y NotPetya: En 2017, Maersk fue víctima de un ataque de ransomware que interrumpió sus operaciones globales. La rápida respuesta de la empresa y la implementación de medidas de recuperación permitieron restablecer sus sistemas en 10 días, aunque con significativas pérdidas financieras cercanas a los 300 millones de dólares (10).
- Puerto de San Diego: En 2018, el puerto de San Diego sufrió un ataque de ransomware que afectó sus operaciones. La respuesta incluyó la cooperación con el FBI y la implementación de medidas de contención y recuperación para restaurar los servicios (11).

4.4. Automatización y Buques Autónomos

La automatización y el desarrollo de buques autónomos están revolucionando el sector marítimo, trayendo consigo mejoras significativas en eficiencia operativa, reducción de costos y aumento de la seguridad. Este informe analiza los avances en automatización y buques autónomos, los desafíos que enfrenta esta transformación y proporciona ejemplos reales respaldados por referencias bibliográficas.

Avances en Automatización en el Sector Marítimo

La automatización en el sector marítimo abarca una variedad de tecnologías diseñadas para optimizar las operaciones y reducir la intervención humana. Los principales avances incluyen:

- Sistemas de Navegación Automatizados: Los sistemas de navegación, como el ECDIS (Electronic Chart Display and Information System), permiten una navegación más precisa y segura.



Ilustración 5. Sistema ECDIS. Fuente: researchgate.net.

- **Mantenimiento Predictivo:** Utilizando sensores y análisis de datos, las navieras pueden predecir y prevenir fallos en los equipos, minimizando el tiempo de inactividad y los costos de mantenimiento.
- **Automatización de Puertos:** La automatización de terminales portuarias, como el puerto de Rotterdam, incluye grúas y vehículos guiados automatizados (AGVs) para mejorar la eficiencia y seguridad en la carga y descarga de contenedores.

Desarrollo de Buques Autónomos

Los buques autónomos, también conocidos como Maritime Autonomous Surface Ships (MASS), representan el futuro de la navegación marítima. Estos buques operan con mínima o ninguna intervención humana, utilizando tecnologías avanzadas de IA y sensores. Los beneficios incluyen:

- **Reducción de Costos Operativos:** Menor necesidad de tripulación y optimización del consumo de combustible.
- **Mejora de la Seguridad:** Eliminación de errores humanos y capacidad para operar en condiciones peligrosas sin poner en riesgo vidas humanas.
- **Eficiencia Operativa:** Optimización de rutas y operaciones mediante análisis en tiempo real y toma de decisiones basada en datos.

Desafíos y Consideraciones

- **Regulaciones y Normativas:** La implementación de buques autónomos requiere cambios en las regulaciones marítimas internacionales. La Organización Marítima Internacional (OMI) está trabajando en el desarrollo de un marco regulatorio para estos buques.
- **Ciberseguridad:** La interconexión de sistemas y la dependencia de tecnologías digitales aumentan los riesgos de ciberataques. Es esencial implementar medidas robustas de ciberseguridad para proteger estos sistemas.
- **Aceptación de la Industria:** La transición a buques autónomos enfrenta resistencia debido a preocupaciones sobre la seguridad, pérdida de empleos y costos iniciales elevados.

Algunos ejemplos relacionados con esta cuestión los exponemos a continuación:

- **Yara Birkeland:** El primer buque portacontenedores autónomo y eléctrico del mundo, desarrollado por la empresa noruega Yara International y Kongsberg. Programado para operar sin tripulación en 2022, este buque representa un hito significativo en la industria marítima (13).



Ilustración 6. Buque Yara Birkeland. Fuente: vesselfinder.net.

- **Rolls-Royce y Finferries:** En 2018, el ferry autónomo Falco de Finferries realizó un viaje de prueba exitoso en Finlandia, utilizando tecnología desarrollada por Rolls-Royce. El ferry navegó y atracó sin intervención humana, demostrando la viabilidad de la tecnología autónoma (14).



Ilustración 7. Buque autónomo Falco de Finferries. Fuentes: laivakuvat.com.

- Mayflower Autonomous Ship: Un proyecto liderado por ProMare y respaldado por IBM, este buque autónomo cruzó el Atlántico en 2021 para conmemorar el 400 aniversario del viaje del Mayflower original. Equipado con IA y una variedad de sensores, el buque recopiló datos científicos durante su travesía 15).



Ilustración 8. Mayflower Autonomous Ship. Fuente: newsroom.ibm.com.

4.5. Regulaciones y Cumplimiento Normativo en el Sector Marítimo

El sector marítimo es una parte vital de la economía global, responsable del transporte de aproximadamente el 90% del comercio mundial. Para asegurar la seguridad, la protección del medio ambiente y la eficiencia operativa, este sector está sujeto a una compleja red de regulaciones y normativas. Este informe explora las principales regulaciones en el sector marítimo, el papel de los organismos reguladores y los desafíos en el cumplimiento normativo, respaldado por referencias bibliográficas y ejemplos reales.

Principales Regulaciones en el Sector Marítimo

Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida Humana en el Mar (SOLAS): Establecido por la Organización Marítima Internacional (OMI), SOLAS es uno de los tratados más importantes que establece estándares mínimos para la construcción, equipamiento y operación de buques, garantizando su seguridad.

Convenio Internacional para Prevenir la Contaminación por los Buques (MARPOL): También administrado por la OMI, MARPOL busca prevenir y minimizar la contaminación del medio marino por los buques debido a la descarga de sustancias nocivas y derrames accidentales.

Código Internacional de Protección de Buques e Instalaciones Portuarias (Código PBIP): Este código establece medidas para reforzar la seguridad de los buques y los puertos, mitigando las amenazas de actos terroristas y otras actividades ilícitas.

Convenio sobre el Trabajo Marítimo (MLC, 2006): Desarrollado por la Organización Internacional del Trabajo (OIT), este convenio establece los derechos laborales y las condiciones de trabajo para los marinos, promoviendo condiciones de trabajo dignas y seguras.

Organismos Reguladores

Organización Marítima Internacional (OMI): Como agencia especializada de las Naciones Unidas, la OMI es responsable de la seguridad y protección del transporte marítimo internacional y la prevención de la contaminación marina por los buques.



Ilustración 9. Logotipo de la OMI. Fuente: imo.org.

Organización Internacional del Trabajo (OIT): La OIT supervisa las normas laborales internacionales, incluyendo las condiciones de trabajo en el sector marítimo a través del MLC, 2006.

