



**Universidad  
de La Laguna**

---

# **El Futuro de la Navegación: Buques Autónomos**

## **Trabajo Fin de Grado**

Grado en Ingeniería Radioelectrónica Naval  
Junio de 2023

Autor:

**Pablo Cámara Ravelo**

43382870-V

**Abraham Ramos Díaz**

54063812-N

Tutor:

Prof. Ángela Hernández López

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

---



D/D<sup>a</sup>. Ángela Hernández López, Profesor de la UD de Ingeniería de los Procesos de Fabricación, perteneciente al Departamento de Ingeniería Civil, Náutica y Marítima de la Universidad de La Laguna:

Expone que:

**D. Pablo Cámara Ravelo con DNI 43.382.870.V y D. Abraham Ramos Díaz con 54.063.812.N**, ha realizado bajo mi dirección el trabajo fin de grado titulado: **El Futuro de la Navegación: Buques Autónomos**.

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 24 de mayo de 2023.

Fdo.: Ángela Hernández López

Director del trabajo.



Cámara Ravelo, P. Ramos Díaz, A (2023). *El Futuro de la Navegación: Buques Autónomos*. Trabajo de Fin de Grado. Universidad de La Laguna.

## RESUMEN

Este trabajo busca resaltar la actualidad de los buques autónomos, destacando su progreso y modernización gradual, así como la actualización del sector marítimo. Se han presentado de manera objetiva las ventajas e inconvenientes de la automatización. Además, se ha explicado la fundamentación de un buque autónomo y los requisitos necesarios para obtener esta categoría, que puede clasificarse en diferentes grados. También se han examinado los proyectos y ensayos realizados hasta ahora con buques autónomos, así como la progresiva automatización de los puertos y terminales de contenedores para adaptarse a ellos. Además, se ha destacado la importancia de los centros de control en tierra para supervisar y controlar la navegación de los buques a distancia. Por último, se ha abordado la normativa que las organizaciones como la OMI establecen en este ámbito. Ofreciendo una visión clara y concisa de todo lo presentado y aprendido a lo largo de este trabajo.

Palabras claves: [Buques, Categorías, Automatización, Ciberseguridad, Normativa, Puertos].



Cámara Ravelo, P. Ramos Díaz, A. (2023). *El Futuro de la Navegación: Buques Autónomos*. Trabajo de Fin de Grado. Universidad de La Laguna.

## **ABSTRACT**

This project aims to highlight the status of autonomous vessels, emphasizing their progress and gradual modernization, as well as the updates in the maritime sector. It presents an objective analysis of the advantages and disadvantages of automation. Furthermore, it explains the rationale behind autonomous ships and the requirements needed to obtain this classification, which can be categorized into various levels. The projects and trials conducted with autonomous vessels so far have been examined, along with the progressive automation of ports and container terminals to accommodate them. The importance of land-based control centers in remotely monitoring and controlling the navigation of ships has also been emphasized. Lastly, the regulations established by organizations such as the IMO in this field have been addressed, providing a clear and concise overview of all the information presented and learned throughout this work.

Keywords: [Ships, Categories, Automation, Cybersecurity, Regulations, Ports].



## AGRADECIMIENTOS

---

*“A las personas que me he encontrado en esta maravillosa aventura  
que ha durado 4 años de mi vida.”*

*“A toda mi familia, en especial a mis padres y mi madrina por  
apoyarme en todo momento y confiar en mí al verme reír y llorar.”*

*“Gracias a TODOS.”*

---



---

## Índice del TFG

---

<b>Introducción.....</b>	<b>3</b>
Objetivos.....	4
Organización del Proyecto .....	4
<b>Capítulo 1. Buque Autónomo .....</b>	<b>6</b>
1.1. Historia de la Automatización.....	6
1.1.1. La automatización en el Sector Marítimo .....	7
1.2. Niveles de Autonomía.....	8
<b>Capítulo 2. Aportaciones e Inconvenientes de la Automatización del Sector Marítimo..</b>	<b>9</b>
2.1 Aportaciones de la Automatización .....	9
2.2 Inconvenientes de la Automatización .....	10
<b>Capítulo 3. Funcionamiento de un Buque Autónomo, Situaciones Complejas y Soluciones.....</b>	<b>13</b>
3.1. Funcionamiento Básico de un MASS.....	13
3.2. Sistemas de Posicionamiento y Sensores Empleados.....	13
3.3. Modelo de Control para la Navegación Autónoma de MUNIN.....	14
<b>Capítulo 4. Proyectos y Ensayos. ....</b>	<b>17</b>
Proyectos:.....	17
Ensayos:.....	20
<b>Capítulo 5. Puertos inteligentes y automatización de los sistemas de amarre y las terminales de contenedores. ....</b>	<b>22</b>
5.1. Los sistemas de amarre automáticos.....	23
5.2. Terminales de Contenedores.....	25
<b>Capítulo 6. Centros de Control en Tierra .....</b>	<b>27</b>
6.1. El papel del Operador en un Centro de Control en Tierra .....	28

<b>Capítulo 7. Ciberseguridad</b> .....	<b>29</b>
7.1. Presentación de Amenazas .....	30
7.2.1. Amenazas y Contramedidas.....	31
<b>Capítulo 8. Legislación y Reglamentación de los Buques Autónomos</b> .....	<b>35</b>
8.1. IMO (International Maritime Organization).....	36
8.1.1. COLREG (International Regulations for Preventing Collisions at Sea) .....	38
8.1.2. SOLAS (International Convention for the Safety of Life at Sea) .....	38
8.1.3. MARPOL (International Convention for the Prevention of Pollution from Ships) ..	39
8.1.4. STCW (International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers) .....	40
8.1.5. MLC (Maritime Labour Convention) .....	40
8.1.6. Código Lloyd's Register para Sistemas Marinos No Tripulados .....	41
<b>Conclusiones</b> .....	<b>42</b>
<b>Conclusions</b> .....	<b>43</b>
<b>Bibliografía</b> .....	<b>44</b>
<b>Ilustraciones</b> .....	<b>48</b>
<b>Anexos</b> .....	<b>49</b>
01.- Anexo I. Título del anexo 1. ....	49

## Introducción

El transporte marítimo internacional desempeña un papel fundamental en el intercambio de mercancías a nivel global, representando aproximadamente el 90% del total del transporte mundial. Es reconocido como el sistema de transporte más eficiente y rentable para una amplia gama de mercancías, facilitando el comercio entre diferentes naciones y comunidades, y contribuyendo significativamente a su desarrollo y prosperidad económica. [1]

En el año 2023, el entorno operativo continúa presentando desafíos significativos. A nivel global, el aumento constante de la inflación y el costo de vida generan una situación compleja. En China, el mayor exportador mundial, la implementación de una política de cero COVID ha resultado en cierres y perturbaciones en la producción, la logística y las cadenas de suministro. Por otro lado, en Ucrania, un importante exportador de alimentos, los puertos del mar Negro han permanecido cerrados debido al estallido de la guerra en la región. El transporte marítimo también se ha visto interrumpido debido a protestas y huelgas en diferentes puertos alrededor del mundo, Estas situaciones se han registrado en países como Sudáfrica, República de Corea, Reino Unido y Alemania. [2] Además, fenómenos meteorológicos extremos como inundaciones, huracanes y olas de calor han dejado sentir su impacto en países como Australia, Brasil, Pakistán, África Oriental, Europa y Estados Unidos. Estos múltiples problemas están generando dificultades adicionales para las cadenas de suministro globales, la logística y, en consecuencia, para el comercio marítimo. Las interrupciones en la producción, el cierre de puertos y las acciones laborales están provocando retrasos en la entrega de mercancías y aumentos en los costos operativos. En este contexto, es crucial que las partes involucradas en el transporte marítimo y las cadenas de suministro adopten medidas de adaptación y busquen soluciones innovadoras para minimizar los impactos negativos. Una de las motivaciones para realizar este documento surge con el propósito de abordar los problemas mencionados anteriormente, con la convicción de que la automatización del sector marítimo puede brindar soluciones a las deficiencias actuales del sistema, mejorando notablemente tanto la eficiencia como la seguridad de la industria.

El comercio marítimo continúa siendo un componente vital de la economía global y desempeña un papel fundamental en la movilización de mercancías a nivel internacional. La capacidad de adaptación y la colaboración entre las partes interesadas serán fundamentales para superar las dificultades actuales y lograr un transporte marítimo eficiente y sostenible en el futuro.

## Objetivos

Este trabajo tiene como finalidad el desarrollo, la exposición y la defensa de que el futuro de la navegación pasa por la automatización de los buques, puertos y terminales de contenedores.

Los objetivos de este proyecto son:

- Presentar las características básicas que conceptualizan a un buque autónomo y analizar los diferentes grados de automatización por medio de estudios previos tales como artículos académicos, informes institucionales y características técnicas de los diseños de los diferentes proyectos, así como las perspectivas de futuro.
- Estudiar la contribución de los buques mercantes autónomos no tripulados y las debilidades del sistema.
- Decidir qué aspectos se deben tener en cuenta al empezar una navegación autónoma, cómo estos aspectos pueden ocasionar problemas y cómo se pueden resolver.
- Analizar la automatización de los equipos de amarre, de los puertos y de las terminales de contenedores.
- Presentar el diseño y funcionamiento de un centro de control en tierra donde se monitorizará la actividad del buque autónomo.
- Explicar las competencias necesarias para el futuro operador de los centros de control en tierra.
- Tratar cuestiones de ciberseguridad.
- Estudiar las consecuencias en la legislación marítima actual que implica la automatización de buques.
- Exponer las perspectivas de futuro de la automatización marítima.

## Organización del Proyecto

La organización de este estudio estará dividida en diferentes capítulos, donde se tratará en profundidad los diferentes objetivos expuestos.

En el capítulo 1 se definirá que es la automatización del sector marítimo, se presentaran las características básicas de un vehículo autónomo así mismo su trayectoria a lo largo de la historia y por ultimo los grados de automatización que existen en la actualidad.

En el capítulo 2 se debaten las aportaciones de la autonomía en el sector marítimo, del mismo modo las debilidades o los contras de implementarse.

En el capítulo 3 se explica como es el funcionamiento de un buque autónomo, se pone de manifiesto varias cuestiones relacionadas con estos, como los sistemas de posicionamiento y sensores, técnicas de control.

En el capítulo 4 se exponen varios proyectos, ensayos y pruebas realizadas sobre buques autónomos.

En el capítulo 5 se analiza la automatización de los sistemas de amarre, de los puertos y de las terminales de contenedores del mismo modo que el capítulo anterior se expondrán algunos proyectos.

En el capítulo 6 se presenta el diseño de un centro de control en tierra, explicando su compleja disposición y como este funciona, además se incluye un apartado donde se explica las futuras competencias necesarias que deberá tener los operadores de estos centros de control.

En el capítulo 7 se abordan las cuestiones de ciberseguridad, donde es crucial garantizar que los sistemas de control estén diseñados de manera segura y se implementen medidas de seguridad adecuadas.

En el capítulo 8 se estudia las legislaciones y reglamentos vigentes y como se esta se aplica a los actuales buques autónomos.

Por último, se extraen las conclusiones del trabajo y se incluye la bibliografía donde se encuentran todas las referencias del estudio realizado, así como el listado de figuras.

## Capítulo 1. Buque Autónomo

En el mundo de la navegación, hemos sido testigos de avances tecnológicos sin precedentes que han revolucionado la forma en que concebimos el transporte marítimo. Uno de los hitos más destacados en esta evolución es la aparición de los buques autónomos, embarcaciones dotadas de un sistema operativo que posee la capacidad de tomar decisiones y ejecutar acciones de manera autónoma. El término "buque autónomo" hace referencia a una embarcación que ha sido equipada con una tecnología vanguardista capaz de brindarle independencia en sus operaciones. A través de un sofisticado sistema operativo, estos buques adquieren la capacidad de analizar su entorno, evaluar variables y tomar decisiones en tiempo real sin intervención humana directa. [3]

### 1.1. Historia de la Automatización

A lo largo de la historia, la automatización ha desempeñado un papel fundamental en la evolución de la sociedad y la mejora de la eficiencia en diversas áreas. Sus raíces se remontan a siglos atrás, y es fascinante ver cómo ha evolucionado hasta llegar al estado actual de automatización en diferentes sectores clave como la industria, el transporte marítimo-aéreo y el ámbito doméstico. El punto de partida de esta revolución tecnológica se sitúa en el inicio del siglo XVIII, con la invención del telar de Jacquard. Este ingenioso dispositivo, creado por Joseph-Marie Jacquard, introdujo el uso de tarjetas perforadas para automatizar el proceso de tejido. Estas tarjetas contenían información codificada que permitía controlar los patrones y movimientos de las hebras, simplificando y acelerando drásticamente el trabajo de los tejedores. El telar de Jacquard sentó las bases para la automatización y se convirtió en el precursor de una era de transformación tecnológica. [4]

A medida que avanzaba el tiempo, los avances tecnológicos llevaron a la automatización a nuevos horizontes. En la industria, los sistemas automatizados comenzaron a reemplazar gradualmente las tareas realizadas por los trabajadores, agilizando los procesos de fabricación y aumentando la productividad. La implementación de maquinaria especializada y el desarrollo de sistemas de control permitieron la creación de líneas de ensamblaje automatizadas, reduciendo el tiempo y los costos de producción. Además, la automatización se extendió a otros sectores, como el marítimo-aéreo. La navegación y la aviación se beneficiaron de la introducción de sistemas de control automático, que mejoraron la precisión de la navegación y permitieron una mayor seguridad en los viajes. Los buques y aviones autónomos son ejemplos destacados de esta evolución, ya que son capaces de operar de manera independiente, tomando decisiones y ejecutando acciones sin la necesidad de intervención humana directa.

