



**ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA
SECCIÓN DE NÁUTICA, MÁQUINAS Y RADIOELECTRÓNICA NAVAL**

TRABAJO DE FIN DE GRADO

LA ACTUALIDAD DE LOS BUQUES AUTÓNOMOS

GRADO EN NÁUTICA Y TRANSPORTE MARÍTIMO

Autor: Kevin Plácido Martín Linares

Tutora: Ángela Hernández López

Yo, Dr. Ángela Hernández López, profesor del área de conocimiento de Ciencias y Técnicas de la Navegación, perteneciente al Departamento de Ingeniería Agraria, Náutica, Civil y Marítima de la Universidad de La Laguna, como tutor del alumno:

Kevin Plácido Martín Linares,

autorizo la presentación y defensa del Trabajo Fin de Grado titulado:

“LA ACTUALIDAD DE LOS BUQUES AUTÓNOMOS”

A su vez, confirmo que el alumno ha cumplido con los objetivos generales y particulares que lleva consigo la elaboración del mismo y las normas del reglamento del Trabajo Fin de Grado de la Escuela Politécnica Superior de Ingeniería.

Para que conste y surta los efectos oportunos, firmo la presente

En Santa Cruz de Tenerife a 23 de marzo de 2020

Fdo. : Ángela Hernández López.

Director del trabajo.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 2434648 Código de verificación: s86T6KqV

Firmado por: Ángela Hernández López
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 23/03/2020 15:36:50

Índice

Objetivos del proyecto.....	2
Resumen	3
Abstract.....	4
Introducción.....	5
Capítulo 1. Buque Autónomo	6
Capítulo 2. Estudios, proyectos y ensayos	9
□ MUNIN.....	9
□ AWAA.....	11
□ ReVolt.....	12
□ Yara Birkeland.....	14
□ One Sea.....	17
□ SIMAROS (Hrönn).....	20
□ Folgefonn.....	21
□ SVAN (Falco).....	23
Capítulo 4. Automatización de los puertos y sistemas de amarre	26
Capítulo 5. Navegación autónoma.....	40
5.1. Modelo de Rolls-Royce (Proyecto Awaas)	41
Capítulo 6. Legislación y reglamentación	45
6.1. SOLAS.....	46
6.2. Convenio MARPOL	48
6.3. COLREG.....	48
6.4. STCW	48
6.5. Convenio Marítimo de los Trabajadores (MLC)	49
6.6. Código de Loy's register para los vehículos marítimos no tripulados.....	49
Capítulo 7. Ventajas e inconvenientes.....	50
Capítulo 8. Visión de futuro sobre los buques autónomos.	50
Conclusiones.....	52
Conclusions	53
Bibliografía y Webgrafía	54

Objetivos del proyecto

Este trabajo se ha realizado con el fin de poner en conocimiento las cuestiones principales de los buques autónomos.

Los objetivos principales que se darán a conocer son los referentes a la parte teórica, tecnológica y legislativa, además de su trayectoria a lo largo de la historia. Del mismo modo se explicarán las ventajas y desventajas del uso de este tipo de buques.

Resumen

A lo largo del último siglo la tecnología ha avanzado de manera considerable, y en el ámbito marítimo no iba a ser menos, los sistemas integrados, así como los equipos que se encuentran en el interior de los buques cuentan con más automatización. En la actualidad se busca principalmente conseguir una mayor sostenibilidad en conjunto con una eficiencia para el sector marítimo.

Gracias a los avances tecnológicos del último siglo se ha podido llevar a cabo la automatización de los sistemas a bordo y los equipos instalados en los buques. El uso de estas tecnologías en conjunto con la búsqueda de la sostenibilidad y una mayor eficiencia en el sector marítimo, como contestación a los accidentes y la contaminación, ha llevado a la creación de unos buques de tipo autónomo, los cuales poco a poco transforman la navegación que se ha conocido hasta el momento.

Estos buques contienen a bordo sensores de navegación y sistemas de complejos que admiten llevar a cabo una navegación similar. Siguen existiendo unas cuestiones técnicas y legales, que deben ser analizadas con sumo detalle para que este tipo de buques puedan integrarse en el ámbito del transporte marítimo como una alternativa de igual forma, segura y fiable.

Durante este trabajo se hará un repaso por el inicio de los buques autónomos contando la historia de su inicio hasta lo actual, pasando por los diferentes niveles de autonomía que se conocen, sus clasificaciones y las características principales con las que se cuentan en estos buques. También se mirarán los estudios proyectos y ensayos que se han realizado para llegar a una serie de conclusiones sobre ellos. Además, se mirará la automatización de los puertos, los cambios sufridos para la modernización de alguno de ellos y los nuevos sistemas de amarre, donde se verá un futuro con menos peligro para los trabajadores. Se hablará también sobre la navegación autónoma en la actualidad y las ventajas e inconvenientes de esta, así como se repasará la legislación que afecta de forma directa a los buques autónomos y los cambios que algunas de ellas deben sufrir para poder aplicarse. Por último, se hace una revisión general sobre las ventajas e inconvenientes de la utilización de este tipo de buques.

Para finalizar, encontramos las conclusiones propias que se sacan tras realizar este estudio.

Abstract

Over the past century, technology has advanced considerably, and inside the maritime area it was not going to be less, more and more integrated structures, as gadgets inside ships are becoming more automated. Today, the principal objective is to achieve greater sustainability together with performance for the maritime sector.

Thanks to the technological advances of the last century, it has been possible to carry out the automation of on-board systems and equipment installed on ships. The use of these technologies in conjunction with the look for sustainability and more performance inside the maritime sector, as a response to accidents and pollution, has led to the advent of self-sufficient ships, which gradually transform navigation as it has been recognized up to now.

These ships incorporate on board navigation sensors and complex structures that allow for comparable navigation. There are nonetheless technical and legal issues, which ought to be analyzed in top-notch detail in order that this type of ship may be integrated into the field of maritime transport as an equally secure and reliable alternative.

During this work, we will review the beginning of the autonomous ships, relating the history of its beginning until the present, going through the different levels of autonomy that are known, their classifications and the main characteristics of these ships. It covers the different levels of autonomy known, their classifications and the main characteristics of these ships. It also looks at the studies, projects and tests that have been carried out to reach a series of conclusions about them. In addition, we will look at the automation of the ports, the changes undergone for the modernization of some of them and the new mooring systems, where we will witness a future with less danger for the workers. We will also talk about self-employed shipping today and the advantages and disadvantages of this, and we will review the legislation that directly affects self-employed ships and the changes that some of them must suffer in order to be applied. Finally, we will make a general review of the advantages and disadvantages of using this type of vessel.

Finally, we present the conclusions we have drawn from this study.

Introducción.

Desde el siglo pasado se han ido mejorando las tecnologías en el ámbito marítimo, lo que ha resultado en una mejora de los aspectos más importantes durante una navegación. El continuo estudio por avanzar y desarrollar nuevas tecnologías que faciliten las tareas y que las puedan llevar a cabo con más seguridad es fundamental. Por eso las diferentes empresas y universidades realizan investigaciones constantes en los diferentes campos que se relacionan con el mar y los buques. De todos esos estudios, algunos de ellos logran implementarse y se llevan a cabo en diferentes buques con mejor o peor resultado, pero siempre obteniendo datos concluyentes que puedan ser utilizados para mejorar.

La automatización de los equipos y los nuevos sistemas utilizados en la actualidad, dan como consecuencia que las tareas que antes eran realizadas por gente de mar, ahora pueda realizarlas una máquina y así ir reduciendo poco a poco la cantidad de tripulación a bordo de un buque.

El concepto de buque autónomo o buque sin tripulación no es tan reciente como cabe pensar, ya que desde el año 1973, el escritor alemán Rolf Schonknecht, en su libro “Buques y transportes del mañana” (Schonknecht, 1983), exponía la posibilidad de un futuro en el que los capitanes de los buques desempeñarían sus funciones desde tierra, mientras que, a bordo del buque, sólo estarían los ordenadores que se ocuparían de la travesía del buque.

En los años 80 del siglo XX, en Japón se empezó a discutir la posibilidad de desarrollar los buques autónomos operados sin tripulación. Sin embargo, esta idea perdió fuerza cuando las navieras comenzaron a contratar tripulación a unos precios bajos por la falta de trabajo existente en ese momento.

Seguidamente, en el 1990, el conocido diseñador de buques Kai Levander, padre del vicepresidente de innovación tecnológica de Rolls-Royce, Oskar Levander, demostró que un buque podía navegar distancias pequeñas sin necesidad de tripulación con la utilización de dispositivos GPS dirigidos por estaciones de tráfico marítimo y apoyados por prácticos en los últimos tramos (Crawford, 2018). Por esta época también el arquitecto naval Volker Bertram propuso que una combinación de inteligencia artificial y teleoperación podría permitir la navegación de buques sin tripulación (Crawford, 2018).

Estas propuestas no se llegaron a desarrollar ya que los costes de instalación y mantenimiento eran muy elevados para las agencias navieras. En el año 2007, nuevamente esta iniciativa sale a flote, gracias a un estudio sobre el desarrollo de la industria náutica. Este estudio exponía la posibilidad de una automatización más avanzada y con sensores mejorados, pero no llegaba a proponer una automatización completa por el alto grado de complejidad que suponía.

Después de unos cinco años, y gracias a este último estudio, grupos europeos de investigación comenzaron un proyecto colaborativo llamado MUNIN (Maritime Unmanned Navigation through Intelligence Networks) que tenía como propósito el desarrollo de un concepto posible de buque mercante no tripulado. La investigación abarcaba la navegación autónoma, comunicaciones y conectividad costera, propulsión y maquinaria automatizada, sistemas de redundancia y eficiencia, así como un grupo de estudio del rango legal. (Crawford, 2018)

Los buques sin tripulación, controlados remotamente, podrían ser un hecho que muy pronto estén en los mares navegando, ya que esta propuesta es la actualidad del futuro marítimo, así como los pros y los contras, de cómo afectará a la normativa actual y a las leyes existentes, ya que no se puede dar la espalda a los avances tecnológicos que van por delante de nosotros día tras día.

Capítulo 1. Buque Autónomo

Se entiende por buque autónomo, todo aquel buque en el cual ciertas tareas que en un buque tradicional son realizadas con tripulación se realizan mediante sistemas o equipos automatizados. A estos buques se les conoce también por MASS (Maritime Autonomous Surface Ship) que viene a referirse a “todo buque de superficie que, en diversos grados, pueda navegar sin depender de la interacción humana”. (OMI, 2018)

La funcionalidad de los buques autónomos está relacionada con la autonomía de este y la tripulación que tiene a bordo. Por ello, debemos clasificar los buques según su nivel de autonomía. Se debe establecer una relación entre el buque y la tripulación, diferenciando las funciones que debe cumplir cada uno.

El principal objetivo que debe cumplir el buque es preservar la seguridad durante la navegación y del entorno marítimo.

Según la OMI (OMI, 2018), un buque autónomo o MASS, se puede clasificar según su grado de autonomía recogiendo en cuatro grupos:

- **Buque con procesos automatizados y apoyo a la hora de tomar decisiones:**

Existe tripulación a bordo que opera y controla los sistemas, pero algunos de ellos se encuentran automatizados.

- **Buque que se controla a distancia, pero cuenta con tripulación a bordo:**

El buque es controlado desde unas instalaciones en tierra, pero se encuentra tripulado.