Administraciones Marítimas Nacionales: Cada país tiene su propia administración marítima encargada de implementar y hacer cumplir las regulaciones internacionales y nacionales. Ejemplos incluyen la Guardia Costera de los Estados Unidos y la Agencia Marítima y de Guardacostas del Reino Unido.

Desafíos en el Cumplimiento Normativo

- **Diversidad de Normativas:** La existencia de múltiples regulaciones internacionales y nacionales puede generar complejidades en el cumplimiento. Las navieras deben asegurarse de cumplir con todas las normativas aplicables en las diferentes jurisdicciones en las que operan.
- **Costos de Cumplimiento:** Implementar y mantener las medidas necesarias para cumplir con las regulaciones puede ser costoso, especialmente para las navieras más pequeñas. Esto incluye inversiones en nuevas tecnologías, formación de la tripulación y actualizaciones de los buques.
- **Cambio de Normativas:** Las regulaciones marítimas están en constante evolución para adaptarse a nuevas tecnologías y desafíos. Las navieras deben estar al tanto de estos cambios y adaptar sus operaciones en consecuencia.

A continuación, podemos encontrar algunos ejemplos relacionados con esta cuestión:

- **Cumplimiento de la Regulación sobre el Azufre 2020:** En 2020, entró en vigor la nueva regulación de la OMI que limita el contenido de azufre en el combustible de los buques a 0.5%, una reducción significativa del límite

anterior del 3.5%. Para cumplir con esta regulación, las navieras han adoptado diferentes enfoques, como el uso de combustibles con bajo contenido de azufre, la instalación de depuradores de gases de escape (scrubbers) y la conversión a gas natural licuado (GNL) (15).

- Cumplimiento del MLC, 2006 en Filipinas: Filipinas, uno de los mayores proveedores de marinos en el mundo, ha implementado rigurosamente el MLC, 2006 para garantizar que sus marinos trabajen en condiciones seguras y justas. Esto incluye inspecciones regulares y certificación de los buques que emplean marinos filipinos (16).
- Acciones de la Guardia Costera de los Estados Unidos: La Guardia Costera de EE. UU. realiza inspecciones rigurosas y auditorías de buques que operan en aguas estadounidenses para asegurar el cumplimiento de las regulaciones de seguridad y medioambientales. En 2020, la Guardia Costera emitió numerosas detenciones de buques por incumplimientos críticos de seguridad (17).



Ilustración 10. Buque de la USCG. Fuente: wikipedia.org.

4.6. Cambios en el Comercio Global

El comercio global ha experimentado cambios significativos en las últimas décadas, y el sector marítimo ha sido fundamental en este proceso. Como medio principal para el transporte de mercancías a nivel mundial, cualquier cambio en las dinámicas del comercio global impacta directamente en el sector marítimo. Este informe analiza los principales cambios en el comercio global, sus efectos en el sector marítimo, y proporciona ejemplos reales respaldados por referencias bibliográficas.

Cambios Clave en el Comercio Global

- **Globalización y Liberalización del Comercio:** La globalización ha llevado a una mayor interdependencia económica entre países, y la liberalización del comercio ha reducido las barreras arancelarias, facilitando el flujo de mercancías a nivel internacional.
- **Cambio en las Rutas Comerciales:** La apertura de nuevas rutas comerciales, como la del Ártico debido al deshielo, y la expansión del Canal de Panamá han alterado las dinámicas tradicionales del comercio marítimo.
- **Crecimiento del Comercio Electrónico:** El aumento del comercio electrónico ha cambiado los patrones de demanda y ha generado la necesidad de servicios logísticos más rápidos y eficientes.
- **Desafíos Geopolíticos:** Las tensiones geopolíticas y las guerras comerciales, como la entre Estados Unidos y China, han afectado las rutas y volúmenes de comercio marítimo.
- **Pandemia de COVID-19:** La pandemia ha tenido un impacto profundo en el comercio global, causando interrupciones en las cadenas de suministro y cambios en la demanda de bienes.

Efectos en el Sector Marítimo

- **Aumento de la Capacidad de los Buques:** La demanda creciente de transporte marítimo ha llevado a la construcción de buques cada vez más grandes, conocidos como mega-portacontenedores, que pueden transportar más de 20,000 TEU (Twenty-Foot Equivalent Unit).

- **Modernización de Infraestructuras Portuarias:** Los puertos han tenido que adaptarse para manejar buques más grandes y volúmenes de carga más elevados. Ejemplo de esto es la ampliación del Canal de Panamá y la modernización de puertos en Asia y Europa.
- **Digitalización y Automatización:** La necesidad de eficiencia ha impulsado la adopción de tecnologías digitales y automatización en operaciones portuarias y de navegación.
- **Regulaciones Medioambientales:** Las regulaciones más estrictas sobre emisiones y el uso de combustibles más limpios han llevado a cambios en el diseño y operación de los buques.
- **Disrupciones en la Cadena de Suministro:** La pandemia de COVID-19 y otros eventos disruptivos han expuesto la vulnerabilidad de las cadenas de suministro globales, resaltando la necesidad de resiliencia y diversificación.

Como ejemplos relacionados podemos considerar:

- **Impacto de COVID-19 en el Comercio Marítimo:** La pandemia causó interrupciones significativas en las cadenas de suministro y una caída inicial en el volumen de comercio marítimo. Sin embargo, la demanda de bienes de consumo y equipos médicos impulsó un repunte en ciertas rutas comerciales. La congestión portuaria y la escasez de contenedores fueron desafíos destacados (18).
- **Expansión del Canal de Panamá (2016):** La ampliación del Canal de Panamá permitió el paso de buques más grandes, conocidos como Neopanamax, lo que ha aumentado significativamente el volumen de carga y ha alterado las rutas comerciales globales. Esto ha beneficiado especialmente a los puertos de la costa este de Estados Unidos, que han visto un aumento en el tráfico de contenedores (19).