No podemos dejar de mencionar el impacto de la automatización en nuestras propias viviendas. Los hogares modernos se han convertido en espacios inteligentes, donde la tecnología automatizada está presente en diversas facetas de la vida diaria. Desde sistemas de seguridad y control de accesos hasta dispositivos domésticos inteligentes como termostatos, electrodomésticos y sistemas de iluminación, la automatización residencial ha proporcionado comodidad, eficiencia energética y mayor calidad de vida.

### **1.1.1. La automatización en el Sector Marítimo**

En el año 2018, una colaboración extraordinaria entre Rolls Royce e Intel dio lugar a un hito trascendental en la industria marítima: el nacimiento del Falco. Este ferry, aparentemente convencional, fue dotado de tecnología de inteligencia artificial que revolucionó por completo su funcionamiento. [5] Sin embargo, fue el 17 de mayo de 2022 cuando se dio a conocer una noticia que dejó al mundo maravillado: el primer gran barco había navegado 500 millas sin necesitar intervención humana alguna, cubriendo la ruta desde la bahía de Tokio hasta el puerto de Tsumatsusaka en la bahía de Ise. Este épico trayecto se extendió durante aproximadamente 40 horas. [6]

El logro obtenido por este barco autónomo marcó un punto de inflexión en la industria marítima y representó un salto significativo en la implementación de tecnologías de inteligencia artificial en la navegación. Gracias a los avances en el desarrollo de sistemas operativos inteligentes y sensores avanzados, el barco pudo tomar decisiones y ejecutar acciones de manera autónoma durante todo el viaje, adaptándose a las condiciones cambiantes del entorno marino. La travesía del Falco, que abarcó una distancia impresionante, demostró la confiabilidad y la eficiencia de la tecnología autónoma en el ámbito marítimo. Además de la notoriedad obtenida por este hito histórico, este logro planteó nuevas perspectivas en cuanto a la seguridad, la eficiencia y la sostenibilidad de la navegación, ya que los buques autónomos tienen el potencial de reducir los riesgos asociados con la tripulación humana y optimizar los recursos utilizados.

El éxito del trayecto del Falco inspiró a numerosos actores en la industria marítima y alentó aún más la investigación y el desarrollo de embarcaciones autónomas. Las posibilidades futuras son emocionantes, y se espera que la tecnología continúe evolucionando para mejorar la navegación marítima, aumentar la seguridad y potenciar la eficiencia en el transporte de carga y de pasajeros. [6]

## 1.2. Niveles de Autonomía

La Organización Marítima Internacional (OMI) [7] ha establecido diferentes grados de autonomía para clasificar los niveles de automatización en los buques. Estos grados ofrecen una guía clara sobre el nivel de intervención humana requerido en la operación de los buques. A continuación, se describen los diferentes grados de autonomía considerados por la OMI:

### **Grado nº1 Buque con procesos automatizados y apoyo en la toma de decisiones:**

En este nivel, los sistemas a bordo del buque están automatizados, lo que permite el funcionamiento y control automático de algunas operaciones. Sin embargo, la gente de mar sigue presente a bordo para supervisar y operar los sistemas y funciones del buque. Aunque algunas operaciones pueden llevarse a cabo sin supervisión, la tripulación está lista para tomar el control si es necesario.

**Grado nº2 Buque controlado a distancia con gente de mar a bordo:** En este grado de autonomía, el buque se controla y opera desde un lugar remoto, utilizando tecnologías de comunicación avanzadas. A pesar de que el buque está siendo controlado a distancia, hay gente de mar presente a bordo, lista para intervenir y operar los sistemas y funciones del buque en caso de ser necesario.

**Grado nº3 Buque controlado a distancia sin gente de mar a bordo:** En este nivel de autonomía, el buque se controla y opera desde un emplazamiento remoto, pero no hay tripulación presente a bordo. Todas las operaciones y funciones se llevan a cabo de forma remota, utilizando sistemas de control y comunicación avanzados. El control y la supervisión son realizados por personal ubicado en tierra o en centros de control especializados.

**Grado nº4 Buque totalmente autónomo:** En el grado más alto de autonomía, el buque es completamente autónomo en sus operaciones. El sistema operativo del buque tiene la capacidad de tomar decisiones y determinar acciones por sí mismo, sin necesidad de intervención humana directa. Estos buques están equipados con una variedad de sensores, sistemas de inteligencia artificial y algoritmos avanzados que les permiten navegar y operar de forma autónoma, adaptándose a las condiciones cambiantes del entorno. [8]

## Capítulo 2. Aportaciones e Inconvenientes de la Automatización del Sector Marítimo

La automatización del sector marítimo ofrece una serie de ventajas potenciales, pero también presenta una serie de desventajas importantes que deben ser consideradas. Por lo tanto, la adopción de buques autónomos dependerá de cómo se aborden y de cómo se manejen los desafíos que surjan en el camino. En las siguientes secciones se analizarán en profundidad tanto las ventajas como las desventajas de esta nueva tecnología emergente en el sector marítimo.

### 2.1 Aportaciones de la Automatización

La automatización en el sector marítimo tiene múltiples ventajas, como la **reducción de costos** gracias a la disminución del personal a bordo y la mejora de la eficiencia de los procesos. Además, la automatización también puede **mejorar la seguridad** al reducir el riesgo de accidentes marítimos causados por errores humanos y aumentar la capacidad de monitorear el buque. También se logra una **mayor eficiencia energética**, ya que los sistemas automatizados pueden optimizar el uso de combustible y reducir el consumo de energía en el transporte marítimo. Esto, a su vez, contribuye a la reducción de la huella de carbono en el sector marítimo. La **capacidad de operar en entornos peligrosos** es otra ventaja, ya que los buques autónomos pueden operar sin exponer a los tripulantes humanos a riesgos. A parte están diseñados para cumplir con los más altos estándares de seguridad y están equipados con sistemas de seguridad redundantes para garantizar que cualquier problema pueda ser abordado rápidamente. Además, la automatización puede **aumentar la productividad** al reducir el tiempo de inactividad del buque y permitir una mejor planificación de la ruta y la carga. Por último, los sistemas automatizados también pueden **mejorar la precisión de la navegación** del buque, lo que reduce el riesgo de accidentes. [9] [10]

Por supuesto, hay otras aportaciones de la automatización en el sector marítimo que no se mencionaron anteriormente, algunas de las cuales son la reducción de la necesidad de mantenimiento; dado que los sistemas de automatización monitorean de manera constante y precisa el rendimiento de los motores y otros componentes clave, lo que permite detectar posibles problemas antes de que se conviertan en fallas importantes que requieran mantenimiento costoso. Gracias a este sistema es posible detectar tempranamente riesgos y responder de manera inmediata y efectiva ante situaciones de peligro lo que nos permite mayor capacidad de detección, prevención de incendios y otras emergencias. Además, la programación de mantenimiento preventivo se puede ajustar según la disponibilidad del buque

y el itinerario de navegación, lo que reduce el tiempo de inactividad no planificado y aumenta la eficiencia de la operación. La capacidad de comunicación a bordo que permite coordinar con otros buques y otros centros de control en tierra nos posibilita una mayor flexibilidad en la programación de los servicios y rutas adecuadas al calendario de llegadas y salidas según las necesidades del servicio. Cabe destacar también que la disminución de la necesidad de personal a bordo posibilita mejorar las condiciones de vida y trabajo de la tripulación, lo que conlleva a una mayor satisfacción laboral y personal. La automatización de tareas repetitivas y monótonas que permite que la tripulación se enfoque en tareas críticas y en la toma de decisiones permite la reducción de la fatiga y el estrés en la tripulación humana. Los buques autónomos, a su vez, cuentan con mayor capacidad para operar en condiciones climáticas extremas debido a la posibilidad de ajustar la velocidad, dirección y otras variables de navegación en tiempo real mediante sistemas avanzados de monitoreo y control. Además, la ausencia de tripulación humana durante situaciones de riesgo permite tomar decisiones más rápidas y seguras para la navegación, reduciendo los riesgos tanto para la tripulación como para la carga. Además, la implementación de tecnologías avanzadas de control logra una reducción significativa en el tiempo de tránsito y un aumento en la capacidad de carga. Estos sistemas permiten una navegación más precisa y eficiente, lo que a su vez disminuye los tiempos de espera en puertos y maximiza la capacidad de carga disponible. Por último, hay que mencionar que este tipo de buques disponen de una mayor capacidad para realizar operaciones de salvamento y rescate. [11] Gracias, otra vez, a los sistemas de monitoreo y control, se puede detectar tempranamente situaciones de peligro, lo que aumenta significativamente la probabilidad de un rescate exitoso.

Durante tres años, MUNIN (Navegación Marítima No Tripulada a través de Inteligencia en Redes) llevó a cabo un proyecto de investigación que predijo un ahorro significativo en el consumo de combustible, suministros y salarios de tripulación para las embarcaciones autónomas. Se estima que, durante un período de 25 años, el ahorro podría superar los \$7 millones por embarcación autónoma. Este resultado se logra gracias a la eficiencia en la operación de los buques autónomos, que no requieren de tripulación y están diseñados para maximizar la economía de combustible y minimizar los costos de mantenimiento. Estas predicciones prometen un gran futuro para la navegación marítima autónoma, tanto en términos de eficiencia económica como de sostenibilidad ambiental. [9]

## 2.2 Inconvenientes de la Automatización

La autonomía en el sector marítimo ofrece muchos beneficios, sin embargo, también existen desventajas a considerar. El **costo inicial** de implementar la tecnología de autonomía

en un buque es alto y puede ser una barrera para que algunas empresas puedan adoptarla. Además, la tecnología de autonomía requiere de un mantenimiento constante y actualizaciones para garantizar su eficacia, lo que también representa un costo adicional, otro inconveniente es la **posible pérdida de empleos**. Aunque esto podría disminuir los costos laborales, también tendría un impacto negativo en los trabajadores. Otra posible desventaja es la **falta de experiencia** de algunos marineros en la navegación autónoma, dado que es un campo relativamente nuevo, algunos marineros pueden no tener la experiencia necesaria para manejar un buque autónomo en caso de emergencia, esta falta de experiencia podría representar un problema en situaciones en las que se requiere la navegación manual del buque. También otro factor a tener en consideración es la **dependencia completa de la tecnología** lo que significa que cualquier problema técnico o falla en el sistema sería capaz de dar lugar a una pérdida total del control del buque que podría resultar en situaciones peligrosas en el mar y, por último, la **vulnerabilidad a ataques cibernéticos** donde los sistemas autónomos están conectados a Internet y pueden ser vulnerables a dichos ataques. Si un buque autónomo es pirateado, puede resultar en pérdidas materiales y humanas significativas.

Es importante abordar estos problemas potenciales antes de implementar la autonomía en el sector marítimo. La automatización implica que muchas de las tareas que antes requerían habilidades y conocimientos especializados ahora se realizan mediante sistemas automatizados, lo que podría resultar en la **pérdida de habilidades y conocimientos tradicionales de la navegación y el transporte marítimo**. Esta reducción en la necesidad de personal con experiencia y conocimientos específicos en la operación de los buques y en la gestión de la carga puede tener consecuencias negativas a largo plazo, como la disminución en la transmisión de habilidades y conocimientos tradicionales a las generaciones futuras. Por tanto, es importante preservar estas habilidades y conocimientos, incluso en un entorno cada vez más automatizado.

Otro problema potencial es la **incertidumbre regulatoria** en algunos aspectos de la automatización marítima. La implementación de nuevas tecnologías y sistemas automatizados puede dificultar a los reguladores y organismos de control mantenerse actualizados. Esto puede generar preguntas acerca de la responsabilidad en caso de errores o accidentes. Para garantizar la seguridad y eficiencia de la automatización en el sector marítimo, es crucial que los reguladores y las partes interesadas trabajen en conjunto para desarrollar un marco regulatorio claro y actualizado que fomente la innovación y la implementación segura.

Además, la implementación de la tecnología de automatización requiere una **inversión constante en investigación y desarrollo** para mantenerse al día con la tecnología. Esto se debe a que la tecnología puede volverse obsoleta rápidamente, lo que implica que las empresas deben seguir invirtiendo para mantener su competitividad frente a sus rivales. Asimismo, se necesita un **mayor control y supervisión para garantizar la seguridad** y la eficiencia de la automatización, ya que la falta de supervisión adecuada puede dar lugar a fallos en los sistemas, errores humanos y problemas de seguridad. [10]

Los sistemas automatizados pueden mejorar la eficiencia y reducir los costos a largo plazo, pero también pueden generar un **aumento en el costo de mantenimiento y reparación**. A pesar de sus beneficios, la tecnología automatizada también puede tener un posible impacto ambiental debido a la eliminación de los residuos electrónicos generados.