- **Buque que se controla a distancia, pero no cuenta con tripulación a bordo:**

El buque es controlado desde unas instalaciones en tierra, pero no se encuentra tripulado.

- **Buque totalmente autónomo:**

El propio sistema con el que cuenta el buque se encarga de tomar decisiones y llevar a cabo las acciones pertinentes.

Los niveles de autonomía se pueden definir (Veritas, 2017) como la cantidad de toma de decisiones que el sistema puede llevar a cabo sin tener en cuenta al operador u operario. Para que todo el conjunto funcione bien, es necesario definir el nivel de autonomía con el que cuenta cada sistema de manera que las funciones del operario y el sistema estén perfectamente determinadas. Una buena definición de esto nos la ofrece “Bureau Veritas” en el documento “NI641 GUIDELINES FOR AUTONOMOUS SHIPPING” (Veritas, 2017) en el que encontramos que en un sistema existen cuatro fases de procesamiento de información.

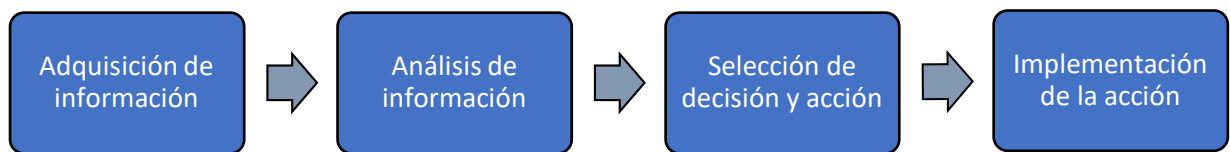


Ilustración 1. Fases de procesamiento de información. Fuente: Bureau Veritas.

Debido a este procesamiento, la autonomía con la que cuenta cada buque se organiza dependiendo de las capacidades con las que cuenta el sistema para llevar a cabo las misiones que tiene cada momento del proceso, las demás funciones que sobran deben ser realizadas por el operador. Es por esto, que se pueden establecer cinco grados de autonomía, empezando por la que más trabajo ponga sobre el operador, hasta finalizar por la autonomía total, donde sea el buque el que realiza todo el trabajo.

Además, con el fin de aclarar algunas nociones que se han creado con el surgimiento de los buques autónomos, encontramos algunas definiciones donde se especifica la categoría de la nave en función de su tripulación a bordo, de las capacidades que ofrece el sistema, de su nivel de autonomía y de la supervisión que necesita. (Veritas, 2017)

- **Buque convencional:**

La tripulación es quien decide las acciones que se realizan, así como toman las decisiones convenientes. Puede contener algún sistema automatizado, aunque solamente sirve como ayuda a la tripulación.

- **Buque inteligente:**

Es un buque conectado capaz de compilar la información que recibe a través de sensores y radares con el fin de asistir a la tripulación. Puede ser tripulado por una cantidad mínima de personal o no tripulado, siendo llevado por control remoto.

- **Buque no tripulado:**

Es un buque sin tripulación a bordo y es capaz de realizar un movimiento controlado. Puede ser llevado por control remoto, supervisado o totalmente autónomo.

- **Buque autónomo:**

Es un buque que cuenta con las mismas capacidades que un buque inteligente y que además, tiene unos sistemas autónomos, los cuales son capaces de realizar acciones y tomar decisiones sin la necesidad de supervisión humana. Puede ser llevado por un mínimo de tripulación o no tripulado con supervisión o no.

Con el fin de aclarar las relaciones entre los conceptos anteriormente mencionados y los niveles de autonomía, se adjunta la tabla siguiente, donde también se pueden observar otros conceptos importantes como pueden ser la toma de decisiones, el poder de la realización de acciones o el método de control:

Categoría del barco	Nivel de autonomía		Tripulado	Método de control	Decisión	Acción
Convencional	0	Operado	Sí	El humano toma las decisiones y realiza las acciones	Humano	Humano
Inteligente	1	Dirigido	Sí/No	El sistema sugiere acciones. El humano es quien toma las decisiones y realiza las acciones	Humano	Humano
Autónomo	2	Delegado	Sí/No	El sistema realiza ciertas funciones. El humano debe aceptar o rechazar las decisiones	Humano	Sistema
	3	Supervisado	Sí/No	El sistema no espera confirmaciones. El humano debe estar siempre informado de las acciones y decisiones	Sistema	Sistema
	4	Totalmente autónomo	No	El sistema no espera confirmaciones. El humano es informado solo en casos de emergencia	Sistema	Sistema

Tabla 1. Categoría de buques y nivel de autonomía. Fuente: Bureau Veritas.

Las amenazas que puede tener un buque autónomo son similares a las de un buque convencional, aunque pueden surgir otras nuevas debido a la disminución o ausencia de tripulación a bordo, pueden surgir del propio medio ambiente, de los buques que se encuentren en las cercanías e incluso de alguna de las decisiones que el propio buque tome por su cuenta. Es por esto, que comparándolo con un buque convencional donde los riesgos son tomados por una tripulación, en este tipo de buques se transfiere a los sensores y al sistema, llegando por último a los controladores que están en tierra.

Es una obligación que un buque autónomo o controlado a distancia sea igual de seguro que uno convencional que cuente con un diseño similar y el mismo propósito. Para asegurar la seguridad, este tipo de buques debe tener las siguientes características:

- Consentir que un ser humano se suba a bordo en caso de un escenario crítico como puede ser un incendio, pérdida de propulsión, etc.
- Permitir la presencia de humanos a bordo o en sus alrededores durante los ensayos marítimos o inspecciones.

- Debe poder ser manejado a bordo mediante un sistema de control que se encuentre incorporado en el buque o un dispositivo portátil sin importar la posibilidad de ser controlado por un sistema remoto.
- Permitir que los trabajadores autorizados tomen el control a bordo, primordialmente cuando se trata de un buque que transporte pasajeros.
- Permitir que cualquier pasajero active el pulsador de emergencia, en el caso de existir cualquier situación crítica como puede ser un pasajero por la borda.

Adicionalmente, un buque autónomo debe ser capaz de lo siguiente:

- Realizar el plan de viaje ya definido y actualizarlo en tiempo real si fuera necesario.
- Navegar de acuerdo con el plan de viaje establecido, evitando colisiones.
- Mantener un buen nivel de estabilidad en varios estados del mar, así como un buen nivel de maniobrabilidad.
- Soportar una intrusión física o virtual.

En lo referente a la carga de un buque autónomo debe llevarse el mismo procedimiento que un buque convencional. Debe realizarse de forma cuidadosa y monitorizada ya que las consecuencias para el buque podrían ser graves. La correcta estiba de la carga debe depender de los controladores ya que los buques autónomos no poseen los medios suficientes para poder asegurar una carga en el mar. (Caro R. V., ¿Es lo mismo un buque “AUTÓNOMO” que un buque “INTELIGENTE”?, 2018) (Marítimo, 2018) (Navales, 2019)

Capítulo 2. Estudios, proyectos y ensayos

A lo largo del tiempo, se han efectuado varios proyectos de buques autónomos y relacionados. Con ellos se han obtenido diferentes resultados y han llevado a los investigadores a avanzar y desarrollar nuevas ideas y métodos con los cuales intentar prescindir de una mano humana en el interior del buque. Esto es un trabajo complejo en el cual varias instituciones, universidades, empresas y sociedades han hecho diferentes contribuciones para aportar y mejorar el desarrollo de este tipo de buques.

- **MUNIN**

El proyecto MUNIN (Maritime Unmanned Navigation through Intelligence Networks) (MUNIN) (MUNIN, 2016), lanzado en 2012 y finalizado en 2015, se trata de un proyecto colaborativo financiado en una parte por las Comisiones Europeas, cuyo objetivo principal era el de verificar y desarrollar la significación de buque autónomo, además de desarrollar los sistemas que operan en el mismo para hacer más fácil la adaptación hacia los buques convencionales, mejorando el rendimiento de la navegación a corto plazo. En este proyecto también se evaluó la aptitud económica, técnica y legal. Las partes en las que se centra el MUNIN son:

- ❖ Crear una red para los sistemas TIC (Tecnologías de la Información y la Comunicación) que sirva para su uso durante las operaciones autónomas.
- ❖ Concretar los métodos del SCC (Shore Control Centre) para consentir el control remoto del buque.

- ❖ Examinar las labores que se deben realizar en el puente del buque y obtener una noción equivalente para el puente de un buque autónomo.
- ❖ Inspeccionar las tareas relacionadas con la máquina de los buques y obtener un concepto similar para el correcto funcionamiento en la sala de máquinas de forma autónoma.
- ❖ Localizar y estudiar los muros legales existentes, así como los de responsabilidad que existen para las embarcaciones sin tripulación a bordo.
- ❖ Estudiar la viabilidad de los resultados obtenidos para el correcto desarrollo de los conceptos de buque autónomo y no tripulado.

La investigación está basada en un buque granelero que transporta una carga de un lugar a otro realizando una travesía larga e ininterrumpida en alta mar, puesto que MUNIN no ve viable la automatización en lugares de mucho tráfico o en operaciones dentro del mismo puerto. El buque es operado por sistemas a bordo, sin embargo, las funciones de monitoreo y control son realizadas por un operador en el SCC (Shore Control Centre), por lo que el proyecto, explora los siguientes sistemas y entidades:

- Sistema de navegación autónomo que realiza el plan de viaje ya establecido con un pequeño grado de libertad para solucionar situaciones como puede ser un pequeño desvío debido a situaciones meteorológicas, pero estando siempre en el rango estipulado.
- Sistema de control autónomo para mantener los sistemas automatizados de los motores y mantener disponible un sistema de propulsión a chorro como medida redundante de timón y propulsión.
- Módulo de sensor avanzado para tareas de vigilancia mediante la unión continua de datos derivados del radar y el AIS combinados con cámaras de luz diurna e infrarroja.
- Un SCC (Shore Control Centre) compuesto por un operador, un ingeniero para aspectos técnicos y un equipo para la toma de decisiones.

A pesar de las grandes dudas que surgieron sobre el proyecto, se consiguieron algunos datos sobre el concepto de buque autónomo:

- Sistemas con alto aguante a los ciberataques.
- Disminución de los fallos en el motor y en otros sistemas mediante la correcta redundancia.
- Cuentan con el potencial para agrandar la rentabilidad de las navieras.
- Probabilidad de sistemas para la extinción más eficientes.
- Posible reducción del riesgo de colisión y hundimiento diez veces mayor tras hacer una comparativa con un buque convencional.

Finalmente, las conclusiones de este proyecto fueron sencillas, por un lado, se decía que un buque autónomo siempre debe estar siendo supervisado por algún operario, posiblemente desde tierra. Por otro lado, se debía minimizar el riesgo de colisión cumpliendo con las reglas del COLREG, además, de utilizar sensores que puedan estar siempre disponibles para operaciones de búsqueda y rescate.

- **AWAA**

El proyecto AWAA (Iniciativa de Aplicaciones Autónomas Avanzadas en el Agua) (AWAA, 2016) iniciado en 2016 es un proyecto que financió TEKES (Agencia Finlandesa de Financiación para Tecnología e Innovación), el cual tenía como objetivo realizar una descripción y diseños previos para la generación vecina de soluciones avanzadas para los buques. El AWAA estudia los resultados obtenidos por las investigaciones de otras organizaciones con el propósito de explotar la cuestión de negocio para las aplicaciones autónomas.