EXPANSIÓN DEL CANAL

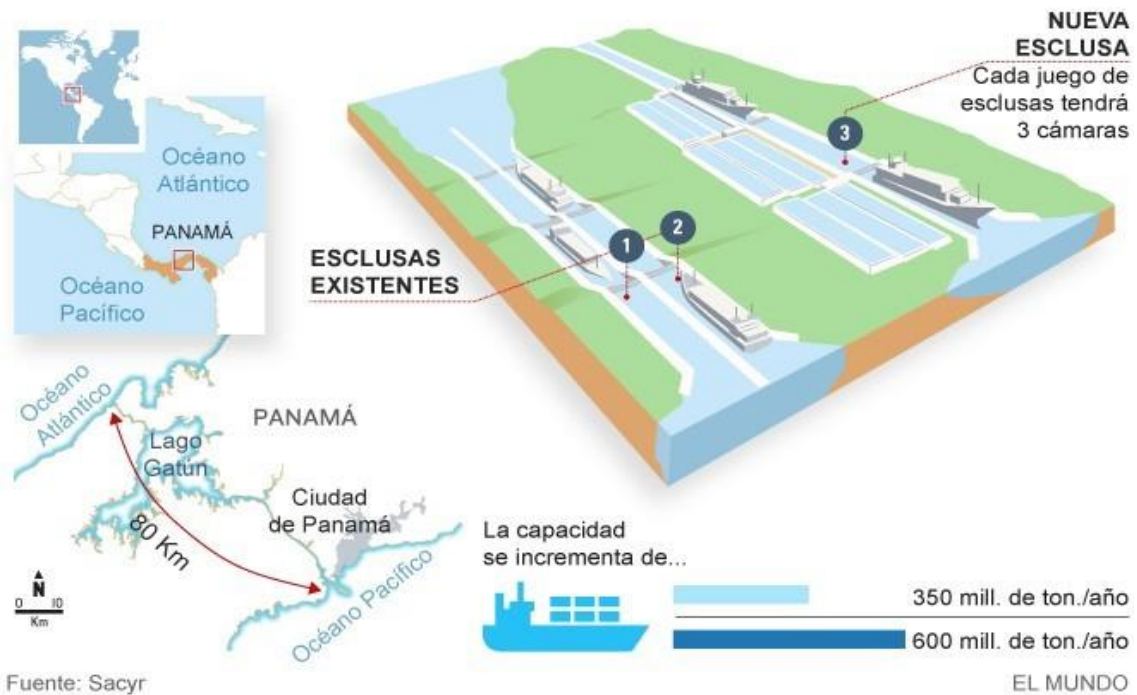


Ilustración 11. Expansión del Canal de Panamá. Fuente: elmundo.es.

- Guerra Comercial entre EE.UU. y China (2018-2020): Las tarifas impuestas por ambos países afectaron los volúmenes de comercio marítimo. Las exportaciones chinas a EE.UU. disminuyeron, mientras que los exportadores buscaron nuevos mercados. Esto llevó a un reajuste en las rutas comerciales y en los flujos de carga (20).

Si bien, todo ello debe contar con una serie de estrategias de implantación y adaptación, como, por ejemplo:

- Diversificación de Rutas y Mercados: Las empresas están diversificando sus rutas y mercados para reducir la dependencia de rutas específicas y aumentar la resiliencia ante disrupciones.
- Inversiones en Tecnología: La adopción de tecnologías avanzadas, como blockchain para trazabilidad y IoT para monitoreo en tiempo real, mejora la eficiencia y la transparencia en la cadena de suministro.



Ilustración 12. Ejemplo de datos obtenidos por IoT. Fuente: naucher.com.

- Sostenibilidad y Regulaciones Medioambientales: Las navieras están invirtiendo en buques más ecológicos y tecnologías de reducción de emisiones para cumplir con las regulaciones medioambientales y responder a las demandas de sostenibilidad.

4.7. Seguridad y Piratería

La seguridad en el sector marítimo es una preocupación crítica para la industria global, debido a la creciente amenaza de la piratería y otros riesgos asociados con la navegación en aguas internacionales. Este informe examina los desafíos de seguridad en el sector marítimo, las medidas adoptadas para combatir la piratería, y proporciona ejemplos reales respaldados por referencias bibliográficas.

Desafíos de Seguridad en el Sector Marítimo

- Piratería y Robos a Mano Armada: La piratería sigue siendo una amenaza significativa, especialmente en regiones como el Golfo de Adén, el Golfo de Guinea y el sudeste asiático. Los ataques piratas pueden resultar en secuestros, robos y la interrupción del comercio marítimo.

- **Terrorismo Marítimo:** La posibilidad de ataques terroristas contra buques y puertos representa un grave riesgo para la seguridad marítima. Estos ataques pueden tener consecuencias devastadoras tanto para la tripulación como para el medio ambiente.
- **Contrabando y Tráfico Ilegal:** El contrabando de drogas, armas y personas es un problema persistente que afecta la seguridad de las rutas marítimas y la integridad de las operaciones portuarias.
- **Ciberseguridad:** La digitalización del sector marítimo ha introducido nuevos riesgos cibernéticos. Los sistemas de navegación y comunicación de los buques pueden ser vulnerables a ciberataques, comprometiendo la seguridad de las operaciones.

Medidas de Seguridad y Combate a la Piratería

- **Patrullas Navales Internacionales:** Las fuerzas navales de diversos países colaboran en patrullas conjuntas en áreas de alto riesgo, como el Golfo de Adén, para disuadir y responder a los ataques piratas.
- **Mejoras en el Diseño de Buques:** Los buques modernos están siendo diseñados con medidas de seguridad avanzadas, como cascos reforzados, sistemas de alarma y cámaras de vigilancia.
- **Equipos de Seguridad Privados:** Muchas navieras contratan equipos de seguridad privados armados para proteger sus buques mientras transitan por áreas peligrosas.
- **Uso de Tecnología Avanzada:** La implementación de sistemas de seguimiento por satélite, AIS (Automatic Identification Systems) y software de detección de anomalías ayudan a monitorear las rutas marítimas y detectar actividades sospechosas.
- **Capacitación y Conciencia:** La capacitación continua de la tripulación en técnicas de seguridad y la implementación de protocolos de respuesta a incidentes son esenciales para mejorar la preparación y la resiliencia frente a los ataques.

Algunos ejemplos relacionados son los que encontramos a continuación:

- Operación Atalanta (2008 - Presente): Esta operación de la Unión Europea se lanzó para combatir la piratería en el Golfo de Adén y el Océano Índico. Ha sido efectiva en reducir significativamente los ataques piratas mediante la protección de los buques del Programa Mundial de Alimentos y otros buques mercantes (21).