Otro aspecto por considerar es la posibilidad de **error humano en la programación y supervisión** de los sistemas. Por lo tanto, es crucial que los operadores estén debidamente capacitados y que se implementen medidas de control para minimizar el riesgo de errores humanos.

Finalmente, existe un **riesgo de interrupción del servicio** debido a fallas técnicas, ya sea por fallos técnicos en los sistemas automatizados, problemas en el suministro de energía o problemas de conexión a la red.

## Capítulo 3. Funcionamiento de un Buque Autónomo, Situaciones Complejas y Soluciones.

### 3.1. Funcionamiento Básico de un MASS

El funcionamiento básico de un Marine Autonomous Surface Ship (MASS) se basa en la integración de sistemas y tecnologías avanzadas que permiten su operación autónoma. A continuación, se describe el proceso general del funcionamiento de un MASS:

**Sensores y percepción del entorno:** El MASS está equipado con una variedad de sensores, como radares, cámaras, sistemas de posicionamiento global (GPS), lidar y sistemas de detección de obstáculos. Estos sensores recopilan información sobre el entorno del buque, incluyendo la posición, la velocidad, la dirección del viento, las condiciones climáticas, la presencia de otros buques y obstáculos, entre otros.

**Procesamiento y toma de decisiones:** Los datos recopilados por los sensores se procesan en tiempo real utilizando algoritmos y sistemas de inteligencia artificial a bordo del MASS. Estos algoritmos analizan e interpretan la información del entorno para tomar decisiones sobre la navegación, la evitación de colisiones, la ruta óptima y otras acciones necesarias durante el viaje.

**Control y actuación:** Basado en las decisiones tomadas por los algoritmos, el MASS controla los sistemas de propulsión, dirección y otros sistemas a bordo para llevar a cabo las acciones necesarias. Esto incluye el control de motores, el ajuste de la velocidad, el cambio de rumbo, la comunicación con otros buques y la navegación en general.

**Monitoreo y supervisión:** Durante todo el proceso, el MASS realiza un monitoreo continuo de su rendimiento y del entorno circundante. Los sistemas a bordo supervisan los sistemas críticos, como la energía, la navegación y la comunicación, y realizan ajustes o alertan a los operadores humanos en caso de anomalías o situaciones de riesgo.

Es importante destacar que, dependiendo del grado de autonomía del MASS, puede haber diferentes niveles de intervención humana como ya se ha mencionado. En los grados más bajos, la tripulación está presente a bordo para supervisar y operar los sistemas, mientras que, en los grados más altos, opera completamente sin intervención humana. [12]

### 3.2. Sistemas de Posicionamiento y Sensores Empleados

En los buques autónomos, los sistemas de posicionamiento desempeñan un papel fundamental para garantizar la navegación precisa y segura. Estos sistemas están

compuestos por una variedad de componentes que incluyen sistemas satelitales, sistemas electromecánicos y sistemas basados en ondas rada, todos ellos conectados a equipos esenciales como el compás magnético y la giroscópica. Para determinar su ubicación exacta, el buque utiliza sistemas satelitales como el Differential Global Positioning System (DGPS). Este sistema utiliza señales de satélite para calcular la posición con una mayor precisión que el GPS convencional. Además, se utilizan sistemas electromecánicos como el Tautwire, que mide la tensión de un cable para determinar la posición y el movimiento del buque.

Para tener conocimiento de su entorno cercano, el buque cuenta con una serie de sensores distribuidos en la proa, las bandas y la popa. Estos sensores, de diversos tipos, permiten diferenciar entre objetos de metal, objetos de plástico e incluso fauna marina. Estos sensores son esenciales para evitar colisiones y asegurar la navegación segura del buque. Además de los sistemas de posicionamiento y los sensores, el buque también utiliza el compás magnético y la giroscópica para obtener información sobre su orientación y movimiento. El compás magnético proporciona una referencia de la dirección norte, mientras que la giroscópica mide los cambios en la orientación del buque.

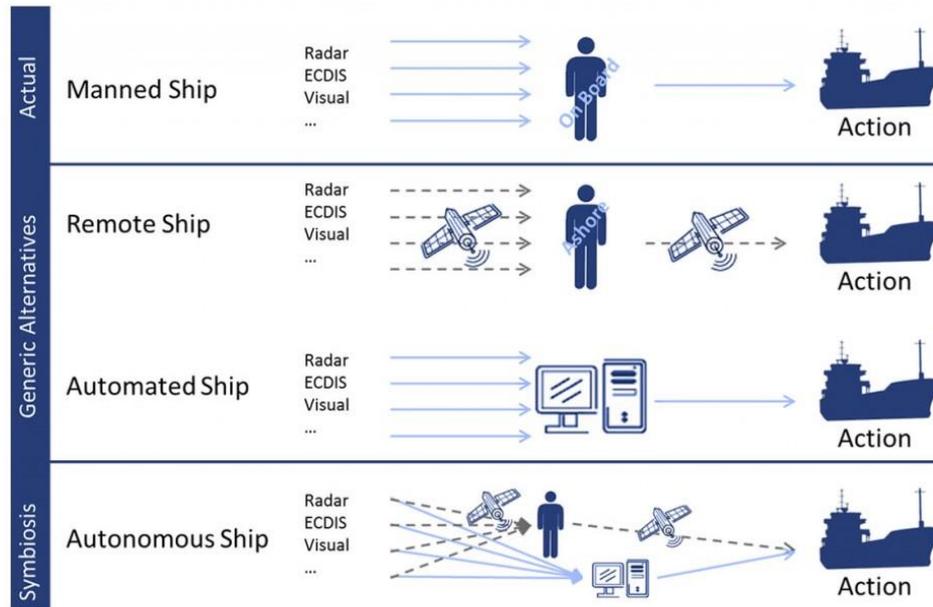
En conjunto, todos estos sistemas y equipos permiten al buque autónomo determinar su posición con precisión, así como monitorear su entorno cercano para evitar obstáculos y mantener una navegación segura. La combinación de sistemas satelitales, sistemas electromecánicos, sensores y equipos de orientación proporciona al buque la capacidad de adaptarse a las condiciones cambiantes y tomar decisiones autónomas en su trayectoria de navegación. [12]

### **3.3. Modelo de Control para la Navegación Autónoma de MUNIN**

El proyecto MUNIN, conocido como Navegación Marítima No Tripulada a través de Inteligencia en Redes, lanzado en 2012 y finalizado en 2015, es una colaboración de investigación financiada por la Comisión Europea en el marco de su Séptimo Programa. El objetivo principal de MUNIN es desarrollar y validar un concepto de barco autónomo. [13] En este contexto, se define un barco autónomo como aquel que es principalmente dirigido por sistemas de decisión automatizados a bordo, pero controlado por un operador remoto desde una estación de control en tierra.

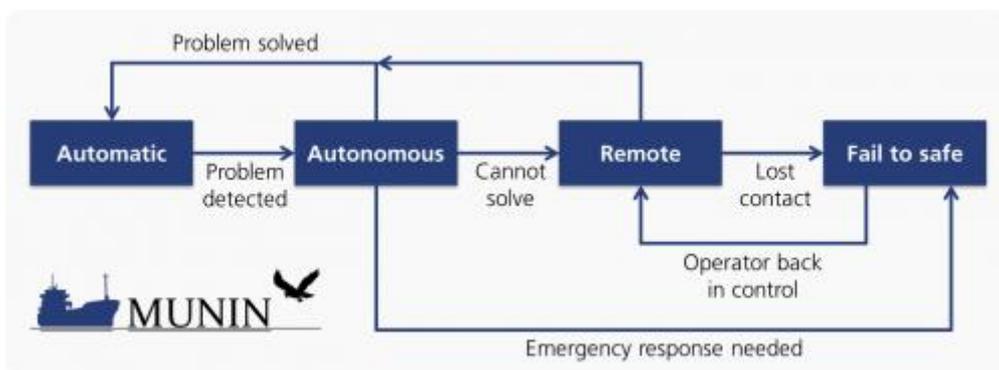
*“Los sistemas de control modular y la tecnología de comunicaciones de próxima generación permitirán funciones de control y monitoreo inalámbricos tanto dentro como fuera del vehículo. Estos incluirán sistemas avanzados de soporte de decisiones para proporcionar la capacidad de operar barcos de forma remota bajo control semi o totalmente autónomo.”*  
[14] (Waterborne TP).

Esta descripción implica la combinación de dos alternativas genéricas en un barco autónomo. Por un lado, está el concepto de barco remoto, donde las tareas de operación se llevan a cabo mediante un mecanismo de control remoto, como la intervención de un operador humano en tierra. Por otro lado, se encuentra el concepto de barco automatizado, en el cual los sistemas avanzados de soporte de decisiones a bordo toman todas las decisiones operativas de forma independiente, prescindiendo de la intervención de un operador humano.



**Ilustración 1.** La Nave Autónoma, tal y como se entiende en el proyecto MUNIN Fuente: <http://www.unmanned-ship.org/munin/about/the-autonomus-ship/>

MUNIN busca integrar de manera global ambas alternativas genéricas, centrándose en desarrollar y validar una combinación adecuada de tecnología remota y automatizada para barcos. La tarea principal consiste en implementar un sistema de decisiones a bordo, cuyo enfoque puede ser ilustrado como se muestra en la figura siguiente.



**Ilustración 2.** Sistema de decisiones Fuente: <http://www.unmanned-ship.org/munin/about/the-autonomus-ship/>

El enfoque típico de MUNIN se basa en funciones de control automáticas y altamente deterministas para operar la embarcación. No obstante, será necesario contar con diversos sistemas de sensores para detectar situaciones problemáticas, como la presencia de objetos inesperados en el mar, condiciones climáticas peligrosas o riesgo de colisión. Ante una situación imprevista, se activará un módulo de control autónomo para intentar resolver la situación dentro de sus limitaciones preestablecidas. En caso de que el sistema no pueda lograrlo, se solicitará asistencia a un operador remoto o se iniciará un procedimiento de seguridad si el operador no está disponible. Si se implementa correctamente, esta autonomía permitirá reducir la necesidad de supervisión humana, manteniendo al mismo tiempo un alto nivel de seguridad bien definido. No obstante, uno de los principales desafíos consistirá en diseñar sistemas de sensores que puedan detectar de manera confiable todas las situaciones peligrosas relevantes y actuar en consecuencia. [14]

## Capítulo 4. Proyectos y Ensayos.

### Proyectos:

En el año 2021, el (CONP) Colegio Oficial Nacional de Prácticos y la Federación de Prácticos de Puerto de España decidieron ambos de manera conjunta crear un grupo de trabajo sobre las nuevas tecnologías. Y para ello realizar un seguimiento exhaustivo de los avances y experiencias sobre buques autónomos del sector marítimo, conocidos en la jerga internacional como MASS (Maritime Autonomous Surface Ships).

Los prácticos José L.S. y Raúl S. acompañados de la ingeniera de sistemas Ana P, trabajadora de la empresa Navantia, presentaron un informe en las Jornadas de seguridad y practica que se celebraron en Cádiz de ese mismo año.

En el iniciaron la exposición mediante la siguiente declaración:

*“Se dice que los buques autónomos o también llamados MASS van a contribuir a mejorar de manera significativa la eficiencia y la seguridad de todo el transporte marítimo; pero en principio lo más importante que se debe conseguir realmente es que un buque autónomo reúna como mínimo las mismas condiciones de seguridad que una embarcación tripulada.” [15]*

A continuación de dicha declaración mostraron los cuatro proyectos de buques autónomos más avanzados actualmente y de los que se dispone información de manera pública. Aparte de estos cuatro proyectos también mencionaron que existe un quinto proyecto, pero del cual no se dispone información alguna ya que se trata de un proyecto realizado por el gobierno del régimen chino y no han hecho pública la información ni tampoco ha habido filtraciones. De dos de los cuatro proyectos que si se conocen y se tiene información el MAYFLOWER de la empresa IBM y el VENDAVAL de la empresa navantia se ocuparon de investigarlos y documentarlos en NAUCHERGlobal. Los otros dos proyectos restantes son realizados en el norte de Europa concretamente en Finlandia el llamado FALCO y en Noruega el llamado YARA BIRKELAND, ambos fueron los primeros en estar operativos, pero son menos conocidos. [15]

- **EI FALCO**, el proyecto finlandés de la naviera Finferries, tiene 52 metros de eslora y 12 metros de manga, con un peso muerto de 127 toneladas.



*Ilustración 3. Falco. Fuente: <https://www.theengineer.co.uk/content/news/falco-makes-worlds-first-autonomous-ferry-crossing/>*

- **YARA BIRKELAND**, el proyecto noruego de 80 metros de eslora, 13 metros de manga y 3120 toneladas de peso muerto, carece de escotillas, de tanques de lastre y de habilitación.