El AWAA decía que para que un buque autónomo se convierta en realidad debe responder estas cuestiones siguientes:

- ¿Cuál es la tecnología necesaria y de qué forma debe combinarse para que sea posible que un buque opere de forma autónoma con una distancia de millas a la costa?
- ¿Cuál sería la forma correcta de conseguir que el buque autónomo sea segura como las que existen actualmente? ¿Qué riesgos nuevos podrían aparecer? ¿Cómo podrían ser reducidos estos riesgos?
- ¿Cuál debe ser el correcto estímulo para conseguir que las empresas y operadores inviertan en la utilización de embarcaciones autónomas?
- ¿La utilización de embarcaciones autónomas es legal? En caso de producirse un accidente, ¿quién sería el responsable?

La realización de la primera fase tiene lugar en el año 2015, donde se inspecciona el estado de la explotación marítima, los rasgos tecnológicos, los de seguridad, legales y económicos para la correcta realización de operaciones remotas y autónomas. Al basarse en la primera fase, durante las siguientes dos fases se desarrollaron los detalles técnicos, legales y de seguridad para demostrar el concepto. En un inicio, las conclusiones a las que se llegan son:

1. Los buques autónomos tienen la posibilidad de ser controlados remotamente por lo que se llegaría a entender el concepto como un híbrido que depende del tipo y función que realice el buque.
2. La tecnología necesaria para el correcto desarrollo de un buque autónomo y remoto existe, pero se necesita combinar ambas cosas de correcta forma para que sean beneficiosos y confiables. El desarrollo de sistemas de toma de decisiones será un proceso progresivo, que dependerá de una gran variedad de pruebas y simulaciones.
3. Existe la posibilidad de disminuir los errores humanos, pero debe tenerse en cuenta la aparición de nuevos riesgos que deben solucionarse.
4. La legislación siempre puede modificarse, pero para ello se necesita apoyo en todas las áreas reglamentarias.
5. Los asuntos de responsabilidad están sujetos a las variaciones nacionales por lo que se deben investigar otras normas como la responsabilidad del producto, como perturbaría las reglas tradicionales y al seguro marítimo.
6. Los buques autónomos tienen la capacidad de rediseñar la industria marítima y los papeles que existen en ella teniendo una gran implicación.

Los siguientes pasos serían:

1. Desarrollo y ensayo de medios tecnológicos para operaciones autónomas, a través de la utilización de simuladores y la ejecución de pruebas en el mar en distintas condiciones meteorológicas para encontrar la correcta combinación entre los sistemas y los sensores.
2. Entender la aparición de nuevos riesgos por el uso de nuevas tecnologías fundamentándose en los estudios sistemáticos y completos para desarrollar nuevas direcciones.
3. Localizar y estudiar la existencia de vacíos legales que permitan la construcción y la operación con un buque autónomo de prueba, mientras la OMI estudia las reglas más acertadas.
4. Realizar un estudio teniendo en cuenta las distintas opiniones de los interesados en la construcción de buques autónomos para poder llevar a cabo varios modelos sobre costes e ingresos para los distintos tipos de buques.

El AWAA concluyó en 2017 y allanará el camino para la búsqueda de soluciones. Este proyecto mezcló la experiencia de los principales investigadores académicos de Finlandia con miembros destacados del grupo marítimo como Rolls-Royce, DNV GL, Inmarsat, Deltamarin, NAPA, Brighthouse Intelligence, Finferries y ESL Shipping.

- **ReVolt**

La sociedad DNV GL llevó a cabo un proyecto de desarrollo e investigación en conjunto con Transnova, en Noruega. El proyecto se puso en marcha en agosto del año 2013 con la finalidad de valer de inspiración para todo el sector marítimo con el fin de crear soluciones innovadoras para lograr obtener un futuro más sostenible. Al año siguiente se presentó como un proyecto que acaparaba múltiples disciplinas, basándose principalmente en el estudio de un buque que fuera eléctrico en su totalidad, para ser utilizado como transporte en trayectos con una distancia corta.

El objetivo principal es brindar una solución para reubicar la carga existente por carretera a la vía fluvial, pudiendo de esta forma cubrir el acrecentamiento en la demanda de transportes en las ubicaciones de tipo urbano. Esto demanda una valoración de las exigencias actuales de los itinerarios de transporte a una corta distancia, aunque Noruega es un país desarrollado en el estudio de nuevas formas para solventar inconvenientes relacionados con la masificación de tráfico en carreteras de la Unión Europea, que deriva de un crecimiento en la contaminación, costes y mayor aumento en la carga que se transporta. Como medida de apoyo, el gobierno de Noruega ha transformado el fiordo de Trondheim en un punto de ensayo para los buques autónomos y de esta forma proporcionar la alianza de sus fiordos y pasajes marítimos para una notable mejoría en el tránsito.

La construcción de ReVolt fue realizada en un modelo a escala 1:20 por parte de la sociedad DNV GL contando con la ayuda de la Universidad Noruega de Ciencia y Tecnología (NTNU), este modelo a escala navega por el fiordo Trondheim mientras cuenta con la supervisión de dos estudiantes, los cuales estudian la posibilidad de que los

métodos de control avanzados y el sistema de navegación puedan ser capaces de gobernar el buque no tripulado.



Ilustración 2. Modelo ReVolt. Fuente: www.dnvgl.com

Las características finales de este buque serían las siguientes:

- Eslora: 60 m
- Manga: 14.5 m
- Puntal: 13 m
- Francobordo: 8 m
- Calado: 5 m
- Velocidad de servicios: 6 nudos
- Capacidad de Carga: 100 TEU
- Propulsión: 2 hélices a popa y hélice de maniobra azimutal retráctil
- Peso muerto: 1300 T
- Potencia requerida: 50 kW



Ilustración 3. Prototipo del modelo ReVolt. Fuente: www.dnvgl.com

El ReVolt al ser un buque totalmente eléctrico, vio como sus costes en mantenimiento redujeron de forma considerable, además, al no tener ningún espacio destinado para la habitabilidad ahorra en peso, lo que suponía un aumento en el número de carga que pudiera llevar a bordo. El resultado de lo anteriormente mencionado, supuso un ahorro de más de un millón de dólares al año si es comparado con un buque de tipo convencional. (DNVGL) (HQ, 2017)

- **Yara Birkeland**

Un fabricante de productos químicos, Yara International y una compañía de tecnología, Kongsberg Maritime, se asociaron en el año 2017, con el fin de llevar a cabo la construcción de un primer buque de tipo contenedor que fuera autónomo y eléctrico a nivel mundial. Este proyecto fue apoyado con 133,6 millones de coronas noruegas provenientes de Enova, la cual es una empresa noruega, siendo esta la responsable de sembrar una elaboración y utilización de energía minuciosas con el medio ambiente.

El Yara Birkeland fue creado para lograr una mejora en la logística existente en el apartado de fertilizantes de la empresa Yara, la cual realiza más de 100 viajes diarios con camiones que son movidos por diésel para mover los productos por los puertos de Brevik y Larvik, desde donde Yara exporta sus productos a nivel mundial. Con la construcción del Yara Birkeland, se reduciría de forma considerable las emisiones de CO₂ y NO_x, al traspasar el transporte de la carretera al mar, lo que también supondría una mejora en la seguridad de la vía en las zonas urbanas.

El diseño del Yara Birkeland fue desvelado en el laboratorio marítimo de SINTEF Ocean, el cual está ubicado en Trondheim, Noruega durante septiembre de 2017. El proyecto que contaba con 6 metros de largo y 2,4 toneladas, estaba equipado con la tecnología que sería utilizada en el barco real. Este diseño fue obra de Marin Teknikk.



Ilustración 4. Prototipo Yara Birkeland. Fuente: www.tu.no

Kongsberg Maritime, fue el responsable de equipar al prototipo del Yara Birkeland con los sensores y el equipo necesario para la realización de unas correctas operaciones autónomas. Kongsberg Maritime creó un sistema de hélice para poder hacer frente a las pruebas en los tanques de SINTEF, antes de llevar a cabo la construcción del buque real. Al finalizar con las pruebas del modelo a escala, los resultados fueron exitosos, lo que hizo que se demostrase el concepto y la tecnología.

Más tarde, se realizó un acuerdo con Kalmar, un especialista en el manejo de la carga inteligente, el cual pertenecía a Cargotec. En el acuerdo, se pedía diseñar un sistema para hacer posible la carga y descarga autónoma en el Yara Birkeland. Este sistema incluyó la primera grúa pórtico montada en riel automatizada de forma completa en el mundo, la cual permite el transporte de la carga desde la planta de fertilizantes hasta el muelle donde se ubicaba el Yara Birkeland. Este acuerdo fue realizado en mayo de 2018.

Tres meses después del acuerdo anteriormente mencionado, se creaba otro acuerdo con VARD, un constructor de embarcaciones especializadas, para que construyera el buque por un valor de 250 millones de coronas noruegas. La fabricación del casco se realizará en VARD Braila ubicado en Rumanía y donde se estimaba que la entrega del buque fuera realizada durante los primeros seis meses de 2020 desde las instalaciones de VARD Brevik ubicado en Noruega. Una vez finalizada su construcción, el buque realizaría travesías tripuladas cambiando de forma lenta a un buque totalmente autónomo para el año 2022.

PG Flow Solutions fue contratado por VARD para la instalación de un sistema de bombas en la sala de máquinas que contara con refrigeradores para las baterías y propulsores con tobera. El sistema previsto es energéticamente eficiente, además, tiene unas exigencias de mantenimientos muy bajas, las cuales logran ajustarse de forma total a las características pensadas para el buque.

MacGregor, el cual forma parte también de Cargotec, firmó un acuerdo con Kongsberg a finales de 2018, donde se le solicitaba un sistema de amarre que fuera automático, la cual permitiera realizar las operaciones de amarre sin la intervención humana y de esta forma, respaldar la operación efectiva del Yara Birkeland.

El buque del Yara Birkeland contará con las características siguientes:

- Eslora: 80 m
- Manga: 15 m
- Calado máximo: 6 m
- Puntal: 12 m

- Velocidad de servicio: 6-7 nudos
- Velocidad máxima: 13 nudos
- Peso muerto: 3200 T
- Capacidad de carga: 120 TEU
- Capacidad de la batería: 7 MWh
- Propulsión: 2 propulsores azimutales (2400 kW) y 2 hélices azimutales con tobera (700 kW)



Ilustración 5. Modelo Yara Birkeland en puerto. Fuente: www.tu.no

Tanto la navegación como la realización de operaciones autónomas, serán ejecutadas a través de la existencia de un módulo de detección y alcance de luz (LIDAR), además de contar con otro módulo para las imágenes y la existencia de cámaras infrarrojas que trabajan de forma conjunta con la información previamente puesta en el radar y en el AIS (Automation Identification System). El módulo correspondiente a la comunicación estará compuesto por una radio marítima de banda ancha y una conexión de red privada virtual a través de Inmarsat.

El buque de contenedores trasladará fertilizantes desde la planta de Porsgrunn de Yara mediante las vías navegables hacia los puertos de Brevik y Larvik en un recorrido de aproximadamente unas 13 millas náuticas.