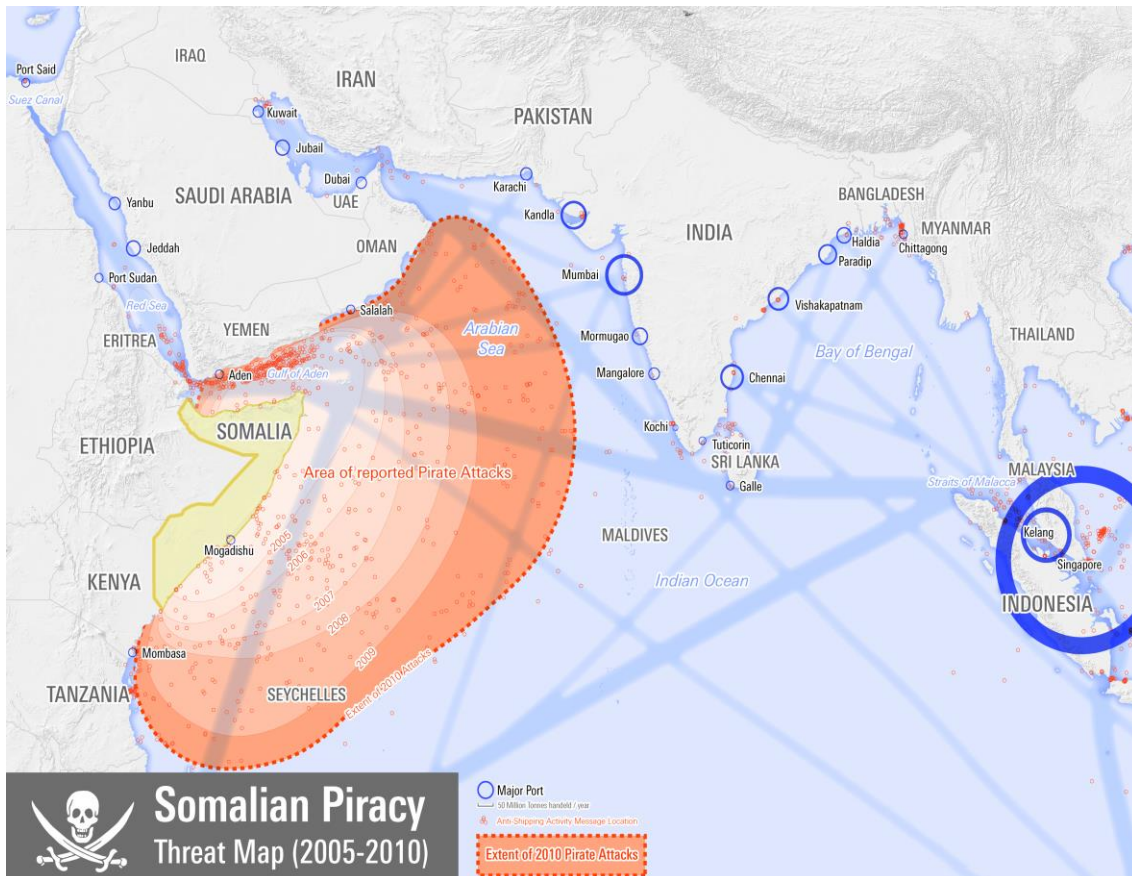


Ilustración 13. Área de acción de la Operación Atalanta. Fuente: wikipedia.org.

- Secuestro del MV Maersk Alabama (2009): Este incidente, que inspiró la película "Captain Phillips", involucró el secuestro de un buque de carga estadounidense por piratas somalíes. La rápida intervención de la Marina de los EE.UU. resultó en la liberación de la tripulación y el rescate del capitán Richard Phillips (22).



Ilustración 14. Fotograma de la película "Capitán Phillips" protagonizada por el actor Tom Hanks. Fuente: nytimes.com.

- Ataques en el Golfo de Guinea: El Golfo de Guinea ha visto un aumento en la actividad pirata en los últimos años. En 2020, el buque griego TMS Cardiff fue atacado y 15 de sus tripulantes fueron secuestrados. Este incidente subraya la necesidad de medidas de seguridad más robustas en la región (23).

Para evitar en la medida de lo posible esta problemática es importante la implantación de estrategias como las que se recogen a continuación:

- Colaboración Internacional: Fomentar la cooperación entre países y organizaciones internacionales para compartir información y recursos en la lucha contra la piratería y otros delitos marítimos.
- Implementación de Normativas de Seguridad: Cumplir con las regulaciones establecidas por la Organización Marítima Internacional (OMI) y otras entidades, como el Código Internacional de Protección de Buques e Instalaciones Portuarias (Código PBIP).
- Desarrollo de Tecnologías Innovadoras: Invertir en tecnologías emergentes, como drones de vigilancia y inteligencia artificial, para mejorar la detección y la respuesta a las amenazas de seguridad.

- **Fortalecimiento de la Ciberseguridad:** Adoptar medidas de ciberseguridad robustas, incluyendo la capacitación de la tripulación en la identificación de ciberamenazas y la implementación de sistemas de defensa cibernética.

4.8. Desafíos Laborales

El sector marítimo es crucial para el comercio global, empleando a millones de personas en diversas funciones, desde marinos hasta trabajadores portuarios y profesionales de la logística. Sin embargo, esta industria enfrenta una serie de desafíos laborales que afectan la seguridad, el bienestar y la eficiencia de la fuerza laboral. Este informe examina los principales desafíos laborales en el sector marítimo, respaldado por referencias bibliográficas y ejemplos reales.

Principales Desafíos Laborales

- **Condiciones de Trabajo:** Las condiciones a bordo de los buques pueden ser difíciles, con largos periodos de tiempo lejos de casa, jornadas laborales extendidas y ambientes de trabajo físicamente demandantes.
- **Seguridad y Salud Ocupacional:** Los riesgos asociados con el trabajo marítimo incluyen accidentes, exposición a condiciones climáticas extremas y enfermedades. La salud mental también es una preocupación significativa debido al aislamiento y la separación prolongada de la familia.
- **Falta de Personal Calificado:** Existe una creciente escasez de marinos y oficiales calificados, lo que puede afectar la operación segura y eficiente de los buques. Este problema se agrava por el envejecimiento de la fuerza laboral y la insuficiente entrada de jóvenes en la profesión.
- **Derechos Laborales y Abuso:** Los marinos a menudo enfrentan violaciones de sus derechos laborales, incluyendo retrasos en los pagos, condiciones de trabajo inadecuadas y falta de acceso a asistencia médica.
- **Impacto de la Digitalización y Automatización:** La introducción de tecnologías avanzadas y buques autónomos plantea la posibilidad de la

pérdida de empleos y la necesidad de una re-capacitación significativa de la fuerza laboral.