*Ilustración 4. Yara Birkeland. Fuente: <https://www.yara.com/news-and-media/media-library/press-kits/yara-birkeland-press-kit/>*

Cabe indicar que ambos realizan navegaciones cortas con uno o dos tripulantes como mucho, o sin personal a bordo, en aguas del mar Báltico y de la costa noruega. También son

tele gobernados desde tierra mediante un operador que esta al cargo de los mandos de un potente ordenador conectado con los barcos.

- **EI MAYFLOWER** constituye sobre el papel el proyecto más ambicioso respecto a los ya nombrados: Un buque dirigido por un sistema de inteligencia artificial, algo novedoso y con más de 30 tipos de sensores a bordo, 6 cámaras, motor eléctrico alimentado por energía solar, en compromiso por las energías limpias y sofisticados equipos de navegación conectados con el sistema de software informático. Sin embargo, la experiencia real experimentada demostró las debilidades del proyecto. Ya que el buque Mayflower intentó cruzar el Atlántico entre Plymouth, en la costa sur de Gran Bretaña, y Plymouth, en la costa Este de los Estados Unidos, pero la experiencia tuvo que ser suspendida tras tres días por la rotura de un acople mecánico del generador, que le impedía al buque navegar al 100% de potencia de manera continua. Navegó alrededor de unas 450 millas a una velocidad media de 7 nudos velocidad muy baja, demostrando su empero, su capacidad de evitar situaciones de peligro con el tráfico existente. Por otro lado, la empresa NAUCHERglobal ha solicitado a IBM una entrevista con el que llamamos capitán que no es más que la AI (Artificial Intelligence), que esperan poder realizar próximamente en el futuro. [15]



*Ilustración 5. Mayflower Winter 2022 Sea Trials. Fuente: <https://newsroom.ibm.com/then-and-now?item=33335>*

- El buque **VENDAVAL**, fue comprado por la Autoridad Portuaria de Ceuta, constituye una de las primeras muestras, fue presentado como embarcaciones para aguas abrigadas, teledirigidos, de igual manera puede también armarse como buques

autónomos, con la misión de vigilar la seguridad y la contaminación del medio marino. De manera eventual, pueden llevar a cabo también diferentes labores como son las de salvamento y apoyo al mantenimiento de infraestructuras portuarias. [15]



**Ilustración 6.** VENDAVAL. Fuente:

[https://www.navyrecognition.com/images/stories/news/2019/december/Navantia\\_Successfully\\_integrates\\_the\\_systems\\_of\\_Spain's\\_First\\_Autonomous\\_Vessel\\_925\\_001.jpg](https://www.navyrecognition.com/images/stories/news/2019/december/Navantia_Successfully_integrates_the_systems_of_Spain's_First_Autonomous_Vessel_925_001.jpg)

### **Ensayos:**

La compañía naviera NYK ha llevado a cabo las primeras pruebas de buques de superficie autónoma marítima del mundo realizada de acuerdo con las Directrices provisionales de la OMI para este tipo de pruebas MASS. Esta compañía comienza las pruebas para alcanzar su objetivo de buques autónomos tripulados para realizar operaciones más seguras y una reducción en la carga de trabajo de la tripulación de los buques. [16]

El buque Iris Leader, un PCTC de gran tamaño operado por la compañía NYK, completó exitosamente un viaje utilizando el sistema de navegación Sherpa System for Real Ship (SSR). Durante el período del 14 al 17 de septiembre, navegó desde Xinsha, China, hasta el puerto de Nagoya, Japón, y luego del puerto de Nagoya al puerto de Yokohama, Japón, del 19 al 20 de septiembre. Durante estos trayectos, la tripulación llevó a cabo tareas típicas de navegación, excluyendo las bahías, pero incluyendo el área costera de Japón.

Durante la prueba, el SSR demostró su rendimiento en condiciones reales del mar al recopilar información ambiental y calcular el riesgo de colisión. Además, determinó de manera automática rutas y velocidades óptimas que garantizaban la seguridad y la eficiencia,

permitiendo así la navegación automática del buque. Esta prueba fue fundamental para NYK, ya que les brindó datos y experiencia valiosos que no se pueden obtener mediante simulaciones en tierra, asegurando la viabilidad del SSR y su contribución a operaciones seguras y óptimas. Además, fue un gran avance en el objetivo de NYK de desarrollar barcos autónomos tripulados. [16]



**Ilustración 7.** Iris Leader. Fuente: <https://www.anave.es/prensa/archivo-noticias/2229-nyk-lleva-a-cabo-una-prueba-real-de-navegacion-autonoma-en-un-car-carrier>

Basándose en los resultados obtenidos, NYK analizará los datos y seguirá mejorando el SSR para convertirlo en un sistema de soporte de navegación más avanzado. Se realizarán ajustes para lograr una mayor precisión y concordancia entre las rutas óptimas derivadas por el programa y las determinadas por la experiencia y juicio humano profesional.

El SSR, verificado a través de esta prueba exitosa, también se aplicará en futuros barcos costeros, que actualmente enfrentan una grave escasez de tripulación. Se espera que el SSR se convierta en una tecnología fundamental para la navegación remota y no tripulada, abordando los desafíos sociales y contribuyendo al cumplimiento de la misión de NYK de "Aportar valor a la vida".

El sistema de navegación Sherpa System for Real Ship (SSR) permite la navegación óptima de una embarcación teniendo en cuenta las condiciones ambientales y la experiencia de capitanes experimentados. Esta tecnología se ha demostrado exitosamente en el buque Iris Leader, allanando el camino hacia la implementación de barcos autónomos tripulados y brindando soluciones a los desafíos actuales en la industria marítima. [16]

## Capítulo 5. Puertos inteligentes y automatización de los sistemas de amarre y las terminales de contenedores.

A medida que los puertos de todo el mundo continúan creciendo y aumentando su capacidad, la automatización de los sistemas de amarre y las terminales de contenedores se está convirtiendo en una herramienta valiosa para mantenerse competitivos en el mercado global.

El concepto de "Smart Ports" o "Puertos Inteligentes" se refiere a aquellos puertos que hacen uso de la tecnología para modernizar y mejorar el transporte marítimo, logrando así una optimización de sus procesos y servicios portuarios. [17] El objetivo principal es lograr la máxima eficiencia y satisfacer las necesidades de los clientes y usuarios. En el contexto global actual, estos puertos se enfocan en aumentar la eficacia, seguridad y protección del medio ambiente al utilizar los recursos de manera óptima en cada operación logística. Se ha señalado que solo aquellos puertos que se adapten a los cambios tecnológicos podrán seguir funcionando en el futuro, cumpliendo con la creciente demanda de productividad, compromiso ecológico y costos accesibles.

Sin embargo, debido a la amplia gama de medidas tecnológicas disponibles para optimizar la gestión portuaria, los Smart Ports se consideran una estrategia e inversión a largo plazo. Estas medidas pueden incluir la implementación de cámaras de seguridad para registrar el tráfico interno en las entradas y salidas del puerto, así como la instalación de sistemas de pronóstico y alertas de condiciones climáticas adversas. Estas soluciones optimizarán la gestión de productos, los servicios portuarios y el transporte marítimo en general. [17]

En España, varios puertos han adoptado el concepto de Smart Ports y están implementando soluciones innovadoras para mejorar sus operaciones. Algunos ejemplos destacados son:

**El puerto de Barcelona** se destaca por su enfoque en la innovación logística a través del programa Port Challenge. El objetivo es mejorar la cadena de suministro, la gestión de la carga y descarga de mercancías, y optimizar los procesos operativos del puerto.

**El puerto de Vigo**, que se enfoca en la eficiencia energética y la monitorización de los atraques mediante el sistema Smart Viport. Este puerto busca reducir su huella ambiental y optimizar el consumo de energía.

**El puerto de Sevilla**, a través del proyecto Tecnoport está trabajando en la optimización del tráfico de buques. Mediante el uso de tecnologías avanzadas, como sensores

y sistemas de gestión de tráfico marítimo, se busca agilizar los procesos de entrada y salida de buques, mejorar la planificación y minimizar los tiempos de espera.

Estos puertos españoles son ejemplos de cómo la implementación de conceptos de Smart Ports puede generar mejoras significativas en términos de eficiencia, sostenibilidad y competitividad

### 5.1. Los sistemas de amarre automáticos

Los amarres son una parte esencial de las operaciones portuarias. Tradicionalmente, el amarre de los buques ha requerido la intervención de personal y equipos especializados para garantizar la seguridad y estabilidad de las embarcaciones. Sin embargo, con los avances tecnológicos y la búsqueda de mayor eficiencia, han surgido los amarres autónomos en los puertos.

**Sistema de amarre por vacío (Cavotec):** El sistema de amarre por vacío automático no requiere de ninguna instalación específica en los buques. Este sistema se encuentra retráctil, permaneciendo oculto detrás de la línea de defensas para evitar posibles impactos durante la maniobra de atraque. Una vez que el buque se encuentra en posición, una ventosa con una estructura se extiende hacia el buque y se une mediante el vacío a las planchas del casco, las cuales deben ser planas para lograr una unión efectiva. Este innovador sistema elimina la necesidad de utilizar estachas, lo que reduce significativamente los riesgos de accidentes. Al utilizar el sistema de amarre por vacío, se previenen estos riesgos. Además, este sistema permite pequeños movimientos verticales y horizontales para una ligera escora, brindando mayor flexibilidad y seguridad durante las operaciones portuarias.

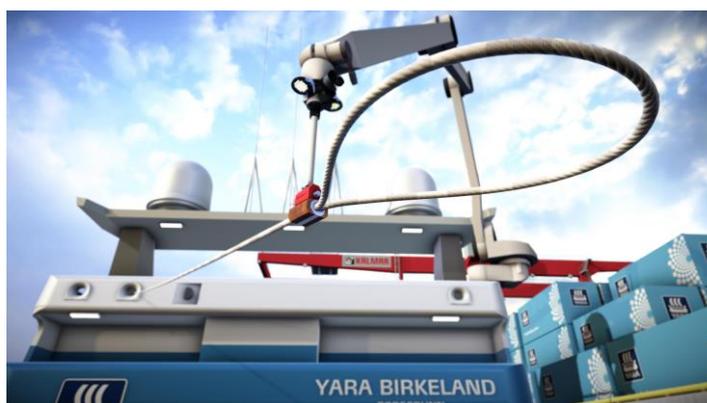


**Ilustración 8.** Sistema de amarre por vacío. Fuente: [www.cavotec.com](http://www.cavotec.com)

El sistema de amarre por vacío automático es una solución eficiente y segura que mejora las operaciones de atraque y minimiza los riesgos asociados con el amarre tradicional. Su diseño retráctil, la eliminación de estachas y la capacidad de adaptación a los movimientos del buque lo convierten en una opción innovadora y confiable en la industria marítima. [18]

#### **Sistema de amarre automatizado con cable (MacGregor):**

MacGregor ha desarrollado una solución de amarre innovadora que permitirá al buque portacontenedores autónomo Yara Birkeland llevar a cabo operaciones de amarre sin necesidad de intervención humana. Este sistema revolucionario, completamente eléctrico, ofrece mejoras significativas en términos de seguridad y eficiencia ecológica en comparación con los métodos tradicionales de amarre. El núcleo de este sistema es un brazo robótico de siete ejes que se encarga de tomar las amarras con lazos y enrollarlas alrededor de los bolardos en el muelle. Con un impresionante alcance de 21 metros, este brazo robótico fue desarrollado como parte de un proyecto de investigación en colaboración con la Universidad de Agder y financiado por el Consejo de Investigación de Noruega. El sistema de amarre cuenta con una cinemática redundante, incorpora compensación de movimiento y realiza una planificación de trayectoria precisa. La posición de la embarcación en relación con el muelle se comunica al brazo robótico, permitiéndole identificar la ubicación de cada bolardo. El sistema de control automáticamente genera la planificación de la ruta requerida. Una vez que el lazo se coloca correctamente alrededor del bolardo, los cabrestantes controlados por carga mantienen la embarcación en la posición adecuada contra el muelle, garantizando un amarre seguro y estable. [19]



**Ilustración 9.** Sistema de amarre automatizado con cable (MacGregor) Fuente:

<https://www.macgregor.com/intelligent-solutions/automated-mooring-system/>

**Sistema de amarre magnético (Mampaey):** Similar al sistema de amarre por vacío Mampaey ha desarrollado un innovador sistema conocido como docklock, el cual utiliza placas magnéticas. Este sistema automatizado tiene la capacidad de detectar el casco del barco y posicionarse sin necesidad de la intervención de operarios portuarios. La implementación de

este sistema ofrece numerosas ventajas, entre ellas, la realización de procedimientos de amarre más rápidos y seguros. Además, se monitorean y controlan en tiempo real, lo que garantiza un seguimiento preciso de su funcionamiento. Asimismo, el sistema está diseñado para resistir los movimientos y fuerzas más adversas generadas por factores externos, como los movimientos internos de los barcos, el viento y las corrientes. Gracias a esta tecnología de vanguardia, Mampeay ha logrado desarrollar una solución que optimiza significativamente los procesos de amarre en los puertos, proporcionando una mayor eficiencia y confiabilidad en el movimiento y seguridad de las embarcaciones. [20]

**Sistema de amarre mediante vagón (TTS Group):** Este sistema se compone de un brazo metálico que se extiende y engancha en una bita ubicada en el costado del buque. Sin embargo, una de las limitaciones de este sistema es la necesidad de modificar cada buque para su implementación, ya que todos los buques deben contar con áreas huecas en su costado que alberguen una o varias bitas específicas para el sistema. Una vez que el buque se encuentra en su posición adecuada, el brazo se dirige a la posición preestablecida y se une a la bita correspondiente. Este sistema también puede ser accionado manualmente con la ayuda de un operario de la terminal portuaria, quien se encargaría de realizar la unión con la bita utilizando un joystick. Otro inconveniente de este sistema es su limitado movimiento vertical, ya que no permite movimientos horizontales. Esto implica que los vagones de la terminal portuaria deben tener una distancia entre ellos igual a la separación de las bitas en el costado del buque, lo cual puede resultar difícil de lograr en buques con características diferentes.