El buque será monitorizado y vigilado desde tres SCC (Shore Control Centre) existentes a lo largo de la costa sureste de Noruega que realizarán las funciones correspondientes tales como observar las condiciones del entorno, vigilar la navegación y las acciones que realiza el buque de forma autónoma, tomar decisiones en caso de situaciones desfavorables y responder a las emergencias para avalar una seguridad total a la navegación de este buque.

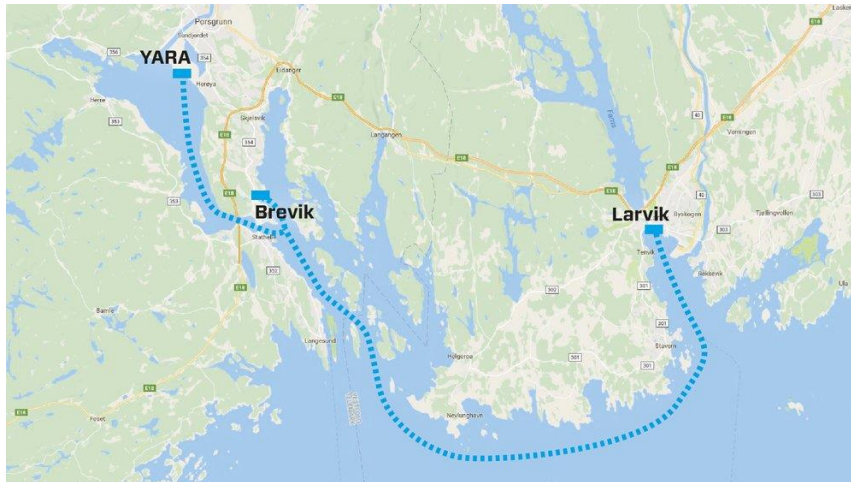


Ilustración 6. Recorrido Yara Birkeland. Fuente: www.yara.com

Este proyecto, ha sido posible gracias a la gran colaboración existente por parte Marin Teknikk, Yara International, Kongsberg, VARD, Kalmar, MacGregor, además de las autoridades noruegas y los proveedores de la seguridad tales como DNV GL. El proyecto ha tenido una gran repercusión social y tecnológica, la cual constituye una solución sostenible y eficiente que cumpliría con los objetivos 20-20-20 fijados por la Unión Europea. (Birkeland, s.f.) (STENSVOLD, 2018) (RINA, Yara Birkeland due in 2020, 2018) (corporation, 2019) (Yara)

- **One Sea**

En el año 2016, One Sea – Ecosystem for autonomous ships se formó como una colaboración finlandesa en la cual se reúne a expertos del sector marítimo con la finalidad de llevar a cabo un nuevo modelo industrial para el comercio marítimo y se líderes en el cambio hacia el ecosistema dinámico de buques comerciales automatizados en el Mar Báltico para 2025. DIMECC (Digital, Internet, Materiales e Ingeniería y Co-Creación) recoge en él, las claves para un correcto desarrollo de las innovaciones y su puesta en el mercado. Se trata realmente de una mezcla estratégica de indagación, información de vanguardia, tecnología y negocios avalada por la red de transportes autónomos bien investigados, probados y altamente capaces.

Los fundadores y socios de One Sea, son los siguientes:



Ilustración 7. Fundadores One Sea. Fuente: www.oneseaecosystem.net

One Sea sin duda ha sido pionero, dirigiéndose hacia un futuro marítimo autónomo que contiene una línea de tiempo hacia 2025 con los temas primordiales que serán investigados y los niveles de autonomía marítima. Las hojas de rutas, fueron creadas por

los representantes de las empresas incluidas en el ecosistema y comprobadas por un consejo informativo nacional e internacional. Las primordiales áreas y aspectos para el progreso son:

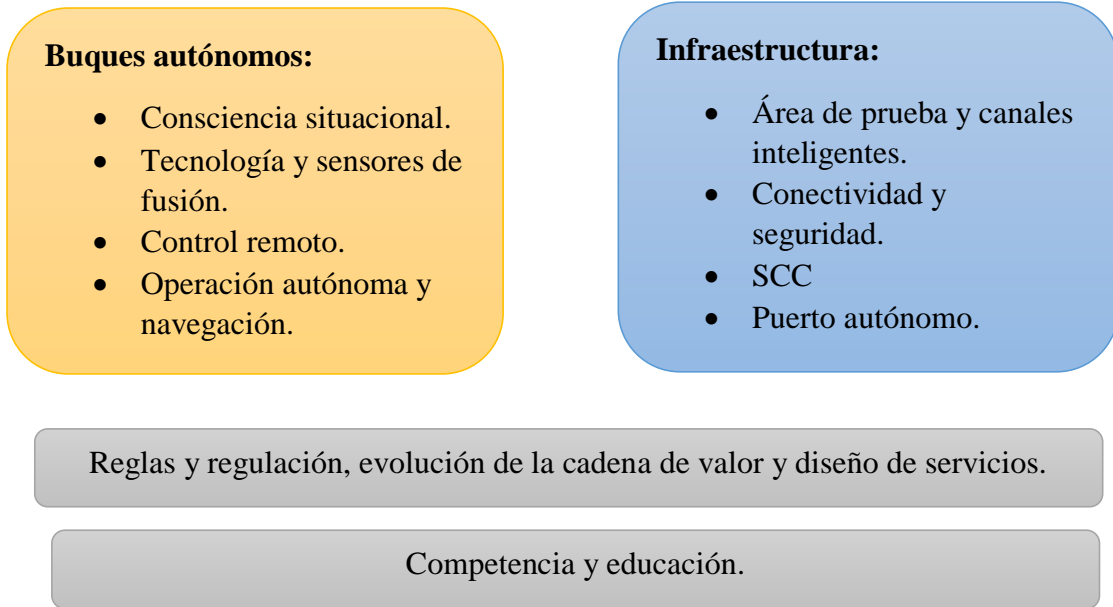


Ilustración 8. Principales áreas de desarrollo. Fuente: www.oneseaecosystem.net

El cronograma que se muestra abajo, tiene lo que se espera para el futuro del tráfico marítimo, mostrando como los órganos reguladores tendrán que apresurarse en aprobar nuevas regulaciones para que las normas y los reglamentos no se queden obsoletos.

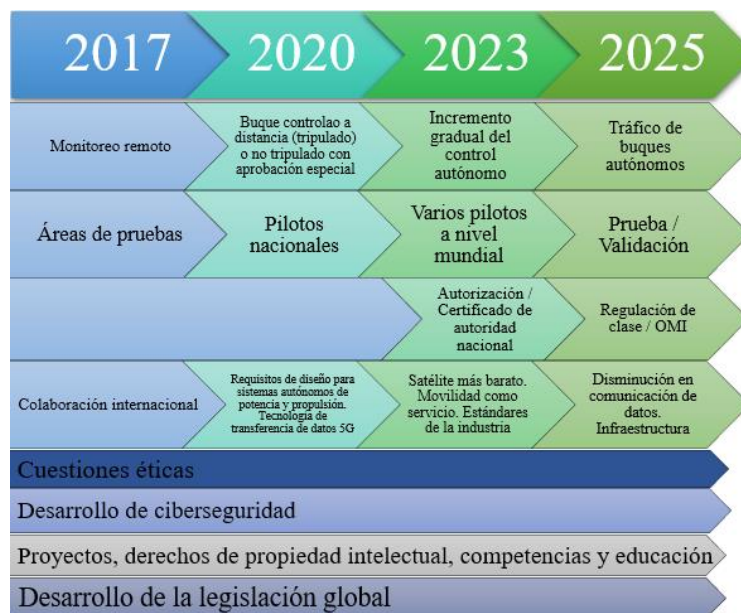


Ilustración 9. Cronograma One Sea. Fuente: www.oneseaecosystem.net

Las unidades nacionales e internacionales que cuentan con una visión a futuro, están haciendo todo lo posible para que el tráfico autónomo llegue a convertirse en una realidad. Esta visión es altamente aceptada en Finlandia, ya que el Ministerio de Transporte y Comunicaciones del país, está preparando la legislación para permitir el pilotaje remoto y autónomo en todo el territorio.

En Jaakomeri, situada en la zona costera de la ya antes mencionada Finlandia, se ha establecido una base abierta a toda empresa, instituto de investigación y otras instituciones deseosas de probar la tecnología de los buques autónomos, tráfico marítimo y/o tecnologías relacionadas con estos. Gracias a esta área de prueba, se ofrece una amplia conectividad de datos y otros servicios que gradualmente se irán desarrollando para mejorar la experiencia de prueba.

Las medidas del área de prueba no son iguales, ya que el lado norte cuenta con 17,85 kilómetros, siendo esta la más larga mientras que el lado del oeste solamente cuenta con 7,10 kilómetros.

Las empresas participantes en el proyecto ya pusieron el esfuerzo necesario para la creación de nuevos productos y software, así como de implementar soluciones que lleguen a hacer posible el tráfico autónomo en el ámbito marítimo. Las soluciones y creaciones que pretenden implementar son las siguientes:

- Finnpilot Pilotage quiere trabajar en conjunto con el numeroso grupo que compone el proyecto One Sea para la creación del concepto de pilotaje eléctrico funcional, para esto aportaría su gran experiencia en lo referido a maniobras y navegación en buques.
- Finferries pretende aumentar la seguridad existente para los pasajeros de los buques, así como asegurar un gran servicio para aquellos clientes que residan en zonas remotas a las que solo se puede acceder por vía marina, para lograr esto, quiere modernizar toda su flota implementando una modernización de los sistemas con los que cuenta a bordo. Otra de las cosas en las que se concentra esta empresa es en implementar un concepto de transporte limpio.
- Tieto por su parte, busca asociarse para llegar a localizar nuevas alternativas comerciales basándose en datos. Esta empresa juega un papel fundamental en el ecosistema, ya que se basa en el internet de las cosas (IoT), haciendo que el tráfico marítimo existente en el Mar Báltico sea mucho mejor.

Cabe destacar, que el proyecto se encuentra trabajando en unas hojas de ruta, las cuales tratan sobre los principales temas como pueden ser los aspectos técnicos, de seguridad, etc. Para que todo esto sea posible en el año 2025, se encuentran haciendo investigaciones y debatiendo todas y cada una de las partes. (Sea, 2016) (Finland, NE SEA – AUTONOMOUS MARITIME ECOSYSTEM GROWS, 2017) (DIMECC) (Corporation T.)

- **SIMAROS (Hrönn)**

Este proyecto de colaboración llamado SIMAROS (Implementación segura de operación autónoma y remota de buques) está elaborado por parte de Reino Unido y Noruega. Ya en 2018, este proyecto logró construir un buque offshore totalmente autónomo y no tripulado.

El principal objetivo con el que contaba este proyecto era desarrollar una tecnología que fuera apoyada por la regulación que le permitiera llevar a cabo las operaciones de forma segura en el buque offshore no tripulado mediante el uso de operaciones remotas y autónomas que consiguiera demostrar los beneficios existentes en los conceptos anteriores implementándolos en el entorno comercial y fueran totalmente viables.

Automated Ships Ltd y Kongsberg Maritime llegaron a firmar un memorándum de entendimiento (MDE) en el año 2016. Con este memorándum pretendían realizar la construcción del buque, pudiendo aprovechar la tecnología que existía y lograr la creación de un buque que fuera robusto, rentable y flexible, ya que serviría como un soporte en las instalaciones existentes en alta mar. Este buque fue construido por un astillero noruego que contaba con una gran reputación en el ámbito de construcciones de buques rápidos y de aluminio de última generación, Fjellstrand As. Para llevar a cabo las pruebas de navegación pertinentes se realizó una colaboración con DNV GL y la Autoridad Marítima de Noruega (NMA), realizándose estas en el fiordo de Trondheim.