A continuación, recogemos algunos ejemplos:

- Caso del MV Wakashio (2020): El naufragio del MV Wakashio en las costas de Mauricio puso de manifiesto las difíciles condiciones laborales de los marinos. Se reportó que la tripulación había estado trabajando bajo condiciones extenuantes, lo que podría haber contribuido al accidente. Este incidente subraya la importancia de la gestión adecuada de la fatiga y las condiciones laborales justas (24).



Ilustración 15. Vertido del MV Wakashio. Fuente: wikipedia.org.

- Informe del International Transport Workers' Federation (ITF): El ITF ha documentado numerosos casos de abuso laboral en el sector marítimo, incluyendo el caso del MV Lancelot, donde los marinos fueron abandonados en un puerto extranjero sin paga ni provisiones adecuadas. El ITF intervino para asegurar la repatriación y el pago de los salarios adeudados a la tripulación (25).
- Impacto del COVID-19: La pandemia exacerbó los desafíos laborales en el sector marítimo. Las restricciones de viaje y las cuarentenas prolongadas dejaron a muchos marinos varados a bordo de sus buques

durante meses, más allá de sus contratos originales, sin la posibilidad de desembarcar. Esta situación generó una crisis de bienestar mental y físico entre la fuerza laboral marítima (26).

Como siempre, para mitigar esta problemática se debe implementar una serie de estrategias y soluciones, entre las cuales podemos mencionar:

- Implementación del Convenio sobre el Trabajo Marítimo (MLC, 2006): El MLC, adoptado por la Organización Internacional del Trabajo (OIT), establece estándares globales para las condiciones laborales de los marinos, incluyendo horas de trabajo, condiciones de vida y derechos laborales. Su implementación y cumplimiento son esenciales para mejorar las condiciones laborales en el sector.
- Programas de Capacitación y Re-capacitación: Invertir en programas de capacitación para asegurar que los marinos y otros trabajadores marítimos estén calificados y preparados para las demandas del trabajo moderno, incluyendo la adopción de nuevas tecnologías.
- Mejora de la Salud y Seguridad Ocupacional: Adoptar políticas y prácticas robustas para proteger la salud y seguridad de los trabajadores, incluyendo el manejo adecuado de la fatiga, acceso a servicios de salud mental y la mejora de las condiciones de vida a bordo de los buques.
- Fortalecimiento de los Derechos Laborales: Asegurar que los marinos reciban pagos justos y a tiempo, tengan acceso a asistencia legal y médica, y que sus derechos laborales sean respetados en todas las jurisdicciones.
- Fomento de la Inclusión y Diversidad: Promover la inclusión de mujeres y minorías en el sector marítimo para diversificar la fuerza laboral y abordar la escasez de personal calificado.

4.9. Innovación en Infraestructura Portuaria

La infraestructura portuaria es fundamental para el comercio marítimo global, facilitando el movimiento eficiente y seguro de bienes y personas. La innovación en esta infraestructura es esencial para manejar el crecimiento del comercio marítimo, mejorar la eficiencia operativa, y abordar desafíos ambientales y tecnológicos. Este informe analiza las principales innovaciones en infraestructura portuaria, respaldado por referencias bibliográficas y ejemplos reales.

Principales Innovaciones en Infraestructura Portuaria

Automatización de Terminales: La automatización en los puertos, incluyendo grúas y vehículos guiados automáticamente (AGVs), mejora la eficiencia operativa y reduce los tiempos de carga y descarga.

Digitalización y Puertos Inteligentes: La implementación de tecnologías digitales, como Internet de las Cosas (IoT), big data y sistemas de información geográfica (GIS), permite a los puertos operar de manera más inteligente y eficiente.

Sostenibilidad y Energías Renovables: Los puertos están adoptando prácticas sostenibles, incluyendo el uso de energías renovables, reducción de emisiones de carbono y gestión eficiente de residuos.

Mejora de la Infraestructura Física: La expansión y modernización de instalaciones portuarias, como muelles, canales de acceso y áreas de almacenamiento, son esenciales para manejar buques de mayor tamaño y volúmenes de carga crecientes.

Seguridad y Ciberseguridad: El fortalecimiento de las medidas de seguridad física y cibernética es crucial para proteger las infraestructuras críticas de los puertos contra amenazas y ataques.

A continuación, recogemos algunos ejemplos relacionados con la innovación en la infraestructura portuaria.

- **Puerto de Rotterdam:** Ya lo mencionamos con anterioridad, representa el puerto más grande de Europa, Rotterdam ha implementado varias innovaciones, como el sistema PortBase, una plataforma de intercambio de datos que optimiza la logística portuaria. Además, está desarrollando

el proyecto "The Digital Twin", que utiliza datos en tiempo real para simular y optimizar las operaciones portuarias (27).

- Puerto de Los Ángeles: Este puerto ha adoptado el uso de AGVs y grúas automatizadas para mejorar la eficiencia. También está invirtiendo en tecnología de energía limpia, incluyendo la electrificación de equipos de manejo de carga y la instalación de paneles solares (28).
- Puerto de Singapur: El puerto de Singapur ha implementado el sistema de gestión de tráfico portuario (VTMS) avanzado y ha lanzado iniciativas como el "Next Generation Port 2030", que incluye la construcción del puerto Tuas, una mega infraestructura que integrará tecnologías avanzadas y automatización para manejar el crecimiento futuro (29).
- Puerto de Hamburgo: Hamburgo ha desarrollado la plataforma digital smartPORT, que utiliza IoT y big data para mejorar la eficiencia logística y la gestión ambiental. También está invirtiendo en infraestructura verde, como sistemas de energía renovable y tecnologías de reducción de emisiones (30).