Al igual que los sistemas anteriores, este sistema tiene la capacidad de monitorear en tiempo real la carga en los diferentes puntos de amarre. Sin embargo, es importante tener en cuenta estas limitaciones y considerar cuidadosamente la adecuación del sistema a las características específicas de cada buque y terminal portuaria. [21]

## 5.2. Terminales de Contenedores

Las terminales de portacontenedores automáticas se caracterizan por la eliminación o reducción significativa de la intervención humana en los procesos portuarios. En lugar de depender en gran medida de la mano de obra, estos puertos aprovechan la integración de sistemas operativos y software especializados para controlar y supervisar el movimiento y almacenamiento de la carga de manera eficiente. La implementación de terminales de portacontenedores automáticas ofrece numerosos beneficios. En primer lugar, permite una mayor eficiencia operativa al reducir los tiempos de espera y acelerar los procesos de carga

y descarga. Además, al minimizar la intervención humana, se reducen los errores y aumenta la precisión en las operaciones portuarias

La gestión del movimiento y almacenamiento de la carga en el interior de la terminal se realiza a través de un sistema operativo que proporcionan datos en tiempo real, lo que facilita la toma de decisiones precisas. El Sistema de Control de Equipos (ECS), basado en algoritmos heurísticos, desempeña un papel fundamental en la automatización al garantizar el máximo aprovechamiento del equipo en términos de su capacidad operativa.

Esta automatización no se limita únicamente al sistema principal de carga y descarga de buques. También se han automatizado procesos y subsistemas que tradicionalmente se consideraban manuales. Algunos de ellos incluyen:

- **Sistema de Ingreso:** automatización de los procedimientos de ingreso de contenedores a través de las puertas de entrada de la terminal, que abarca la identificación de vehículos y contenedores, etiquetado y pesaje.
- **Sistema de detección en operaciones de carga y descarga:** registro de estado de daños, números de contenedores, posición durante el traslado entre la terminal y el barco y etiquetado.
- **Automatización en la colocación y extracción de pestillos de anclaje en los contenedores.**
- **Monitoreo de contenedores frigoríficos.**

Estas tecnologías automatizadas contribuyen a mejorar la eficiencia, precisión y seguridad en las operaciones portuarias. [22]

## Capítulo 6. Centros de Control en Tierra

La sala de control es el centro neurálgico desde donde se supervisa y controla la operación del buque sin la necesidad de estar a bordo. Esta sala está equipada con tecnología de vanguardia y sistemas avanzados que permiten a los operadores monitorear y controlar todas las funciones del buque de manera remota.

Actualmente, existe un laboratorio experimental que recrea uno de los posibles diseños de un centro de control con el propósito de investigar y probar diferentes configuraciones y tecnologías para el control de buques autónomos. Este proyecto fue desarrollado por la Universidad Noruega de Ciencia y Tecnología (NTNU), específicamente por el Departamento de Diseño, el Departamento de Cibernética de Ingeniería y el Departamento de Sistemas Electrónicos. En su artículo "**NTNU Shore Control Lab: Diseñando centros de control en tierra en la era de los buques autónomos**", [23] el texto narra cómo se diseñó el centro de control y con la colaboración de dos pequeños buques autónomos llamados milliAmpere (en adelante referido como milliAmpere1) y su homólogo milliAmpere2 hicieron posible este proyecto. Estos buques son transbordadores urbanos autónomos completamente eléctricos, equipados con sensores avanzados y equipos de navegación autónoma. Su función es proporcionar los datos necesarios que permiten a los operadores tener una percepción y concepción más amplia de la situación.

La sala de control ha sido diseñada para permitir que los operadores (actualmente dos) monitoreen o controlen los buques autónomos. Además, se ha concebido con flexibilidad, lo que la convierte en un entorno ideal para diferentes configuraciones y experimentos que puedan surgir en función de las necesidades. En la pared frontal y en el techo se ha instalado un sistema de rejilla rígida que facilita el montaje o reconfiguración de manera sencilla de equipos como pantallas, cámaras, teléfonos micro, entre otros. Se ha prestado especial atención al diseño de la iluminación, acústica y refrigeración de la sala con el fin de mejorar el entorno de trabajo.

La configuración actual de la sala de control incluye dos estaciones de operador, cada una equipada con una pantalla curva de 49 pulgadas. En la pared frontal se han colocado dos pantallas táctiles de 75 pulgadas en un soporte ajustable en altura, lo que permite adaptar su posición tanto para ser visualizadas a distancia como para su funcionamiento táctil. Los operadores disponen de dispositivos de entrada necesarios, un micrófono y auriculares para establecer comunicación con la tripulación o pasajeros a bordo del buque autónomo, otros buques, autoridades portuarias o el investigador en la estación del instructor. Cada señal de cámara o pantalla de computadora puede ser enviada a cualquier pantalla en cualquiera de las salas del laboratorio, lo cual añade flexibilidad a la infraestructura.



**Ilustración 10.** Fotografía que muestra la sala de control y a los operarios trabajando. Fuente: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2311/1/012030>

En la Ilustración 10 se pueden identificar los siguientes elementos en la sala de control: (1) una rejilla que brinda mayor flexibilidad, (2) cámaras, (3) dos pantallas táctiles ajustables en altura, (4-5) estaciones de operador, (6) panel de control, (7) micrófonos y altavoces, (8) vista a la sala de observación y (9) equipo técnico. [23]

### **6.1. El papel del Operador en un Centro de Control en Tierra**

El operador del centro de control en tierra de un buque autónomo desempeña un papel fundamental en la supervisión y vigilancia de la embarcación mediante el uso de sistemas electrónicos y cámaras de circuito cerrado de televisión (CCTV) ubicadas tanto en el interior como en el exterior del barco. Su principal función es garantizar el control efectivo del buque y anticiparse a posibles fallos o anomalías.

El operador de tierra asume una gran responsabilidad y desempeña un papel crucial en la implementación del sistema autónomo del buque. Para ello, es necesario contar con los conocimientos técnicos necesarios y mantener un alto nivel de concentración operativa para no perder el enfoque durante las maniobras de la embarcación.

La labor del operador implica monitorear de forma constante los datos y las imágenes proporcionadas por los sistemas electrónicos y las cámaras de CCTV, evaluando el rendimiento del buque y detectando cualquier posible incidencia o riesgo. Su capacidad para prever situaciones y tomar decisiones rápidas y precisas es vital para garantizar la seguridad y eficiencia de la navegación autónoma.

## Capítulo 7. Ciberseguridad

Con el aumento de la presencia de los barcos autónomos en la industria marítima, es esencial tener en cuenta los riesgos de ciberseguridad y tomar medidas para protegerse de posibles amenazas. Uno de los mayores riesgos de seguridad cibernética es que los piratas informáticos puedan acceder a los sistemas del barco y tomar el control, lo que podría causar daños físicos y materiales. Para evitar esto, es fundamental establecer una arquitectura de red segura y protocolos de cifrado, así como controles de acceso rigurosos para el personal y los dispositivos conectados a los sistemas del barco. Es comprensible que haya preocupación al respecto: según la consultora Naval Dome de Estados Unidos, ha habido un aumento de casi el 900% en los ataques a los sistemas operativos de buques en los últimos tres años, con un registro de 50, 120 y 310 ataques en cada uno de esos años. [24]

Otra preocupación es la posibilidad de ataques cibernéticos en los sistemas de comunicación del barco, como la suplantación o la interferencia del GPS, lo que podría alterar la ruta del barco y lanzar un ataque "suicida", robar la carga, capturar el barco para extorsión financiera o capturar barcos autónomos para robar las tecnologías o sistemas de armas del barco. Para reducir este riesgo, se deben implementar sistemas de navegación de respaldo y capacitar adecuadamente a la tripulación del barco para reconocer y responder a posibles amenazas cibernéticas. Además, es importante tener en cuenta la posibilidad de filtraciones o robos de datos, por el hecho de que los barcos autónomos pueden recopilar y transmitir grandes cantidades de información confidencial, como la carga del barco, las rutas y otros detalles operativos. Para protegerse contra esto, es fundamental implementar medidas de seguridad de datos apropiadas, como encriptación, almacenamiento seguro de datos y auditorías de seguridad regulares.

Actualmente, la regulación específica de ciberseguridad para el sector marítimo no ha sido establecida ni por la Organización Marítima Internacional ni por ninguna autoridad nacional. Sin embargo, la OMI ha expresado su preocupación por la ciberseguridad de los buques y ha emitido una serie de directrices y recomendaciones para ayudar a protegerlos de las amenazas cibernéticas. En 2017, la OMI publicó su "Guía de Ciberseguridad para Buques" [25], que proporciona orientación detallada sobre cómo abordar la ciberseguridad a bordo de los buques y cómo protegerse contra las amenazas cibernéticas. También se ha emitido la resolución del Comité de Seguridad Marítima 428 (98), que establece que las compañías marítimas deben demostrar que la ciberseguridad es una parte integral de su Sistema de Gestión de la Seguridad (SMS) a partir del 1 de enero de 2021. La OMI continúa trabajando en estrecha colaboración con los estados miembros y otras partes interesadas para mejorar la ciberseguridad en la industria marítima. [26]

## 7.1. Presentación de Amenazas

Algunas de las amenazas más comunes son:

**Hacking:** los buques autónomos pueden ser pirateados por ciberdelincuentes que intentan tomar el control del buque o acceder a datos confidenciales.

**Malware:** los virus y el malware pueden infectar los sistemas de los buques autónomos y causar daños a los sistemas de navegación, sistemas de energía y otras funciones críticas.

**Denegación de servicio (DoS):** los ataques de denegación de servicio pueden interrumpir el funcionamiento del buque autónomo al inundar la red con tráfico no deseado, lo que puede agotar los recursos y provocar una caída del sistema.

**Phishing:** los ataques de phishing pueden engañar a los usuarios del buque autónomo para que proporcionen información confidencial, como contraseñas, nombres de usuario y datos de acceso a la red.

**Robo de datos:** los datos almacenados en los sistemas de los buques autónomos, como información de navegación y datos de carga, pueden ser robados por ciberdelincuentes que buscan obtener ventaja competitiva o dañar la reputación de la empresa.

**Sabotaje:** los sistemas de los buques autónomos pueden ser saboteados por atacantes internos o externos que buscan causar daños a la empresa o poner en peligro la seguridad de los pasajeros o la tripulación.

## 7.2. CCDCOE

El Centro de Excelencia en Defensa Cibernética Cooperativa de la OTAN (CCDCOE, por sus siglas en inglés) es un centro de conocimiento que aborda de manera única los problemas más relevantes en defensa cibernética a través de un enfoque interdisciplinario. Su núcleo está compuesto por un diverso grupo de expertos internacionales de militares, gobiernos, academia e industria, representando actualmente a 38 naciones. [27]

El CCDCOE ha publicado un documento llamado "Consideraciones de ciberseguridad en los barcos autónomos" [28] en el que se explica que la naturaleza de las operaciones autónomas aumenta la vulnerabilidad a los ataques cibernéticos y físicos. El documento clasifica las amenazas significativas en nueve categorías: ataques para interrumpir las señales de RF, engañar o degradar los sensores, interceptar o modificar las comunicaciones, sistemas OT (Tecnología Operacional), dañar los sistemas de TI (Tecnología de Información), dañar la IA utilizada para operaciones autónomas, comprometer las cadenas de suministro, dar acceso físico y dañar el Centro de Control en Tierra.