El principal integrador de este proyecto fue Automated Ships Ltd, siendo también el responsable del despliegue del buque para las operaciones comerciales realizadas en el Golfo de México, Mar del Norte y en África Occidental. En el aspecto tecnológico, el principal aportador de equipos y sistemas para que el buque tuviera un correcto diseño, una correcta construcción y una correcta operación fue Kongsberg Maritime. Los sistemas referentes al posicionamiento dinámico (DP) y la navegación, además de la comunicación y automatización, fueron aportados por el constructor del propio buque.

Se trata de un buque multiusos de servicios ligeros, ya que se encarga de realizar los servicios a las empresas de energía marina, hidrográficas, científicas y acuícolas existentes en alta mar. Los usos que este buque tenía previstos en un principio son los siguientes:

- Reconocimiento, levantamiento, recuperación y lanzamiento de ROV (vehículo operado de forma remota) y AUV (vehículo autónomo submarino).
- Transporte a instalaciones existentes en alta mar de una carga considerada ligera.
- Servir de soporte a las piscifactorías existentes en aguas abiertas.
- Ser capaz de ofrecer apoyo en caso de una situación de peligro en alta mar como puede ser un incendio a bordo a embarcaciones que cuenten con tripulación, considerándose este un buque de reserva.



*Ilustración 10. Prototipo de Hrönn. Fuente:
www.rina.org.uk*

El buque tiene un espacio en cubierta capaz de transportar contenedores, contando con 37 metros de eslora. Automated Ships optimizó el diseño original del casco, para poder ofrecer un aumento en la capacidad de la carga, así como aumentar la flexibilidad que le permitiera realizar un mayor número de misiones.

El Hrönn cuenta con un sistema de información y de visualización de cartas electrónicas (ECDIS), así como con una pantalla electrónica de cartas K-Bridge las cuales son capaces de replicarse en el SCC (Shore Control Centre), permitiéndoles ejecutar las operaciones remotas del buque, así como también permite que el controlador monitoree y planifique la ruta que debe seguir. La información referente con la navegación se presenta en una pantalla TFT (Thin Film Transistor), la cual cuenta con una alta resolución.

Se esperaba que esta embarcación de tipo autónomo revolucionara la industria marina siendo capaz de reducir los costes en lo referente a construcciones y operaciones, además, evitar de esta forma el uso de personal durante operaciones en alta mar que contarán con un entorno poco seguro para la vida. (RINA, 2017)

- **Folgefonn**

En 1998, se construyó un buque de diésel que contaba con 85 metros de eslora y 15 metros de manga, el cual contaba con la capacidad de transportar en su interior un total de 76 vehículos y 300 pasajeros, conociéndose como Folgefonn. En la actualidad este buque está prestando servicios entre algunas islas en el suroeste de Noruega siguiendo la ruta Jektevik-Hodnanes. Este buque actualmente pertenece a la compañía Norled.

Para que el buque pudiera operar en la actualidad, que pudiera reducir sus emisiones, en 2014 se llevó a cabo un reacondicionamiento de este, convirtiéndolo en un buque de tipo híbrido contando con la ayuda de un grupo finlandés famoso por contar con cargas inductivas inalámbricas y unos sistemas de almacenamiento de energía, lo que permite a Folgefonn cargar sus baterías una vez en puerto sin la necesidad de utilizar cables, esta

empresa es conocida por el nombre de Wärtsilä. Además de esta mejora, Folgefonn ahora cuenta con una tecnología de acoplamiento al muelle por vacío (Cavotec), tecnología que permite mantener el buque en el muelle mediante la succión. Gracias a su reacondicionamiento, el buque puede trabajar en diversos modos, como puede ser el híbrido, totalmente eléctrico o simplemente funcionar como un buque convencional. Esto ha supuesto que Folgefonn reduzca en un 30% sus emisiones.

Las características principales de este buque son:

- Distintivo de llamada: LJJR
- MMSI: 259530000
- Tipo: RO-RO / Buque de pasaje
- Manga: 15 m
- Eslora: 84,7 m
- Arqueo bruto: 1182
- Peso muerto: 597 T
- Construcción: 1998
- Bandera: Noruega



Ilustración 11. Folgefonn. Fuente: wikimedia.org

En enero de 2018, se realizó la primera prueba del sistema de atraque automático de Wärtsilä, a través de una simulación de un muelle en aguas abiertas, teniendo un resultado exitoso. Más tarde, en noviembre de 2018, se ejecutó la primera navegación autónoma entre los puertos que atiende este barco sin la presencia humana a bordo, aunque contando con la NMA (Norwegian Maritime Authority).

El acoplamiento automático está basado en todos los factores que influyen al buque en su acercamiento al muelle, para poder ejecutar la maniobra de forma automática. El sistema se activa a 2 kilómetros del muelle mientras el buque mantiene una velocidad normal. Más tarde, el sistema va reduciendo la velocidad de forma gradual mientras se activa la alineación como la maniobra de atraque hasta que el buque esté totalmente asegurado en

el muelle. Cuando el barco debe volver a navegar, se realiza el mismo proceso, pero en el sentido contrario. Esta tecnología ofrece una mayor seguridad y eficiencia ya que existe un menor riesgo en cuanto a fallo humano, además, de una reducción en el desgaste de los propulsores que son utilizados durante un atraque. En conclusión, los riesgos se reducen al realizar operaciones uniformes, económicas y estables, incluso siendo realizadas en unas condiciones climatológicas y ambientales desfavorables.

La navegación autónoma es controlada a través de una serie de puntos existentes como referencia que logran guiar al buque hasta el siguiente punto. El controlador autónomo, el cual está basado en el sistema DP de la empresa Wärtsilä en conjunto con el sistema de navegación global por satélite (GNSS) son capaces de controlar el rumbo, la velocidad y la posición del buque. El software se encarga de forma automática de las maniobras que realiza el buque incluyendo en esto lo referente a la propulsión y dirección, aunque siempre está disponible la intervención manual por parte del controlador. Todos los buques con un sistema parecido al de Folgefonn, necesitan contar con tripulación para poder controlar las operaciones automáticas que este realice. (FARNSWORTH, 2018)



Ilustración 12. Auto atraque Folgefonn. Fuente: www.wartsila.com

Las empresas colaboradoras en este proyecto recibieron una subvención por parte de Innovation Norway, el cual es un fondo de inversión para poder realizar las pruebas pertinentes del acoplamiento automático y el controlador, además, para conseguir integrarlos dentro del sistema híbrido. El principal objetivo de esto, es el de mover la industria marítima hacia una nueva etapa de eficiencia, sostenibilidad ambiental y seguridad tanto para los trabajadores del ámbito marítimo como para los propios buques. (Wartsila, 2018) (Executive, 2018) (Corporation W. , 2018) (Traffic)

- **SVAN (Falco)**

En mayo de 2018, se inició un proyecto conocido como SVAN (Safer Vessel with Autonomous Navigation), por parte de la empresa Rolls-Royce y Finferries, siendo este un proyecto financiado por Business Finland, cuyo objetivo principal era el de seguir ampliando los descubrimientos obtenidos tras el proyecto AWAA y llegar a obtener de

forma conjunta una serie de soluciones que garanticen la seguridad y la eficiencia de los buques a través de un sistema basado en el apoyo a la tripulación, lo que garantizaría la demostración de los buques autónomos y remotos.

En diciembre de ese año, las empresas colaborativas lograron demostrar con un gran éxito el primer buque autónomo del mundo que contaba con la incorporación de un SCC (Shore Control Centre), además de un nuevo sistema de navegación autónomo y los sensores de consciencia. Rolls-Royce, pudo demostrar su sistema de auto atraque, el cual es conocido como Autodocking, este permite al buque alterar de forma automática la velocidad y el rumbo que tiene al aproximarse al muelle, pudiendo realizar de forma automática en el atraque.

La embarcación Falco utilizó la tecnología anteriormente mencionada para poder llevar a cabo la navegación de forma autónoma en el archipiélago de Turku, en Finlandia. En la primera demostración, se contó con 80 invitados VIP, realizando el viaje de forma autónoma y logrando detectar mediante los sensores los objetos colindantes al buque y las IA, que construyen las imágenes del entorno en tiempo real, lo que logra evitar colisiones. Por otro lado, el viaje de regreso se realizó utilizando el sistema de control remoto operado por un SCC, contando con una serie de características:

- En las oficinas de Finferries se construyó un SCC (Shore Control Centre) siendo de tercera generación y de vanguardia.
- El controlador del SCC (Shore Control Centre) puede tomar el control del buque en cualquier momento.
- Capas intercambiables en una pantalla curva presente frente al capitán.
- Diseño centrado en la ergonomía del usuario.
- Tecnología 4G, Wi-Fi y satélite para alta resolución y conectividad.



Ilustración 13. SCC Finferries. Fuente: breakingwaves.fi

La imagen fue creada mediante la fusión de los datos del sensor, transmitiéndolos al centro de las operaciones remotas en Finferries. El controlador supervisó todas las operaciones que se realizaron de forma autónoma teniendo la posibilidad de tomar el

control en cualquier momento. Desde su salida en Parainen, el buque Falco logró evitar tres obstáculos:

- Obstáculo A: Se trataba de un buque estacionario que se encontraba en la trayectoria prevista. Falco logró realizar la maniobra a estribor pudiendo evitarlo y así continuar la navegación.
- Obstáculo B: Se encontró con una situación de vuelta de buques. Ambos consiguieron maniobrar y lograron evitar la colisión.
- Obstáculo C: Falco se cruzó con otro buque, este logró maniobrar a estribor para buscar la popa del otro buque y de esta forma, cederle el paso.

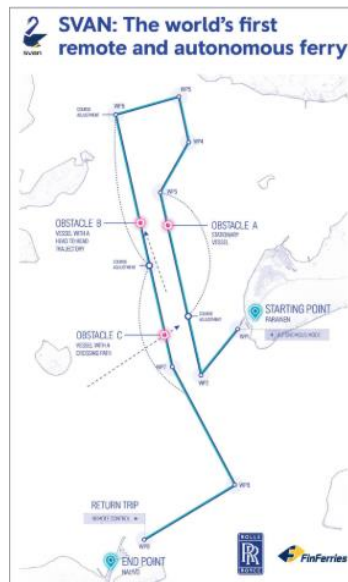


Ilustración 14. Obstáculos evitados por Falco. Fuente: breakingwaves.fi

Durante la totalidad de los obstáculos mencionados con anterioridad, el buque tuvo la capacidad de entender las situaciones y actuar ante estas de forma adecuada y con el tiempo necesario para realizar las maniobras correspondientes, mientras de forma simultánea, seguía el plan de viaje establecido sin tener necesidad de una actuación por parte de la tripulación existente.