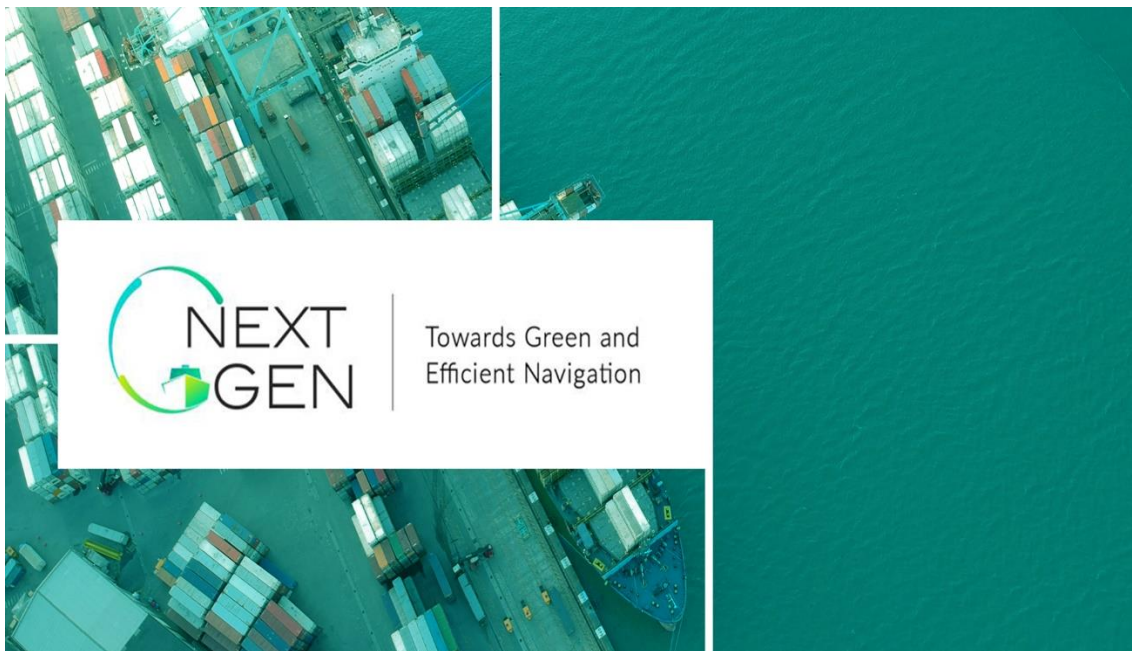


Ilustración 16. Programa Next-Gen de la OMI y Singapur. Fuente: imo.org.

Para llevar a cabo la implementación de las medidas, se plantean una serie de desafíos y consideraciones a tener en cuenta como son:

- **Costos de Implementación:** Las innovaciones en infraestructura portuaria pueden requerir inversiones significativas. Los puertos deben equilibrar los costos iniciales con los beneficios a largo plazo en eficiencia y sostenibilidad.
- **Adopción de Tecnología:** La integración de nuevas tecnologías puede ser compleja y requerir una capacitación extensa del personal. Además, debe haber compatibilidad entre los sistemas existentes y los nuevos.
- **Regulaciones y Normativas:** Los puertos deben cumplir con las regulaciones locales e internacionales, lo que puede influir en la implementación de nuevas tecnologías y prácticas.
- **Colaboración y Coordinación:** La colaboración entre diferentes actores, incluidos gobiernos, empresas privadas y organizaciones internacionales, es esencial para el éxito de las iniciativas de innovación.

5. Discusión

La industria marítima está en un punto de inflexión, enfrentando una serie de desafíos que abarcan desde la sostenibilidad ambiental hasta la digitalización y la automatización. La necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero es urgente, y aunque se están haciendo esfuerzos significativos, como la adopción de combustibles alternativos y tecnologías verdes, la transición completa requiere inversiones masivas y colaboración global.

La digitalización y la ciberseguridad son otros aspectos críticos. La adopción de tecnologías avanzadas como IoT y big data puede mejorar la eficiencia operativa, pero también aumenta la vulnerabilidad a ciberataques. La implementación de medidas robustas de ciberseguridad es esencial para proteger estos sistemas integrados.

La automatización y el desarrollo de buques autónomos prometen revolucionar la industria, reduciendo costos y mejorando la seguridad. Sin embargo, estos avances también plantean desafíos regulatorios y de responsabilidad. La necesidad de un marco normativo claro es crucial para integrar estas tecnologías de manera segura y efectiva.

El cumplimiento normativo y las regulaciones ambientales son cada vez más estrictos, lo que requiere inversiones significativas en nuevas tecnologías y equipos. Además, los cambios en el comercio global, como las tensiones geopolíticas y la pandemia de COVID-19, han alterado las rutas comerciales y los flujos de mercancías, requiriendo una mayor flexibilidad y capacidad de adaptación por parte de las navieras.

6. Conclusiones

El transporte marítimo es indispensable para el funcionamiento y crecimiento de la economía global. Su capacidad para mover grandes volúmenes de mercancías de manera eficiente y económica, su papel en la globalización y el comercio internacional, y su contribución al desarrollo sostenible son insustituibles. A medida que el mundo enfrenta desafíos como el cambio climático y la digitalización, el sector marítimo debe adaptarse y evolucionar, pero su importancia fundamental en la economía global permanecerá incuestionable. Aparte que es un tema que incita a cambios significativos y avances tecnológicos, como hemos visto en el trabajo hay muchas fuentes innovadoras, también considerar la colaboración de las organizaciones marítimas hacia un futuro sostenible y de menor contaminación. Destacar que tanto los buques de propulsión de combustible como las otras de propulsión o energía alternativa contaminan, pero analizando ambos nos damos cuenta de que los de combustible contamina en la producción del mismo combustible en sí y libera aún más emisiones (de forma creciente) en el transcurso de su vida funcional o mercantil sin embargo las de energía alternativa aunque contaminan en su fabricación de las baterías, generadores eléctricos etc.; pero tienen una emisión casi lineal (mucho menos que los de combustible) en su vida operativa, haciendo un balance lógico entre ambos claramente las de propulsión eléctrica y alternativas son el futuro inminente. Es un proceso que conlleva tiempo, adaptación y consistencia en el objetivo para conseguir año tras año una disminución de las emisiones.

La industria marítima se encuentra en un punto crítico, enfrentando una serie de desafíos que requieren soluciones innovadoras y colaborativas. A lo largo de este estudio, se han identificado y analizado los principales retos y oportunidades, destacando la necesidad de adaptaciones rápidas y eficaces para asegurar la viabilidad económica y reducir el impacto ambiental de la industria.