### 7.2.1. Amenazas y Contramedidas.

➤ Ataques para interrumpir señales de RF

La interferencia de señales de RF puede interrumpir la comunicación en los buques autónomos, y todos los protocolos de comunicación son vulnerables a los ataques de negación de servicio. Las técnicas de interferencia y anti-interferencia se han estudiado mucho. Generar una interferencia de la señal del satélite es fácil y puede tener graves consecuencias si la embarcación depende completamente de ello. Se han desarrollado diversas técnicas para mitigar los ataques de interferencia, pero no ofrecen protección completa. Por ello, es importante que los buques autónomos tengan capacidad de auto recuperación en caso de pérdida de comunicación o detección de posición. [28]

➤ Ataques para engañar o degradar sensores

Los sensores utilizados para identificar un barco pueden ser atacados para engañar o degradar los datos, incluyendo GNSS, radar, sensores ópticos, ultrasónicos y acústicos. Los ataques de suplantación de identidad pueden desviar a los conductores o capitanes de barcos fuera de curso. Los sensores ubicados fuera de una embarcación autónoma son vulnerables a interferencias de RF o bloqueo de la cámara. Para minimizar el efecto de los ataques, los buques autónomos deben estar equipados con sensores redundantes basados en diferentes tecnologías, preferiblemente colocados en diferentes ubicaciones. También se pueden usar imágenes satelitales o drones para proteger contra el sabotaje. [28]

➤ Ataques para interceptar o modificar comunicaciones

La divulgación o manipulación no autorizada de datos de transmisión entre un buque y el SCC (Shore Control Centre) puede tener un impacto significativo. La transmisión de datos incluye instrucciones comando control (C2) del SCC, acuses de recibo de las instrucciones del buque, información diversa sobre el estado del buque, imágenes o videos y otros datos de observación y reconocimiento. La interceptación de señales de RF es posible si los atacantes están en el lugar adecuado para recibir las señales y escuchan la frecuencia adecuada. El costo de interceptar señales de RF ha disminuido dramáticamente con la tecnología de radio. La escucha, reproducción y manipulación de datos podrían ser posibles si los datos de la transmisión no están adecuadamente protegidos.

Para evitar comprometer la seguridad en la transmisión de datos, se deben implementar mecanismos criptográficos fuertes. Cualquier secreto compartido preinstalado entre las partes que se comunican debe inyectarse de forma segura durante el proceso de aprovisionamiento, y el dispositivo utilizado para el aprovisionamiento también debe mantenerse de forma segura para evitar que se utilice de manera no autorizada. Además de

estos mecanismos de seguridad, tener múltiples canales de comunicación con diferentes tecnologías también mejoraría la robustez contra la manipulación no autorizada. El propósito de la redundancia es proporcionar un medio alternativo cuando una tecnología está dañada, pero también se puede usar para verificar que ninguno de los canales esté comprometido al comparar los datos recibidos por separado de múltiples canales. [28]

➤ Ataques a Sistemas OT

Los protocolos industriales convencionales no tienen medidas de seguridad suficientes, lo que los hace vulnerables a ataques al sistema de Tecnología Operativa (OT, por sus siglas en inglés) que pueden interrumpir las operaciones de red o manipular mensajes para causar fallas en el proceso de control. Aun cuando se agregan características de seguridad, los sistemas no están completamente protegidos debido a la limitada capacidad de computación y memoria en los sensores y actuadores. Los ataques pueden incluir la manipulación de instrucciones C2, la infiltración de puntos de acceso de mantenimiento y el acceso físico a puertos o cables.

Para proteger los sistemas OT de los ataques cibernéticos, se deben implementar prácticas de fortalecimiento de seguridad, como el uso de contraseñas seguras, la desactivación de servicios y puertos no utilizados, y el mantenimiento de los componentes actualizados. En el futuro, se deben usar protocolos industriales seguros y capacidades de conciencia de seguridad siempre que sea posible para proteger los sistemas OT. [28]

➤ Ataques a Sistemas TI

Los buques autónomos también pueden tener sistemas de tecnología de la información (TI), lo que significa que los sistemas y componentes no están directamente relacionados con la maniobrabilidad del buque e incluyen componentes de red que se utilizan para comunicarse con partes externas, como el SCC y los puntos de retransmisión. Además de los componentes de red, un ejemplo típico de sistema de TI son las computadoras administrativas y de apoyo utilizadas por la tripulación. Otro ejemplo es un historial de datos que recopila y almacena datos de series temporales sobre el estado del buque lo que permite el acceso remoto a ingenieros para solucionar problemas telemáticamente.

Los ataques a los sistemas de TI podrían provocar la interrupción de los equipos y la divulgación, eliminación o modificación de los datos. Puede pensarse que el efecto de los ataques sería marginal, sin embargo, podría haber errores de configuración en la segregación de redes y algunos sistemas de TI pueden poseer datos importantes desde perspectivas empresariales o militares. Por lo tanto, la seguridad no debe pasarse por alto. Para proteger los sistemas de TI contra ataques, se deben establecer prácticas de fortalecimiento de la

seguridad, como un sistema de gestión de información y eventos de seguridad (SIEM) o un sistema de prevención de intrusiones (IPS). La implementación de soluciones de seguridad debe ser considerada activamente para monitorear y proteger todos los recursos dentro de la red. La segmentación y segregación de la red utilizando firewalls y redes definidas por software (SDN) deben aplicarse a la red para minimizar los riesgos. [28]

➤ Ataques a través del acceso físico

La vulnerabilidad de los buques autónomos a los ataques físicos puede aumentar inevitablemente cuando operan en alta mar, ya que cualquiera podría tener acceso físico no autorizado al buque. Por ejemplo, piratas y criminales pueden abordar el buque y causar daño al sistema, como cambiar rutas o destinos y detener el motor para secuestrarlo. Esto podría ocurrir debido al valor económico del propio buque, la carga que transporta y al valor técnico desde la perspectiva del espionaje industrial. Los piratas podrían desviar el buque a un lugar diferente y tomar el buque como "rehén", amenazando con hacerlo explotar o hundirlo para causar una gran contaminación ambiental.

Aunque no hay una solución clara a este problema, se deben hacer todos los esfuerzos posibles para aumentar el costo de dichos ataques. Los cables de alimentación y comunicación no deben estar expuestos fuera del buque y la puerta de entrada al interior debe estar firmemente cerrada con llave. Dentro del buque, los puertos de red u otros puertos de mantenimiento de los componentes del sistema deben estar sellados y los cables no deben estar expuestos, colocándolos debajo del suelo o dentro de la pared. Deben instalarse sistemas de alarma que transmitan alarmas de seguridad al SCC cuando se identifiquen intrusiones y sensores de fallas de cable que detecten la desconexión de los cables. También se pueden considerar mecanismos a prueba de manipulaciones que borren datos comerciales o militares importantes después de una intrusión, para datos críticos que no deben ser revelados a otras partes. Del mismo modo, existen medidas de protección física que hacen que los buques sean más resistentes a los ataques físicos. Sin embargo, nada puede proteger completamente al buque en alta mar y, por lo tanto, se debe considerar el valor del buque, la probabilidad de un ataque físico y el costo de las contramedidas juntos para encontrar la configuración más rentable. [28]

➤ Ataques al Centro de Control de Tierra

Un ataque al centro de control en tierra y, posteriormente hacerse con el control físico de la sala de mando, puede provocar la transmisión de comandos no autorizados a los buques autónomos o la interrupción de los enlaces de comunicación entre el SCC y los buques. Para proteger las redes de comando control y el centro de control se deben implementar mejores prácticas de seguridad, como un sistema de gestión de información y eventos de seguridad

(SIEM) y además que se puedan anular o bloquear las órdenes que salgan de un SCC comprometido. También es importante el control físico para acceder a la sala de control y al perímetro del edificio. [28]

## Capítulo 8. Legislación y Reglamentación de los Buques Autónomos

La legislación y regulación de embarcaciones autónomas es un tema en constante evolución a medida que la tecnología avanza rápidamente y los marcos regulatorios buscan adaptarse a estas innovaciones. Algunos aspectos por considerar en la legislación y reglamentación de los buques autónomos son:

**Responsabilidad legal:** Una de las principales preocupaciones en la regulación de embarcaciones autónomas es determinar quién es responsable en caso de un accidente o daño causado por estas embarcaciones. Es necesario definir claramente los derechos y obligaciones de los propietarios, operadores y fabricantes de embarcaciones autónomas y establecer normas sobre responsabilidad civil y penal.

**Certificación:** Las embarcaciones autónomas deben cumplir con los mismos estándares de seguridad y navegación que las embarcaciones tripuladas, por lo que es importante establecer un proceso de certificación para garantizar que las embarcaciones autónomas cumplan con los requisitos técnicos y de seguridad necesarios.

**Regulación de la navegación:** Los buques autónomos deben cumplir con las normas de navegación existentes de la Organización Marítima Internacional (OMI). Se deben establecer reglas y procedimientos para garantizar una navegación segura y evitar colisiones.

**Protección Ambiental:** Los buques autónomos deben cumplir con los estándares de protección ambiental establecidos por la OMI y otras organizaciones internacionales. Es necesario establecer normas específicas para la gestión de residuos, el control de la contaminación y la protección de la vida marina.

**Criterios de diseño:** Las embarcaciones autónomas deben cumplir con ciertos criterios de diseño que garantizan la seguridad y la eficiencia de la embarcación. Estos incluyen aspectos como la estabilidad, el rendimiento en el agua, la maniobrabilidad y la resistencia al agua salada.

**Seguros:** El seguro marítimo es un aspecto importante de la legislación y regulación. Las naves autónomas deben estar aseguradas para cubrir daños a la nave, carga, terceros y tripulación.

**Control y supervisión:** Las embarcaciones autónomas pueden operar sin tripulación, pero se requiere cierto grado de control y supervisión humana para garantizar la seguridad y la eficiencia de la embarcación. Las leyes y reglamentos deberían establecer requisitos específicos para el control y seguimiento de los buques autónomos.

## 8.1. IMO (International Maritime Organization)

La IMO o OMI (Organización Internacional Marítima) en español, se define a sí misma en su página web como el “*Organismo especializado de las Naciones Unidas que se ocupa de la seguridad y la protección del transporte marítimo internacional y de la prevención de la contaminación por los buques.*” [29]

Esta entidad es considerada como la máxima autoridad con respecto al sector marítimo, cuenta con 175 estados miembro y se fundó en el año 1978 en Ginebra, la primera reunión se organizaría en enero de 1959, once años después de su fundación, en la actualidad se reúnen cada 2 años. Su lema trata de mostrar cuales son las motivaciones de la organización “*una navegación segura, protegida y eficiente en mares limpios*”. [30]

Con respecto a la autonomía de los buques, ha organizado varios seminarios y reuniones sobre la elaboración de un marco reglamentario para los buques marítimos autónomos de superficie (MASS). Estos eventos tienen como objetivo reunir a expertos y partes interesadas de todo el mundo para discutir y compartir información sobre los desafíos y oportunidades que plantea la introducción de esta tecnología en la industria marítima. Durante los seminarios, se discute sobre aspectos técnicos, legales y de seguridad relacionados con los MASS, como la necesidad de establecer requisitos de diseño y construcción, sistemas de control y monitoreo, protocolos de comunicación, certificación, entrenamiento, habilidades de la tripulación, y responsabilidad legal. Además, estos seminarios también sirven para compartir experiencias y mejores prácticas de países y organizaciones que ya han implementado buques autónomos en sus flotas, y para discutir la cooperación internacional y la armonización de los marcos regulatorios para los MASS. Estos seminarios son una oportunidad para que los expertos y partes interesadas trabajen juntos para garantizar que los buques autónomos se integren de manera segura y efectiva en la industria marítima global. [31]

En 2022, la IMO desarrolló un nuevo marco regulador para los sistemas de naves autónomas marinas (conocido como MASS, por sus siglas en inglés). Este marco regulatorio establecerá las normas y requisitos técnicos para los sistemas MASS, así como las directrices para su diseño, construcción, operación y mantenimiento. Además, se abordarán cuestiones clave relacionadas con la seguridad, la protección del medio ambiente y la responsabilidad legal de los operadores. Se espera que el Código sobre los Sistemas de Naves Autónomas Marinas sea adoptado en el año 2024 después de un proceso de consulta y revisión por parte de los estados miembro y otras partes interesadas. Una vez adoptado, el código proporcionará un marco regulatorio claro y consistente para los sistemas MASS, lo que garantizará la

seguridad y la eficiencia del transporte marítimo y reducirá el riesgo de impactos ambientales negativos.

La IMO ha decidido estudiar la reglamentación acerca de los buques autónomos por varias razones:

**Seguridad:** Los buques autónomos son una tecnología relativamente nueva en la industria marítima, y aún hay incertidumbre en cuanto a cómo garantizar su seguridad en comparación con los buques tripulados tradicionales. La IMO se preocupa por la seguridad en el transporte marítimo, y por eso está estudiando cómo garantizar que los buques autónomos sean seguros para su tripulación, la carga, el medio ambiente y otros buques.

**Eficiencia:** Los buques autónomos tienen el potencial de aumentar la eficiencia y reducir los costos en la industria marítima, pero para hacerlo necesitan un marco regulatorio claro y estable que fomente su desarrollo y operación para que puedan realizarse de manera eficiente y rentable.