Es un buque de doble extremo que cuenta con 53,8 metros y está equipado con los propulsores azimutales gemelos creados por Rolls-Royce. Las principales características que se conocen sobre Falco son las siguientes:

- MMSI: 23098739
- Distintivo de llamada: OI7119
- Eslora: 52 m
- Manga: 12 m
- Tipo: RO-RO / Buque de pasaje
- Capacidad de vehículos: 54
- Peso muerto: 129 T
- Arqueo bruto: 517

- Construcción: 1993
- Bandera: Finlandia



Ilustración 15. Falco. Fuente: breakingwaves.fi

Este proyecto tuvo la gran oportunidad de demostrar en el ambiente marítimo como la tecnología actual de Ship Intelligence logra aportar unos beneficios considerables en las operaciones eficientes y seguras de los buques. Fue una colaboración con un éxito rotundo.

Tras este proyecto, se lograron llegar a tres conclusiones:

- Logra reafirmar que las tecnologías autónomas y remotas sirven para brindar grandes beneficios en lo referente a la seguridad y operaciones realizadas de forma eficiente.
- Demostró que la tecnología de los barcos inteligentes siempre se puede desarrollar, además de combinar e instalar de forma segura, sostenible y rentable.
- Aportó futuras soluciones para la navegación autónoma e inteligente.

(Finland, ROLLS-ROYCE AND FINFERRIES SIGN COOPERATION AGREEMENT, 2018) (Rolls-Royce, Rolls-Royce and Finferries demonstrate world's first Fully Autonomous Ferry, 2018) (Rolls-Royce, SVAN - Safer Vessel with Autonomous Navigation, 2018)

Capítulo 4. Automatización de los puertos y sistemas de amarre

Con el paso del tiempo, los avances y la modernización que se han producido en el sector marítimo ha llevado a construir buques de un mayor tamaño y a utilizar los contenedores como un método para facilitar la carga y la descarga en los puertos, esto se puede ver en la utilización de un equipamiento más moderno, en la prestación de los servicios de valor añadido, además, de la utilización de tecnología de última generación en las comunicaciones y en la informática.

En el ámbito marítimo, existe una nueva tecnología para el estudio de las maniobras a tiempo real, un simulador que reproduce de manera real el comportamiento de los buques a la hora de entrada y salida de puerto durante la ejecución de las maniobras pertinentes.

Este simulador cuenta con instrumentos de navegación reales, radar sintético, reproducción visual de los escenarios a través de una pantalla dependiendo de las capacidades técnicas de cada simulador, perspectivas desde distintos ángulos, además incorpora las variables de los agentes ambientales, señales audibles y visibilidad limitada. Como aliciente, existe la posibilidad de incorporar la acción de los remolcadores en las maniobras de operaciones realistas. (Portmart, 2015)

En la actualidad, se implementan los conocidos “Smart Ports” o puertos inteligentes, los cuales apuestan por el uso de la tecnología para la transformación de los servicios públicos de los enclaves portuarios. El objetivo principal de este tipo de puertos es cumplir con la necesidad de los usuarios de los puertos con una mayor eficacia y transparencia.

Con la implementación de esta tecnología se podrán registrar las matrículas de los vehículos entrantes y salientes del puerto a través de cámaras, monitorizar los camiones entrantes en cada terminal con el fin de controlar, ordenar y planificar el tráfico interno de cada puerto, además, se podrían incluir sistemas de alarmas de seguridad y previsión. Lo que se resume en un mayor rendimiento de la dársena y la facilitación y optimización de la gestión portuaria.

Los principales beneficios de los Smart Ports son:

- Mayor rentabilidad comercial: la buena eficiencia en transporte marítimo y una buena gestión portuaria se verían reflejados en el precio final del producto y de los servicios.
- Transformación institucional: la gestión de los puertos se simplificaría y se automatizaría.
- Transformación digital: permite la optimización de la carga, descarga, almacenamiento, etc. Además, permite detectar riesgos en el transporte marítimo como por ejemplo los altos niveles de contaminación.

Los puertos inteligentes no son cosa del futuro, sino del presente, debido a que ya hay en marcha algunos proyectos, iniciativas y programas para el desarrollo de estas medidas.

Existen algunos puertos españoles que ya están trabajando con este concepto de Smart Ports:

- El puerto de Vigo, que está centrado en la eficiencia energética y monitorización de atraques utilizando el sistema Smart Viport.
- El puerto de Sevilla, optimizando el tráfico de buques utilizando el proyecto Tecnoport.
- El puerto de Barcelona, que utiliza la innovación de los aspectos logísticos mediante el programa Port Challenge.

Los puertos inteligentes son los que subsistirán en el futuro ya que serán los únicos capaces de atender la alta demanda de productividad y necesidad ecológica, gracias en parte al mantenimiento con unos costes controlados.

Se trata de un futuro actual al que tanto las empresas logísticas y de transporte deberán adherirse para lograr la evolución y llegar a ser competitivas a nivel mundial. (Gómez, 2018)



Ilustración 16. APM Terminal Barcelona. Fuente: www.apmterminals.com

Durante la vida de los buques, estos pasan mucho tiempo amarrados a puerto, por lo que los dispositivos que los mantienen unidos al muelle juegan un papel importante en la industria naval, por lo que su desarrollo debe atenderse tanto como la de los buques. Automatizar el proceso de amarre debe llevarse a cabo tras el estudio de las condiciones del medio ambiente y las cargas, la forma de los cascos, los requisitos estructurales, las necesidades de los usuarios, etc. Se trata de un área muy compleja, por lo que, entre el sistema tradicional y el automático, se han creado algunos sistemas semiautomáticos con menos costes. (Caro R. V., 2014)

Si echamos la vista atrás, el amarre de los buques siempre se ha llevado a cabo por medio de cabos, los cuales para resultar eficientes dependen del ángulo que formen con la horizontal y la vertical del muelle. Además de los cabos, en el sistema de amarre actual también se utilizan los norays, las bitas y los cabrestantes, con sus ventajas, desventajas y limitaciones.

Tras la consulta de varios estudios, se llegó a la conclusión de que el método de amarre actualmente utilizado es uno de los que más accidentes laborales produce, causando lesiones graves o incluso la muerte. Los puertos también muestran su preocupación por el gran número de accidentes sucedidos, donde se llegó a la conclusión de que se ocasionan por un fallo en la comunicación entre buque y puerto, además, de la realización de prácticas peligrosas durante las operaciones de amarre. Los estudios consultados son los siguientes:

- El JTSB (Japan Transport Safety Board) realizó una investigación dedicada a los accidentes que causaban heridos ya sea de carácter leve o grave y muertos a bordo de los buques japoneses, además de los no japoneses, que se encontraban en aguas japonesas durante los accidentes. El estudio se realizó con los años comprendidos entre 2008 y 2012, recogiendo un total de 95 accidentes que llegaron a afectar a 116 personas.

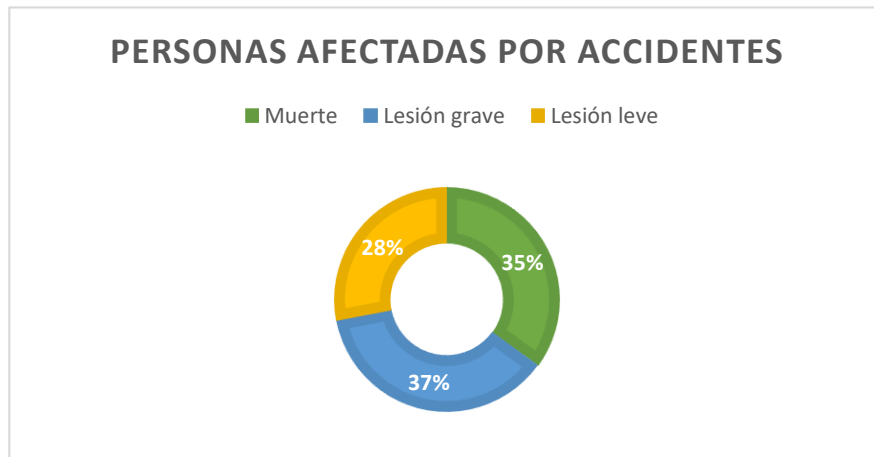


Ilustración 17. Gravedad de los accidentes en Japón durante 2008 y 2012. Fuente: JTSB

Como podemos observar en la ilustración anterior, un total de 72% de las personas sufren graves consecuencias. Además, como se observa en las siguientes ilustraciones, 1/3 de accidentes y 1/4 de las muertes, son producidas por las operaciones relacionadas con el amarre y el fondeo, lo que hace necesario encontrar una nueva forma de amarre menos peligrosa para la tripulación.

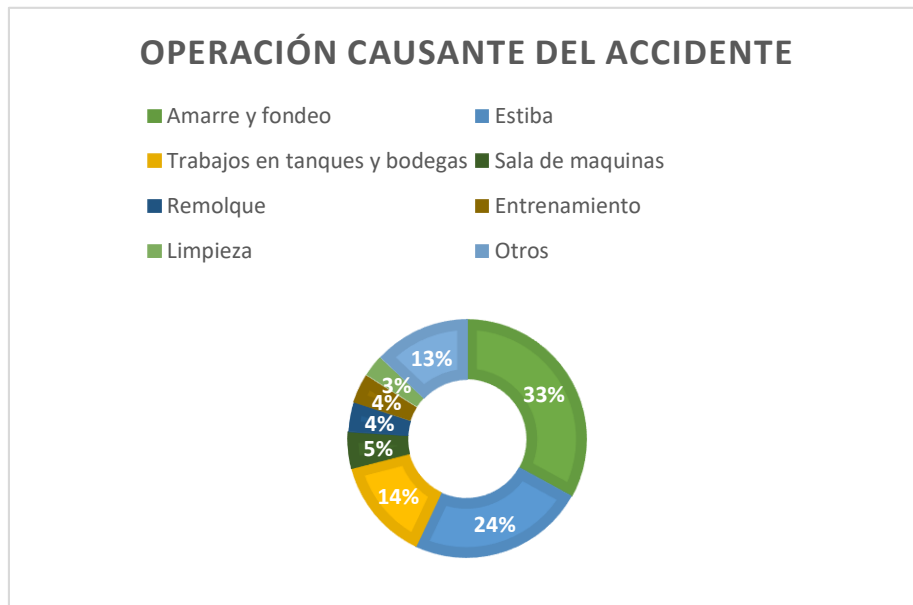


Ilustración 18. Causa de accidentes en Japón. Fuente: JTSTB.

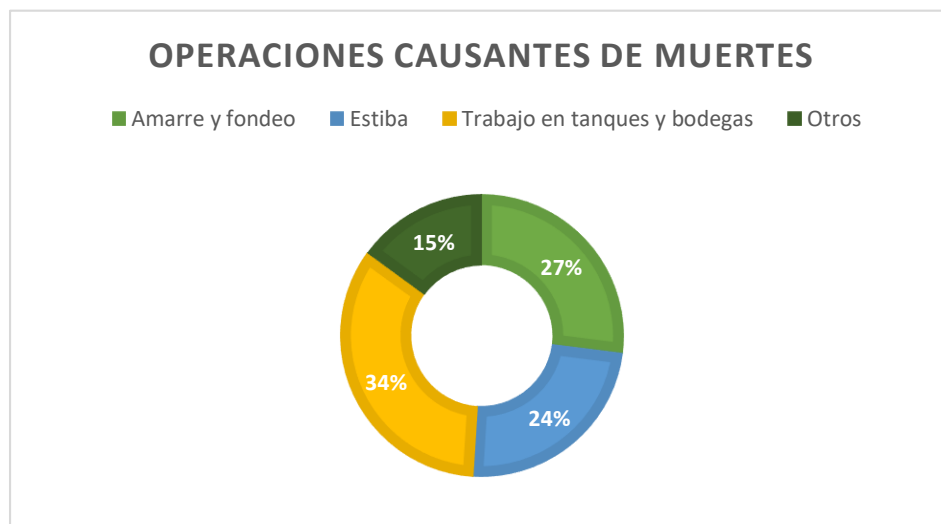


Ilustración 19. Causa de muertes en Japón. Fuente: JTSTB.