Es imperativo que la industria marítima adopte tecnologías y prácticas más sostenibles para reducir su huella de carbono y otros impactos ambientales. Los esfuerzos para cumplir con los objetivos de la OMI para 2050 son esenciales, y aunque se han hecho progresos significativos, la transición completa a combustibles más limpios y tecnologías verdes requerirá inversiones masivas y una colaboración global sin precedentes.

La digitalización ofrece numerosas oportunidades para mejorar la eficiencia operativa, pero también aumenta la vulnerabilidad a ciberataques. La implementación

de sistemas de ciberseguridad robustos es fundamental para proteger las operaciones marítimas y asegurar que los beneficios de la digitalización no se vean comprometidos por riesgos de seguridad.

Los buques autónomos y la automatización de procesos prometen revolucionar la industria, mejorando la eficiencia y la seguridad. Sin embargo, estos avances también plantean desafíos regulatorios y de responsabilidad que deben ser abordados mediante un marco normativo claro y bien definido.

Las regulaciones ambientales y de seguridad son cada vez más estrictas, lo que requiere inversiones significativas en nuevas tecnologías y equipos. Las empresas deben estar preparadas para cumplir con estas normativas y adaptar sus operaciones en consecuencia. El cumplimiento normativo no solo es una obligación legal, sino también una oportunidad para mejorar la sostenibilidad y la reputación de la industria.

La modernización de la infraestructura portuaria es crucial para manejar el creciente tamaño de los buques y los volúmenes de carga. La adopción de tecnologías avanzadas y la mejora de la eficiencia operativa en los puertos son esenciales para mantener la competitividad de la industria en un mercado global cada vez más exigente.

La industria debe abordar la escasez de mano de obra calificada y mejorar las condiciones laborales para atraer y retener talento. La formación continua y la creación de condiciones de trabajo justas y seguras son fundamentales para garantizar la sostenibilidad a largo plazo del sector.

La cooperación entre gobiernos, empresas y organizaciones internacionales es vital para enfrentar los desafíos de la industria marítima. La colaboración en investigación y desarrollo, el intercambio de mejores prácticas y el establecimiento de alianzas estratégicas son esenciales para impulsar la innovación y asegurar un futuro sostenible y eficiente.

En resumen, la industria marítima se enfrenta a desafíos complejos que requieren una respuesta coordinada y multifacética. Las empresas que puedan adaptarse a estos cambios y adoptar nuevas tecnologías estarán mejor posicionadas para prosperar en el futuro. Con un enfoque conjunto en la innovación, la sostenibilidad y la colaboración global, la industria marítima puede navegar hacia un futuro más brillante y responsable.

7. Conclusions

Maritime transport is indispensable for the functioning and growth of the global economy. Its capacity to move large volumes of goods efficiently and economically, its role in globalization and international trade, and its contribution to sustainable development are irreplaceable. As the world faces challenges such as climate change and digitalization, the maritime sector must adapt and evolve, but its fundamental importance in the global economy will remain unquestionable. Moreover, this is a topic that incites significant changes and technological advances. As we have seen in this work, there are many innovative sources, and it is also important to consider the collaboration of maritime organizations towards a sustainable and less polluting future. It is worth noting that both fuel-propelled vessels and those with alternative propulsion or energy sources pollute. However, upon analyzing both, we realize that fuel-propelled vessels pollute during the production of the fuel itself and release even more emissions (increasingly) throughout their functional or commercial life. In contrast, alternative energy sources, although they pollute during the manufacturing of batteries, electric generators, etc., have an almost linear emission (much less than fuel-propelled vessels) during their operational life. Striking a logical balance between the two, it is clear that electric and alternative propulsion are the imminent future. It is a process that requires time, adaptation, and consistency in the objective to achieve a year-on-year reduction in emissions.

The maritime industry is at a critical juncture, facing a series of challenges that require innovative and collaborative solutions. Throughout this study, the main challenges and opportunities have been identified and analyzed, highlighting the need for rapid and effective adaptations to ensure the industry's economic viability and reduce its environmental impact.

It is imperative that the maritime industry adopts more sustainable technologies and practices to reduce its carbon footprint and other environmental impacts. Efforts to meet the IMO's 2050 targets are essential, and while significant progress has been made, the complete transition to cleaner fuels and green technologies will require massive investments and unprecedented global collaboration.

Digitalization offers numerous opportunities to improve operational efficiency, but it also increases vulnerability to cyberattacks. The implementation of robust cybersecurity systems is fundamental to protect maritime operations and ensure that the benefits of digitalization are not compromised by security risks.

Autonomous vessels and process automation promise to revolutionize the industry, improving efficiency and safety. However, these advances also pose regulatory and liability challenges that must be addressed through a clear and well-defined regulatory framework.

Environmental and safety regulations are becoming increasingly stringent, requiring significant investments in new technologies and equipment. Companies must be prepared to comply with these regulations and adapt their operations accordingly. Regulatory compliance is not only a legal obligation but also an opportunity to enhance the industry's sustainability and reputation.

The modernization of port infrastructure is crucial to handle the increasing size of vessels and cargo volumes. The adoption of advanced technologies and the improvement of operational efficiency in ports are essential to maintain the industry's competitiveness in an increasingly demanding global market.

The industry must address the shortage of skilled labor and improve working conditions to attract and retain talent. Continuous training and the creation of fair and safe working conditions are fundamental to ensure the long-term sustainability of the sector.

Cooperation between governments, companies, and international organizations is vital to address the challenges of the maritime industry. Collaboration in research and development, the exchange of best practices, and the establishment of strategic alliances are essential to drive innovation and ensure a sustainable and efficient future.

In summary, the maritime industry faces complex challenges that require a coordinated and multifaceted response. Companies that can adapt to these changes and adopt new technologies will be better positioned to thrive in the future. With a joint focus on innovation, sustainability, and global collaboration, the maritime industry can navigate towards a brighter and more responsible future.