**Cambios en la tecnología:** Como ya se dijo, la tecnología está avanzando rápidamente, y es importante que se siga de cerca el desarrollo de los buques autónomos para asegurarse de que la regulación esté actualizada y sea relevante.

**Armonización internacional:** La IMO es un organismo de la ONU y como tal trabaja para armonizar la regulación en todo el mundo. Es importante que la regulación de los buques autónomos sea coherente y uniforme en todo el mundo para garantizar la seguridad y la eficiencia del transporte marítimo. [32]

Para la realización de ensayos se ha creado y desarrollado directrices provisionales para la realización de ensayos de los buques autónomos de superficie. [33] Estas directrices se centran en las pruebas que deben realizarse para garantizar que los MASS sean seguros y cumplan con los estándares internacionales de seguridad. Algunas de las principales directrices provisionales de la IMO para los ensayos de los MASS son las siguientes: **Identificación de los requisitos de ensayo** (Antes de comenzar los ensayos, se deben identificar los requisitos de ensayo para el tipo específico de MASS que se está probando), **Pruebas de navegación** (Debe cumplir con los requisitos de navegación, incluyendo la capacidad de mantener una velocidad y rumbo constantes, y la capacidad de evitar obstáculos), **Pruebas de comunicación** (Deben realizar pruebas de comunicación para evaluar la capacidad para comunicarse con otros buques, estaciones de control y sistemas terrestres.), **Pruebas de seguridad** (La capacidad de operar de manera segura en diferentes condiciones meteorológicas y en situaciones de emergencia), **Pruebas de sistemas de**

**energía y propulsión** (Se deben realizar pruebas de los sistemas de energía y propulsión para operar de manera eficiente y sostenible).

Estas directrices provisionales son un primer paso importante para establecer un marco regulador claro y efectivo para los buques autónomos de superficie y garantizar su seguridad y eficacia en el transporte marítimo. [33]

Por todo lo anteriormente mencionado se está examinando varios tratados y convenios internacionales relacionados con los buques marítimos autónomos, con el único objetivo de identificar las posibles lagunas y brechas en la regulación actual que necesitan ser abordadas. Algunos de los tratados que la OMI está examinando son con los del Comité de facilitación (FAL) para agilizar el tráfico marítimo internacional, junto con el comité jurídico (LEG) que determina las funciones o responsabilidades del capitán o del operador remoto y por último el comité de seguridad marítima (MSC) donde se cubren los siguientes convenios:

#### **8.1.1. COLREG (International Regulations for Preventing Collisions at Sea)**

El COLREG es el acrónimo de "Convenio Internacional para Prevenir los Abordajes en el Mar" establece las normas y directrices para evitar abordajes en el mar, y se aplica a todos los buques, incluyendo los MASS. Estos deben cumplir con las mismas normas y directrices que cualquier otro buque, y deben estar equipados con los sistemas de iluminación y señalización adecuados para ser detectados por otros buques, evitar abordajes, regulaciones relacionadas con la velocidad segura, el derecho de paso y las limitaciones a las maniobras en diversas situaciones. Sin embargo, los buques no tripulados plantean desafíos únicos en términos de interpretación y aplicación de las normas de navegación, por lo que la IMO está desarrollando orientaciones específicas para garantizar la seguridad del transporte marítimo y la protección del medio ambiente marino. [34] [35]

#### **8.1.2. SOLAS (International Convention for the Safety of Life at Sea)**

El SOLAS (Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida Humana en el Mar) es un tratado internacional que establece las normas básicas de seguridad para los buques y sus tripulaciones. En su forma actual, el SOLAS fue adoptado en 1974 y ha sido enmendado en varias ocasiones desde entonces. El Convenio SOLAS consta de 14 capítulos que abordan diferentes aspectos de la seguridad en la navegación marítima.

Actualmente, el SOLAS no tiene disposiciones específicas sobre buques autónomos. Sin embargo, el tratado establece requisitos generales de seguridad para los buques y las personas a bordo, que se aplican a cualquier tipo de embarcación, incluidos los buques autónomos.

En particular, el Capítulo V del SOLAS establece los requisitos para el equipamiento de los buques, incluyendo los sistemas de navegación y comunicaciones. Estos requisitos se aplican tanto a los buques tripulados como a los buques autónomos, y se espera que los sistemas de navegación y comunicaciones de los buques autónomos cumplan con estos estándares. Además, el SOLAS establece los requisitos para la formación y certificación de la tripulación del buque. Aunque es posible que los barcos autónomos no tengan una tripulación humana a bordo, se espera que los operadores de estos barcos estén debidamente capacitados y certificados para operarlos de manera segura y efectiva. Estas directrices establecieron los requisitos mínimos para los sistemas autónomos y la formación de la tripulación, así como los procedimientos de emergencia y de respuesta ante fallos del sistema. Una vez adoptado, el código proporcionará un marco regulatorio claro y coherente para la operación segura y eficiente de los buques autónomos, lo que permitirá a la industria marítima aprovechar las oportunidades que ofrecen estos sistemas para mejorar la eficiencia y reducir los costos operativos.

Este marco establecerá los requisitos y normas para la operación segura y eficiente de los buques autónomos, incluyendo la seguridad de la vida humana en el mar. Aunque el SOLAS no menciona específicamente los buques autónomos, los requisitos generales de seguridad del tratado se aplican a cualquier tipo de buque, incluidos los buques autónomos. [36]

### **8.1.3. MARPOL (International Convention for the Prevention of Pollution from Ships)**

El MARPOL es un tratado internacional destinado a prevenir la contaminación del medio marino por los buques. Aunque el convenio no se refiere específicamente a los buques autónomos, las disposiciones del Convenio pueden aplicarse a dichos buques.

En concreto, los buques autónomos deberán cumplir con los requisitos del Anexo VI del MARPOL, que se refiere a la prevención de la contaminación atmosférica por los buques. Este anexo establece límites máximos de emisiones para los óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>) y los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) emitidos por los motores de los buques, así como para las emisiones de gases de efecto invernadero, como el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Además, el Anexo I del MARPOL establece normas para prevenir la contaminación por hidrocarburos y otros productos químicos en el agua. Los buques autónomos que transporten cargas líquidas deberán cumplir con estas normas para prevenir la contaminación del mar. Asimismo, los buques autónomos pueden estar equipados con tecnologías avanzadas, como sensores y sistemas de monitoreo remoto, que pueden mejorar la capacidad de los operadores para

detectar y evitar situaciones que puedan causar contaminación marina. En general, el MARPOL establece estándares muy estrictos para la prevención de la contaminación marina, y los buques autónomos deberán cumplir con estas normas para asegurar la protección del medio ambiente marino. [37]

#### **8.1.4. STCW (International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers)**

El STCW (Convenio Internacional sobre Normas de Formación, Titulación y Guardia para la Gente de Mar) es un convenio que establece las normas internacionales para la formación, titulación y guardia de los marinos. Este convenio no trata específicamente de los buques autónomos, ya que en el momento en que se adoptó en 1978, esta tecnología no existía.

Sin embargo, en junio de 2019, la OMI (Organización Marítima Internacional) adoptó las "Directrices sobre la automatización de los buques" que proporcionan orientación sobre la aplicación segura, eficaz y eficiente de la automatización en los buques, incluidos los buques autónomos. En estas directrices, se establece que los marinos que operan buques autónomos deben tener una formación y titulación adecuadas para garantizar la seguridad de la navegación y la protección del medio ambiente marino. Además, se indica que la automatización no debe reemplazar a la tripulación, sino que debe ser utilizada para mejorar su seguridad y eficiencia en la operación del buque. Para llevar a cabo incluso las tareas de mantenimiento en un buque en instalaciones portuarias, se requerirá que el personal de tierra posea un certificado STCW. [38]

#### **8.1.5. MLC (Maritime Labour Convention)**

La Convención del Trabajo Marítimo, conocida como Maritime Labour Convention (MLC), es un tratado internacional creado por la Organización Internacional del Trabajo (OIT) en 2006 para establecer estándares mínimos en las condiciones laborales y de vida de los marinos a bordo de los buques. El propósito fundamental de la MLC es asegurar que los marinos tengan condiciones de trabajo y vida adecuadas en los buques, protegiendo sus derechos laborales y humanos.

La MLC, no hace mención explícita a los buques autónomos, ya que fue establecida antes de que la navegación autónoma fuera una realidad viable. Aunque no hace referencia a los buques autónomos, la MLC establece una serie de requisitos para garantizar la seguridad y la salud de los marinos a bordo de los buques. Estos requisitos se aplican tanto a los buques tripulados como a los buques autónomos, en caso de que se implementen en el

futuro. Es importante considerar la necesidad de requisitos adicionales para garantizar la seguridad de los marinos en buques autónomos, tales como sistemas de comunicación efectivos y procedimientos de emergencia específicos para estos buques. [39]

#### **8.1.6. Código Lloyd's Register para Sistemas Marinos No Tripulados**

En febrero de 2017, Lloyd's Register, la sociedad de clasificación publicó el "Unmanned Marine Systems Code" (UMS), Este código consta de nueve capítulos y dos anexos donde se establece normas y requisitos para el diseño, construcción y operación segura de sistemas marinos no tripulados (UMS). El código establece requisitos técnicos y de seguridad para sistemas como buques autónomos, robots submarinos y drones marinos, y proporciona orientación sobre procedimientos de gestión de riesgos, seguridad, capacitación y certificación del personal involucrado en la operación de los UMS. Además, establece los requisitos para la integración de los sistemas UMS en los buques tripulados existentes y sistemas de gestión de buques, incluyendo la necesidad de desarrollar y mantener procedimientos claros y precisos para la transferencia de control entre los sistemas UMS y los operadores humanos a bordo de los buques. El objetivo principal del UMS Code es garantizar la seguridad de la navegación y la protección del medio ambiente en el uso de sistemas marinos no tripulados, y proporcionar orientación y dirección a la industria en la utilización segura y efectiva de los sistemas UMS en el mar.

El código establece seis niveles de autonomía que van desde el nivel manual hasta el nivel completamente autónomo. En el nivel AL 0, todas las acciones y decisiones son realizadas manualmente por los operadores. En el nivel AL 1, aunque todas las acciones son realizadas por un operador, se proporciona soporte para la toma de decisiones a bordo con datos suministrados por sistemas a bordo. En el nivel AL 2, los datos provienen tanto de sistemas a bordo como de tierra.

En el nivel AL 3, las decisiones y acciones operativas son realizadas mediante supervisión humana, y los datos provienen de sistemas a bordo o en tierra. En el nivel AL 4, las decisiones y acciones operativas son realizadas de manera autónoma con supervisión humana, pero las decisiones sobre acciones operativas de gran impacto están implementadas para que un operario pueda intervenir y tomar el mando.

En el nivel AL 5, las operaciones son raramente supervisadas por un operador, y las decisiones operativas son realizadas completamente por el sistema. Finalmente, en el nivel AL 6, todas las decisiones y acciones operativas son realizadas por el sistema autónomo. [40]

## Conclusiones

A modo de reflexión deberíamos pensar si toda la inversión que supone instalar la nueva tecnología en tierra y en el buque, más la implementación de puestos de trabajos en tierra es realmente rentable con respecto al mantenimiento y operatividad de los actuales buques y sus flotas.

En la actualidad, la tecnología ha demostrado ser ventajosa en diferentes campos. En el caso de los buques, la tecnología reduce la presencia del error humano gracias a la automatización de tareas y las ayudas a la navegación. Además, se busca la eficiencia en los viajes mediante el uso de energías renovables. El mundo está cambiando rápidamente y las tareas antes realizadas por humanos ahora son ejecutadas por máquinas en procesos productivos rentables. La OMI está creando un nuevo marco regulatorio para la navegación autónoma, ya que se espera que en el futuro los buques sean autónomos y se controle desde la tierra. Actualmente, existen buques autónomos operando a distancias cortas, pero la seguridad y la protección del medio ambiente son fundamentales en estos ensayos. A medida que avanzamos hacia la navegación autónoma, algunos puestos de trabajo en el mar pueden desaparecer, pero se crearán nuevos empleos en tierra. En resumen, el futuro de la navegación es incierto, pero se espera que los cambios tecnológicos permitan una navegación más segura y eficiente, dado que es lo que se busca conseguir con los cambios que van surgiendo, aparte también el sector debe ir actualizándose y adaptándose a las etapas actuales para no quedar desfazado.

## **Conclusions**

By way of reflection, we should think about whether all the investment involved in installing the recent technology on land and on the ship, plus the implementation of jobs on land, is profitable with respect to the maintenance and operation of current ships and their fleets.

At present, the technology has proven to be advantageous in different fields. In the case of ships, technology reduces the presence of human error thanks to the automation of tasks and aids to navigation. In addition, efficiency in travel is sought using renewable energy. The world is changing rapidly, and tasks previously performed by humans are now performed by machines in profitable production processes. The IMO is creating a new regulatory framework for autonomous navigation, as ships are expected to be autonomous and controlled from the ground in the future. Currently, there are autonomous vessels operating at short distances, but safety and environmental protection are essential in these trials. As we move towards autonomous navigation, some jobs at sea may disappear, but new jobs will be created on land. In summary, the future of navigation is uncertain, but technological changes are expected to allow for safer and more efficient navigation, given that this is what is sought to be achieved with the changes that are emerging, apart from the fact that the sector must also update and adapt to the current stages so as not to be outdated.