Con este estudio, se llegó a la conclusión que, durante los años estudiados y analizados, tuvieron lugar una media de 7 accidentes y 2,6 muertes en cada año, debido a la realización de operaciones con el sistema de amarre o el sistema de fondeo. (JTSTB, 2012)

- Division for Investigation of Maritime Accidents, de la autoridad marítima danesa, enfocó el estudio que realizó en los accidentes surgidos por operaciones de amarre y de fondeo, entre los años 1997 y 2005, en buques daneses o buques que operaban en estos puertos. Destaca que la siniestralidad en buques daneses es menor a la que se detectaba anteriormente en el estudio japonés, llegando a reducir el número hasta en un 35%.

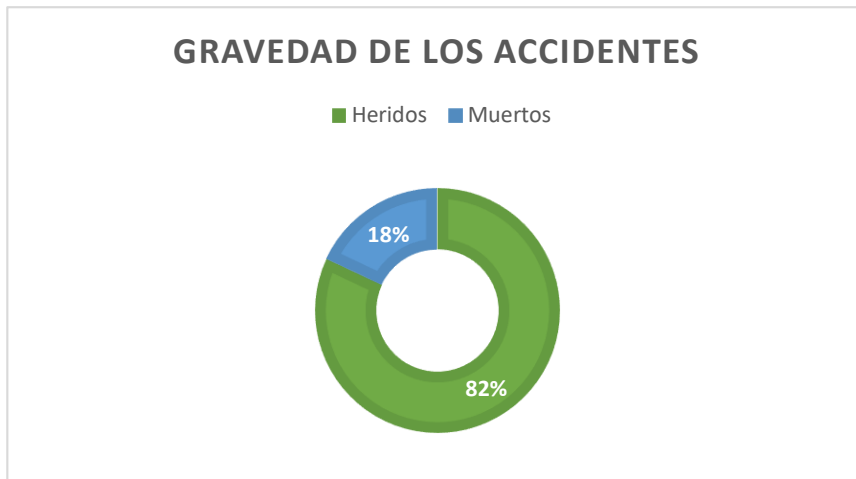


Ilustración 20. Siniestralidad en Dinamarca por amarre. Fuente: Division for Investigation of Maritime Accidents.

En la siguiente figura, se podrá notar como la tendencia fue ir reduciendo el número de accidentes, no obstante, las cifras superiores a cinco personas fallecidas por año siguen sin ser satisfactorias. En este momento, Dinamarca es uno de los principales países que apuestan por el sistema de amarre por vacío, caracterizado por disminuir al mínimo el riesgo de accidentes. En 2015, en conjunto con Australia fue el país con más puertos que tenían incorporados este sistema de amarre, con un total de 6 por cada país. (DMA, 2014)

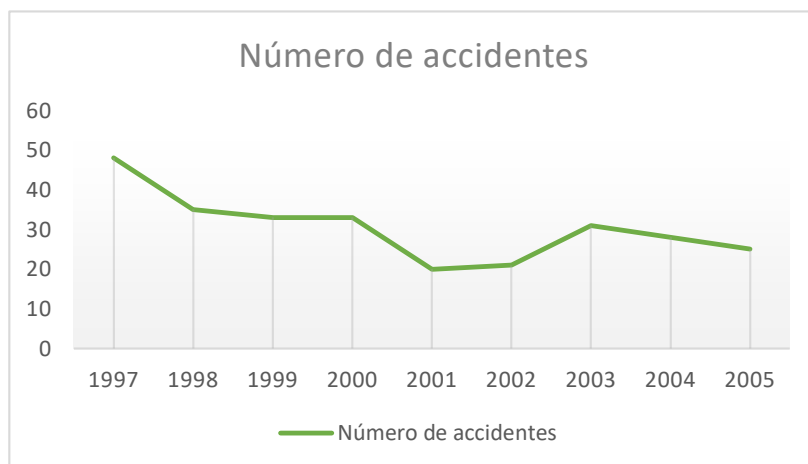
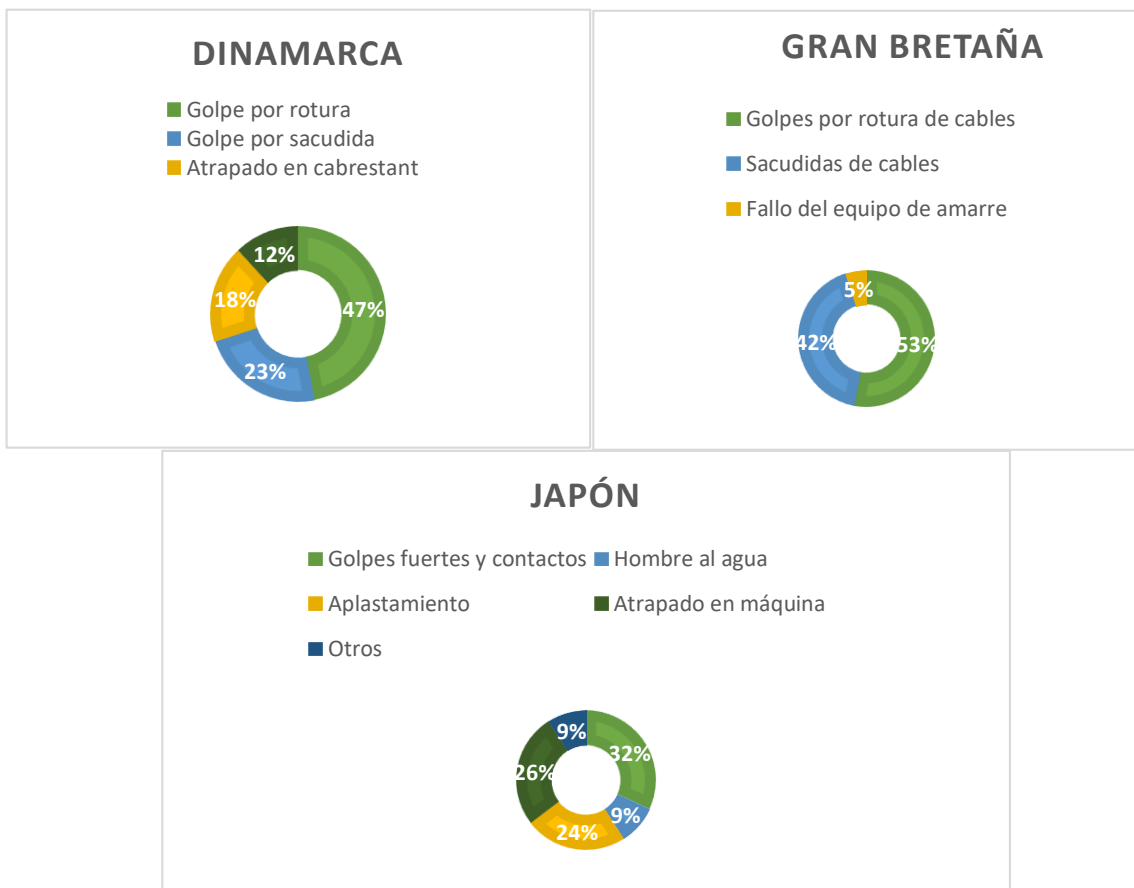


Ilustración 21. Evolución de los accidentes por amarre y fondeo en Dinamarca. Fuente: Division for Investigation of Maritime Accidents.

- Por último, el estudio de Gran Bretaña, el cual abarca veinte años, desde 1989 hasta 2009, refleja un menor porcentaje, 14% de muertes en los accidentes debido al sistema de amarre de los buques. (Club, 2009)

Los tres estudios quisieron ir más allá de los accidentes causados por operaciones de amarre y buscar cual era la causa que generaba la mayoría de los accidentes, llegando a la misma conclusión en todos los estudios, los golpes debido a roturas o sacudida de cabos son el mayor peligro como se puede ver en las siguientes ilustraciones:



*Ilustración 22. Causa de los accidentes en las operaciones de amarre de los países.
Fuentes: Division for Investigation of Maritime Accidents, JTSA, UK Club.*

Para la prevención de los accidentes a bordo durante las operaciones de amarre es obligatorio tener en cuenta el mantenimiento del material y de los equipos, la vigilancia de las operaciones por un equipo cualificado y el amparo de los tripulantes tomando diferentes medidas.

En lo referente a la protección de los tripulantes, lo primero que se realiza es informar de los peligros que la operación de amarre conlleva, para esto, los tripulantes más experimentados deben ejercer como modelo de los tripulantes noveles y enseñarles cómo

ejecutar la maniobra de forma segura. Es importante que se les enseñe cuáles son las zonas peligrosas, que no deben pasar cerca de cabos que estén en tensión ni deben dejar objetos en la zona de trabajo. Además, se les debe proveer de los equipos reglamentarios de protección individuales, que, en este caso, serían zapatos de seguridad, un mono de trabajo correspondiente, casco y guantes. También es importante recordar, que durante la operación de amarre y desamarre, solo debe estar en la cubierta el equipo correspondiente.

Para mantener la correcta seguridad de los trabajadores es importante que se pinten en cubierta con un color distinto las zonas de peligro, para que los tripulantes no tengan que estar atentos sobre si están o no en una zona de peligro, además, esto sirve para alertar a nuevos tripulantes, visitantes o personas en prácticas. Para que este sistema sea efectivo, no solo se pintan las zonas de peligro, sino los equipos que están involucrados, los cuales no solo deben estar correspondientemente pintados, sino, engrasados y ser inspeccionados de forma continua para comprobar que están en óptimas condiciones. En caso de que la inspección sea defectuosa, se debe cambiar el equipo.



Ilustración 23. Zona de peligro, pintada de un color diferente. Fuente: UK Club.

La zona por donde retrocedería el cabo en caso de rotura, es la que se debe pintar y señalizar de forma correcta, tal y como se puede observar en la ilustración número 23. Además, si la línea de tensión rodea un elemento, es obligatorio que se pinte un arco donde el elemento sea el centro, para informar de esta manera a los trabajadores. Estas zonas se pintan debido a la peligrosidad que tienen, así en caso de rotura de cabo, los tripulantes estarían lejos de estas zonas evitando cualquier tipo de accidente. (Club, 2009)

Existen diferencias en las roturas que dependen del material utilizado para la operación de amarre. Por ejemplo, si la amarra utilizada es de fibra sintética, solamente se producirá un fuerte latigazo o retroceso que se debe a la elasticidad, sin embargo, no se emitirá ningún sonido. Mientras que, por el lado contrario, los cabos de acero si emiten sonido antes de su rotura, esto es debido a que los cables que conformar la amarra se van rompiendo uno a uno. Este tipo de amarra, pese a no tener un desplazamiento tan grande, causa lesiones graves o incluso fatales. (OIT, 1996)

El material debe ser revisado de forma continúa para poder evitar accidentes. Existen una serie de daños que se pueden encontrar en los cabos, los cuales se mencionaran a continuación:

- Estricción: producida en el enrollamiento si el diámetro del carretel no es lo suficientemente grande.
- Aplastamiento: produce pérdida de la resistencia a la flexión.
- Abrasión: pérdida del material debido al rozamiento.
- Corrosión: producida por el ambiente salino en conjunto con la radiación solar, lo que resulta en el desgaste de las estachas y genera una pérdida de resistencia.