8. Bibliografía

1. UNCTAD. (2021). Review of Maritime Transport 2021. United Nations Conference on Trade and Development.
2. IMO. (2018). Initial IMO strategy on reduction of GHG emissions from ships. International Maritime Organization.
3. UNCTAD. "Review of Maritime Transport 2023." UNCTAD. Consultado el 14 de julio de 2024. UNCTAD Report (UNCTAD).
4. RINA. "From Today to 2050: Challenges and Opportunities for the Maritime Industry." RINA. Consultado el 14 de julio de 2024. RINA Report (Rina).
5. Institute of Marine Engineering, Science & Technology (IMarEST). "Challenges in the Marine Industry: 2023 and Beyond." Sea Technology Magazine. Consultado el 14 de julio de 2024. Sea Technology Report (Sea Technology magazine).
6. International Chamber of Shipping (ICS). "Barometer Report 2022-2023." ICS. Consultado el 14 de julio de 2024. ICS Report (ICS Shipping).
7. The Maritime Post. "The Challenges and Opportunities of the Maritime Industry." Consultado el 14 de julio de 2024. The Maritime Post (The Maritime Post).
8. Allianz. (2018). Safety and Shipping Review 2018. Allianz Global Corporate & Specialty SE.
9. Jones, K., Tam, K., Papadaki, M., & Jones, A. (2020). Threats and impacts in maritime cyber security. Engineering & Technology Reference.
10. Kaspersky. (2017). The NotPetya ransomware: Exposing the flaws in cyber defenses. Kaspersky Lab.
11. San Diego Union-Tribune. (2018). San Diego Port targeted in cyber attack, systems disrupted.
12. IBM. (2021). Mayflower Autonomous Ship. Recuperado de IBM Newsroom. <https://newsroom.ibm.com/then-and-now>.

13. Kongsberg. (2021). Yara Birkeland - The world's first autonomous and electric container ship. Recuperado de Kongsberg Maritime. <https://www.kongsberg.com/fr/kmagazine/2017/9/design-yara-birkeland-revealed/>.
14. Rolls-Royce. (2018). Rolls-Royce and Finferries demonstrate world's first Fully Autonomous Ferry. Recuperado de Rolls-Royce. <https://www.rolls-royce.com/media/press-releases/2018/03-12-2018-rr-and-finferries-demonstrate-worlds-first-fully-autonomous-ferry.aspx>.
15. IMO. (2019). IMO 2020 – cutting sulphur oxide emissions. Recuperado de IMO Website. <https://www.imo.org/en/MediaCentre/PressBriefings/pages/02-IMO-2020.aspx>.
16. ILO. (2020). Implementing the Maritime Labour Convention, 2006 in the Philippines. Recuperado de ILO Website. https://www.ide.go.jp/library/English/Publish/Reports/Brc/pdf/re32_01.pdf.
17. USCG. (2021). Port State Control Annual Report. Recuperado de US Coast Guard Website. <https://www.dco.uscg.mil/Our-Organization/Assistant-Commandant-for-Prevention-Policy-CG-5P/Inspections-Compliance-CG-5PC-/Commercial-Vessel-Compliance/Foreign-Offshore-Compliance-Division/Port-State-Control/Annual-Reports/>.
18. IMO. (2021). COVID-19 and the maritime industry. Recuperado de IMO Website. <https://www.imo.org/en/MediaCentre/PressBriefings/pages/Learning-the-lessons-from-the-COVID-19-pandemic.aspx>.
19. Panama Canal Authority. (2016). The Panama Canal Expansion. Recuperado de Panama Canal Website. <https://pancanal.com/wp-content/uploads/2021/08/FY-2016.pdf>.
20. UNCTAD. (2020). Review of Maritime Transport 2020. United Nations Conference on Trade and Development. https://unctad.org/system/files/official-document/rmt2020_en.pdf.
21. European Union Naval Force. (2021). Operation Atalanta. Recuperado de EU Navfor Website. https://eunavfor.eu/sites/default/files/2021-09/20190520_A4-booklet-1_EU-U.pdf.

22. Murphy, M. N. (2009). *Small Boats, Weak States, Dirty Money: Piracy and Maritime Terrorism in the Modern World*. Columbia University Press.
23. International Maritime Bureau. (2020). *Piracy and Armed Robbery Against Ships Report*. Recuperado de IMB Website. [https://www.icc-ccs.org/reports/2020 Annual Piracy Report.pdf](https://www.icc-ccs.org/reports/2020%20Annual%20Piracy%20Report.pdf).
24. BBC News. (2020). *MV Wakashio: The inside story of the shipwrecked oil tanker*. Recuperado de BBC News Website. <https://www.bbc.com/news/world-africa-53797009>.
25. International Transport Workers' Federation. (2019). *Abandoned and unpaid: The case of the MV Lancelot*. Recuperado de ITF Website. <https://www.itfseafarers.org/en/abandonment-list/seafarer-abandonment>.
26. International Maritime Organization. (2020). *Coronavirus (COVID-19) – Guidance for IMO Member States, seafarers and shipping*. Recuperado de IMO Website. <https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/COVID-19-Member-States-Communications.aspx>.
27. Port of Rotterdam. (2021). *The Digital Twin*. Recuperado de Port of Rotterdam. <https://www.portofrotterdam.com/sites/default/files/2021-06/port%20vision.pdf>.
28. Port of Los Angeles. (2020). *Sustainability Initiatives*. Recuperado de Port of Los Angeles. <https://www.portoflosangeles.org/environment/sustainability/sustainability-reports>.
29. Maritime and Port Authority of Singapore. (2021). *Next Generation Port 2030*. Recuperado de MPA Singapore. <https://www.mpa.gov.sg/maritime-singapore/port-of-the-future>.
30. Port of Hamburg. (2021). *smartPORT*. Recuperado de Port of Hamburg. <https://www.hamburg-port-authority.de/en/hpa-360/smartport/its-projects>.

Permiso de divulgación del Trabajo Final de Grado

El alumno **Precious Osakpolor Uzamere**, autor del trabajo final de Grado titulado “**Innovaciones Tecnológicas en la Navegación Marítima: Hacia un Futuro Sostenible y Eficiente**”, y tutorizado por el profesor **D. José Agustín González Almeida**, a través del acto de presentación de este documento de forma oficial para su evaluación (registro en la plataforma de TFG), manifiesta que **(PERMITE)** la divulgación de este trabajo, una vez sea evaluado, y siempre con el consentimiento de su tutor, por parte de la Escuela Politécnica Superior de Ingeniería, del Departamento de Ingeniería Civil, Náutica Marítima y de la Universidad de La Laguna, para que pueda ser consultado y referenciado por cualquier persona que así lo estime oportuno en un futuro.

Esta divulgación será realizada siempre que ambos, alumno y tutor/es del Trabajo Final de Grado, den su aprobación. Esta hoja supone el consentimiento por parte del alumno, mientras que el profesor, si así lo desea, lo hará constar en futuras reuniones, una vez finalizado el proceso de evaluación del mismo.