## Bibliografía

- 1] «El comercio marítimo, gran motor de la economía mundial, reclama profesionales cualificados.» [En línea]. Available: [https://www.bureauveritasformacion.com/Boletin/noticias\\_home/BVF-noticia-comercio-maritimo.html](https://www.bureauveritasformacion.com/Boletin/noticias_home/BVF-noticia-comercio-maritimo.html).
- 2] «INFORME SOBRE EL TRANSPORTE MARITIMO 2022,» 2022. [En línea]. Available: [https://unctad.org/system/files/official-document/rmt2022overview\\_es.pdf](https://unctad.org/system/files/official-document/rmt2022overview_es.pdf).
- 3] «Barcos autónomos: qué los hace posible y cuáles son sus tipos,» [En línea]. Available: <https://blogthinkbig.com/barcos-autonomos-industria-maritima-futuro#:~:text=a%20Organizaci%C3%B3n%20Mar%C3%ADtima%20Internacional%20reconoce,%20Autonomous%20Maritime%20Surface%20Ships..>
- 4] «Breve historia de la Automática,» [En línea]. Available: [https://bookdown.org/alberto\\_brunete/intro\\_automatica/breve-historia-de-la-automatica.html](https://bookdown.org/alberto_brunete/intro_automatica/breve-historia-de-la-automatica.html).
- 5] «El primer barco 100% autónomo ya surca las aguas,» [En línea]. Available: [https://www.elespanol.com/omicrono/tecnologia/20181226/primer-barco-autonomo-surca-aguas/363714314\\_0.html](https://www.elespanol.com/omicrono/tecnologia/20181226/primer-barco-autonomo-surca-aguas/363714314_0.html).
- 6] E. p. g. b. a. y. s. d. 5. m. s. a. humana.. [En línea]. Available: <https://www.xataka.com/movilidad/primer-barco-autonomo-gigantesco-se-desplaza-500-millas-ayuda-humana-solo-principio-1>.
- 7] «OMI,» [En línea]. Available: <https://www.imo.org/es>.
- 8] «Buques autónomos: finalizado estudio exploratorio sobre la reglamentación de seguridad,» [En línea]. Available: <https://www.imo.org/es/MediaCentre/PressBriefings/pages/MASRSE2021.aspx>.
- 9] «The Good, the Bad and the Ugly: Unmanned Ships,» [En línea]. Available: <https://www.hellenicshippingnews.com/the-good-the-bad-and-the-ugly-unmanned-ships/>.
- 10] «Key advantages and disadvantages of ship autonomy,» [En línea]. Available: <https://safety4sea.com/key-advantages-and-disadvantages-of-ship-autonomy/>.

- «THE ADVANTAGES OF UNMANNED BOATS,» [En línea]. Available:  
11] [https://ship.nridigital.com/ship\\_sep20/autonomous\\_security\\_vessels](https://ship.nridigital.com/ship_sep20/autonomous_security_vessels).
- S. a. I. O. Autonomous Ships: Challenges, «Autonomous ships: Challenges,  
12] Solutions, and Investment Opportunities,» [En línea]. Available:  
[https://www.researchgate.net/publication/351942785\\_Autonomous\\_Ships\\_Challenges\\_Solutions\\_and\\_Investment\\_Opportunities](https://www.researchgate.net/publication/351942785_Autonomous_Ships_Challenges_Solutions_and_Investment_Opportunities).
- «Welcome to the MUNIN Project web page,» [En línea]. Available:  
13] <http://www.unmanned-ship.org/munin/>.
- «The Autonomous Ship,» [En línea]. Available: <http://www.unmanned-ship.org/munin/about/the-autonomus-ship/>.
- «Los proyectos existentes de buques autónomos,» [En línea]. Available:  
15] <https://www.naucher.com/los-proyectos-existentes-de-buques-autonomos/>.
- «NYK realiza las primeras pruebas de buques autónomos,» [En línea].  
16] Available: <https://www.worldenergytrade.com/logistica/investigacion/nyk-realiza-las-primeras-pruebas-de-buques-autonomos>.
- «¿Qué son los Smart Ports y sus beneficios?,» [En línea]. Available:  
17] <https://www.trafimar.com.mx/blog/que-son-los-smart-ports-y-sus-beneficios>.
- «MoorMaster,» [En línea]. Available: <https://www.cavotec.com/es/your-applications/ports-maritime/automated-mooring>.
- «AUTOMATED MOORING SYSTEM,» [En línea]. Available:  
19] <https://www.macgregor.com/intelligent-solutions/automated-mooring-system/>.
- «MAMPAEY,» [En línea]. Available: <https://www.mampaey.com/>.  
20]
- «Mooring,» [En línea]. Available: <https://prezi.com/p/nutgspka3kch/amarres-de-los-buques/>.  
21]
- «LAS TERMINALES AUTOMATIZADAS DE CONTENEDORES,» [En línea].  
22] Available: <https://www.cargoflores.com/terminales-automatizadas-contenedores/>.
- «NTNU Shore Control Lab: Designing shore control centres in the age of  
23] autonomous ships,» [En línea]. Available:  
<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/2311/1/012030/pdf>.

- 24] «La ciberseguridad a bordo de los buques,» [En línea]. Available: <https://www.naucher.com/la-ciberseguridad-a-bordo-de-los-buques/>.
- 25] «Riesgo cibernético marítimo,» [En línea]. Available: <https://www.imo.org/es/OurWork/Security/Paginas/Cyber-security.aspx>.
- 26] «Estándares de ciberseguridad en el mar,» [En línea]. Available: <https://www.incibe.es/incibe-cert/blog/estandares-ciberseguridad-el-mar>.
- 27] «NATO Cooperative Cyber Defence Centre of Excellence,» [En línea]. Available: <https://ccdcoe.org/>.
- 28] «Cybersecurity,» [En línea]. Available: [https://ccdcoe.org/uploads/2022/09/Cybersecurity\\_Considerations\\_in\\_Autonomous\\_Ships.pdf](https://ccdcoe.org/uploads/2022/09/Cybersecurity_Considerations_in_Autonomous_Ships.pdf).
- 29] «OMI,» [En línea]. Available: <https://www.imo.org/es>.
- 30] «¿Qué es la OMI?,» [En línea]. Available: <https://www.imo.org/es/About/Paginas/FAQs.aspx>.
- 31] «IMO Seminar on Development of a Regulatory Framework for Maritime Autonomous Surface Ships (MASS),» [En línea]. Available: <https://www.imo.org/en/OurWork/Safety/Pages/MASS.aspx>.
- 32] «¿Por qué la OMI ha decidido estudiar la reglamentación acerca de los buques autónomos?,» [En línea]. Available: <https://www.imo.org/es/MediaCentre/HotTopics/Pages/Autonomous-shipping.aspx>.
- 33] «DIRECTRICES PROVISIONALES RELATIVAS A LOS ENSAYOS DE LOS MASS,» [En línea]. Available: [https://wwwcdn.imo.org/localresources/es/MediaCentre/HotTopics/Documents/MSC.1-Circ.1604%20-%20Directrices%20Provisionales%20Relativas%20A%20Los%20Ensayos%20De%20Los%20Mass%20\(Secretar%C3%ADa\).pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/es/MediaCentre/HotTopics/Documents/MSC.1-Circ.1604%20-%20Directrices%20Provisionales%20Relativas%20A%20Los%20Ensayos%20De%20Los%20Mass%20(Secretar%C3%ADa).pdf).
- 34] «COLREG,» [En línea]. Available: <https://www.imo.org/en/OurWork/Safety/Pages/Preventing-Collisions.aspx>.

- 35] «Convention on the International Regulations for Preventing Collisions at Sea,» [En línea]. Available: <https://www.samgongustofa.is/media/log-og-reglur/COLREG-Consolidated-2018.pdf>.
- 36] «Convenio internacional para la seguridad de la vida humana en el mar, 1974 (Convenio SOLAS),» [En línea]. Available: [https://www.imo.org/es/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-\(SOLAS\)%2c-1974.aspx](https://www.imo.org/es/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-(SOLAS)%2c-1974.aspx).
- 37] «Convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques (MARPOL),» [En línea]. Available: [https://www.imo.org/es/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-\(MARPOL\).aspx](https://www.imo.org/es/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-(MARPOL).aspx).
- 38] «Convenio internacional sobre normas de formación, titulación y guardia para la gente de mar,» [En línea]. Available: [https://www.imo.org/es/About/Conventions/Paginas/International-Convention-on-Standards-of-Training,-Certification-and-Watchkeeping-for-Seafarers-\(STCW\).aspx](https://www.imo.org/es/About/Conventions/Paginas/International-Convention-on-Standards-of-Training,-Certification-and-Watchkeeping-for-Seafarers-(STCW).aspx).
- 39] «MLC,» [En línea]. Available: <https://www.mitma.es/areas-de-actividad/marina%20mercante/normativa/convenio-sobre-el-trabajo-maritimo-2006>.
- 40] «Unmanned Marine Systems Code,» [En línea]. Available: <https://www.lr.org/en/unmanned-code/>.

## Ilustraciones

Ilustración 1 Fuente: The autonomous ship. (s/f). Unmanned-ship.org. Recuperado el 2 de mayo de 2023, de <http://www.unmanned-ship.org/munin/about/the-autonomus-ship/>

Ilustración 2 Fuente: The autonomous ship. (s/f). Unmanned-ship.org. Recuperado el 2 de mayo de 2023, de <http://www.unmanned-ship.org/munin/about/the-autonomus-ship/>

Ilustración 3 Fuente: Falco makes world's first autonomous ferry crossing. (s/f). The Engineer. <https://www.theengineer.co.uk/content/news/falco-makes-world-s-first-autonomous-ferry-crossing/>

Ilustración 4 Fuente: Yara Birkeland. (2021, noviembre 12). Yara None. <https://www.yara.com/news-and-media/media-library/press-kits/yara-birkeland-press-kit/>

Ilustración 5 Fuente: Broll: Mayflower winter 2022 sea trials. (s/f). IBM Newsroom. Recuperado el 1 de mayo de 2023, de <https://newsroom.ibm.com/then-and-now?item=33335>

Ilustración 6 Fuente: (S/f). Navyrecognition.com. [https://www.navyrecognition.com/images/stories/news/2019/december/Navantia\\_Successfully\\_integrates\\_the\\_systems\\_of\\_Spains\\_First\\_Autonomous\\_Vessel\\_925\\_001.jpg](https://www.navyrecognition.com/images/stories/news/2019/december/Navantia_Successfully_integrates_the_systems_of_Spains_First_Autonomous_Vessel_925_001.jpg)

Ilustración 7 Fuente: Redirect notice. (s/f). Google.com <https://www.anave.es/prensa/archivo-noticias/2229-nyk-lleva-a-cabo-una-prueba-real-de-navegacion-autonoma-en-un-car-carrier>

Ilustración 8 Fuente: A MoorMaster MM200C automated mooring unit at the Port of Salalah in Oman. (s/f). News Powered by Cision. Recuperado el 18 de mayo de 2023, de <https://news.cision.com/cavotec/i/a-moormaster-mm200c-automated-mooring-unit-at-the-port-of-salalah-in-oman,c113792>

Ilustración 9 Fuente: Automated mooring system. (s/f). Macgregor.com. Recuperado el 8 de mayo de 2023, de <https://www.macgregor.com/intelligent-solutions/automated-mooring-system/>

Ilustración 10 Fuente: Alsos, O. A., Veitch, E., Pantelatos, L., Vasstein, K., Eide, E., Petermann, F.-M., & Breivik, M. (2022). NTNU Shore Control Lab: Designing shore control centres in the age of autonomous ships. Journal of physics. Conference series, 2311(1), 012030. Recuperado el 20 de marzo de 2023, de <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2311/1/012030>

# Anexos

---

## **01.- Anexo I. Título del anexo 1.**

[Los anexos no llevan paginación, por lo que puedes incluir aquí un índice de anexos, tal y como hemos ejemplificado, utilizando los estilos de 02\_Apartado, y así te aparecerán en el índice. Si no los necesitas, borra toda esta información, incluido los puntos 01, 02 y 03, seleccionando desde el inicio de esa página hasta el inicio de la siguiente y pulsando el botón “suprimir” o “delete” del teclado de tu ordenador.]



## Permiso de divulgación del Trabajo Final de Grado

Los alumnos **Cámara Ravelo, P. Ramos Díaz, A**, autores del trabajo final de Grado titulado “**El Futuro de la Navegación: Buques Autónomos**”. Y tutorizado por el/los profesor/es **D/D<sup>a</sup>. Ángela Hernández López**, 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/s tutor/es, por parte de la Escuela Politécnica Superior de Ingeniería, del Departamento de Ingeniería Civil, Náutica y 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 de este.

Nota: Este documento será obligatorio presentarlo como última hoja del documento final del TFG.