En caso de que exista corrosión, un desgaste excesivo, una reducción del diámetro u otros problemas que puedan suponer un riesgo para la vida, los cables deben ser sustituidos de forma inmediata por otros. Dependiendo del tipo de material del que estén hechos, pueden ser desechados por unos u otros motivos. Los cabos de fibra sintética, deberán ser desechados si han estado en contacto con disolvente o tienen un desgaste excesivo. Los de fibra se deberán cambiar si han tenido contacto con algún ácido o alcalino, además, en el caso de que se mojen se deben dejar secar de forma natural, pero nunca dejarlos mojados ya que se produciría moho.

Tanto los cabos como los cables se deben guardar en lugares secos, limpios y bien ventilados, además, deben ser enrollados correctamente. Adicionalmente, durante el uso de estos, se deberán evitar fricciones, cargas súbitas y/o esfuerzos excesivos. (Villa Caro, Carral Couce, & Fraguela Formoso, 2013)

Para finalizar, una persona competente deberá revisar las maniobras y en cada operación estudiar los factores externos (marea, tráfico marítimo, condiciones meteorológicas, etc.) para ajustar las amarras a estos. Durante el amarre, se debe revisar la tensión de los cabos de forma periódica para prevenir los accidentes y, para que ésta sea adecuada, es recomendable que todas las líneas sean del mismo tipo (esprín, través o largo), sean del mismo material y de la misma longitud para que las fuerzas se repartan por igual entre todas. Es preferible que la máquina se opere a distancia y nunca se debe dejar las maquinillas girando sin supervisión alguna. Una vez en puerto, se deben revisar la eficiencia de las defensas, evaluando si reaccionan bien ante una fuerza que empuja hacia el puerto el buque, sin dañar el buque. También, cuando un buque solicita la entrada a un puerto, se debe asegurar que los norays de dicho puerto estén capacitados para hacer frente a la tensión requerida para amarrar el buque en condiciones extremas, de esta forma se evitarían accidentes como los ya ocurridos, un ejemplo sería el accidente en Palma de Mallorca en 2009 cuando se rompieron 3 bolardos en el amarre del crucero MSC Fantasía. (CIAIM, 2009)

A día de hoy, con el fin de mejorar la maniobra de amarre de los buques y, además, que estos no fuesen tan inestables una vez amarrados en muelle, se ha invertido dinero en la construcción de estructuras que reducen el número de olas existentes en puerto, mientras deberían haber invertido en un sistema que lograra soportar esas condiciones. Basándonos en los datos anteriormente recopilados, podemos resumir que las condiciones necesarias para un nuevo sistema que pueda sustituir al actual, debería cumplir los siguientes puntos:

- Mantener el buque inmóvil (dentro de unos límites) ante fuerzas exteriores como pueden ser olas, vientos, mareas, corrientes, etc.
- Soportar cargas dinámicas
- Minimizar los posibles accidentes que puedan producirse
- Reducir el espacio en el muelle necesario para amarrar de forma segura un buque
- Ser automatizado para reducir el personal necesario
- Ser rápido para minimizar las emisiones de CO2 en puerto

Una vez estudiadas las necesidades que se han visto anteriormente, se han creado una serie de diferentes soluciones automáticas que pueden solucionar el problema existente en los amarres de los buques. A continuación, se explicarán todos y cada uno de los diferentes sistemas que han surgido:

- **Sistema hidráulico Shoretension (KRVE):**

Es un sistema que ayuda al sistema convencional de las amarras. El sistema se encuentra integrado en el muelle, entre dos bolardos. Uno de los extremos se fija al noray, mientras que la parte que es móvil del sistema, es conectada a la línea del buque. El segundo bolardo es utilizado para guiar la amarra.

Este equipo hace un constante control de la tensión, y en caso de que esta se acerque al límite de la tensión máxima de trabajo, que es 150 toneladas, se avisa al personal implicado para que pueda actuar. Este sistema de control se encuentra en el mismo equipo y funciona mediante energía solar. (Caro R. V., 2014)

Este sistema solo necesita energía en la fase inicial, luego no requiere de más aporte de energía externa para mantener la tensión constante en las líneas de amarre. Para un gran buque serían necesario 4 sistemas de Shoretension y cada uno tiene un coste de 75.000€ aproximadamente (Caro R. V., Sistemas de amarres en buques: situación actual y evolución futura., 2015)



Ilustración 24. Sistema Shoretension. Fuente: www.shoretension.com

- **Bolardo semiautomático (TTS Group)**

Se trata de la solución presentada por el grupo TTS, que pretende reducir el personal del puerto necesario para realizar la operación de atraque del buque. Para llevar a cabo dicho objetivo, el bolardo es operado a distancia. El funcionamiento de este inicia una vez el buque esté paralelo al muelle y no muy lejos de este. Desde el puente del buque, un operario a través de un control remoto, inclinará el brazo para que un tripulante encapille la amarra en el pivote. Después, el pivote regresa a la posición inicial y el cabo se tensa desde el cabestrante de cubierta. El sistema mantendrá la tensión del cabo durante toda la estancia del buque en dicho puerto. Una vez finalizada la estancia del buque en el puerto, el bolardo se vuelve a inclinar hacia el buque para quitar la tensión del cabo y así, la persona que desencapille el cabo no corre tanto riesgo de peligro.

El brazo tiene tres sistemas diferentes:

- Sistema hidráulico que permite que el brazo sea telescópico.
- Sistema hidráulico para inclinarse.
- Sistema eléctrico que permite el control a distancia.



*Ilustración 25. Bolardo semiautomático.
Fuente: www.ttsgroup.com*

- **Vagón metálico semiautomático (TTS Group)**

El grupo TTS presentó otra solución, eliminando el uso de cabos en las operaciones de amarre. Este sistema consiste en que un brazo metálico se agarra al casco del buque. Para llevar esto a cabo, se debe realizar una pequeña modificación al buque, debiendo disponer en la obra muerta de dos puntos de amarre, estando ubicados a proa y popa del buque, consistiendo en un cilindro en la zona hueca del casco.

El accionamiento de este, se realiza completamente a distancia. Una vez el buque esté en posición, cerca de las defensas, un operario del muelle guía el brazo hacia el bolardo mediante un joy-stick. Para el desamarre se utiliza el mismo mecanismo, pudiéndose programar las posiciones, lo que evitaría el uso de joy-stick.

En cuanto a la situación durante el amarrado, el sistema ofrece una monitorización de la carga con información a tiempo real. El sistema solo puede moverse en dirección vertical, siendo esto un gran inconveniente, lo que supone un gran trabajo a la hora de hacer coincidir durante el amarre sus dos puntos de agarre con los vagones del muelle. (Group)



Ilustración 26. Vagón metálico. Fuente: www.ttsgroup.com

- **Sistema por vacío (Cavotec)**

Este sistema consiste en unas ventosas que crean vacío para adherirse a planchas metálicas. Estas ventosas pueden encontrarse en el buque o en el puerto, aunque el caso del que se hablará, las ventosas estarán instaladas en el puerto y el buque no necesitará sistema de amarre. (Canvotec, 2016)

Las ventosas tienen una capacidad para soportar 20 toneladas, aunque, dependiendo del tamaño del buque, es posible crear unidades para 40 u 80 toneladas, uniendo diferentes ventosas. Para este sistema de amarre, se necesitan como mínimo dos unidades, una a popa y otra a proa, aunque no necesariamente tienen que estar colocadas en los extremos del buque, es suficiente con que se encuentren al 25%-30% de la eslora hacia la popa y la proa. Debido a esto, no es necesario que el muelle sea tan grande como el buque, basta que sea como un 60% de la eslora, aunque, si las unidades de ventosas están muy centradas, el buque puede sufrir daños debido a los esfuerzos de guiñada.

El sistema es retráctil, permanece detrás de la línea de defensa, resguardándose de impactos durante el atraque, y una vez el buque este en la posición correcto, las ventosas son colocadas, produciéndose el amarre en menos de un minuto, lo que reduce el tiempo de uso de prácticos y remolcadores, además, disminuye las emisiones de CO₂, al reducir el tiempo de uso de la maquina a propulsión.



Ilustración 27. Sistema de vacío. Fuente: www.mundomaritimo.cl

Este sistema permite un pequeño movimiento vertical que permite hacer frente a mareas y cambios de calado debido a las operaciones de carga y descarga. Si se llega al punto final del raíl, el sistema de forma automática desconecta la ventosa y sube o baja dependiendo de la situación, y la vuelve a pegar, este cambio solo se realizaría en caso de no dañar el buque o de ocasionar daños a las personas. También, permite un pequeño movimiento en horizontal y una pequeña inclinación sobre el plano vertical, permitiendo una ligera escora.

Por cada ventosa hay un sistema de generación de vacío. La ventosa está compuesta por los sellos de gomas que son rígidos y por unos orificios, por donde se genera vacío al abrir una válvula que conecta la ventosa con un acumulador de baja presión.

Los sellos de gomas solo absorben los pequeños movimientos, los movimientos más grandes del buque son contrarrestados por el sistema de amortiguación que componen los cilindros hidráulicos que se encuentran detrás de la ventosa y la unen al muelle. Además, incluyen unos sensores que miden de forma continua la carga de cada ventosa, siendo este sistema controlado por una sola persona. Este sistema puede funcionar incluso ante una caída de la red energética. (Canvotec, 2016)

- **Amarre magnético (Mampaey)**

La empresa Mampaey ha desarrollado un sistema similar al anteriormente mencionado, pero cambiando el mecanismo para adherirse al casco del buque. En esta ocasión se utilizan placas magnetizadas, sistema que se conoce como docklock. Actualmente, solo se ha generado un prototipo que está siendo probado en el buque MTS Valburg, un buque holandés de 85 metros de eslora y una capacidad de 1856 metros cúbicos de carga, que ofrece combustible a otros buques. Durante la operación de traspaso de combustible, se amarra al otro buque mediante el sistema de amarre magnético. Es un sistema que actualmente solo se utiliza para amarrar de barco a barco, es un banco de pruebas para

amarrar en puerto también. Este sistema se activa desde el puente del buque y tiene dos unidades en el lateral de la cubierta, una en popa y otra en proa. Cada unidad tiene dos brazos articulados gracias a un sistema hidráulico. Para lograr adherirse al otro buque, en la cabeza de los dos brazos tiene cuatro placas magnetizadas. (Mampaey)



*Ilustración 28. Sistema de amarre magnético.
Fuente: Mampaey Docklock.*

El sistema magnético es muy simple, en cada placa hay distribuidos de forma alterna polos positivos y polos negativos, quedando cada polo rodeado por polos opuestos. Una vez accionado el mecanismo, se genera un flujo magnético que permite que el brazo quede adherido al otro buque.

El docklock presenta un gran número de ventajas respecto al sistema convencional, estando todas ellas relacionadas con la seguridad, la sostenibilidad o la eficacia:

- Se elimina el riesgo de lesiones.
- Monitorización a tiempo real.
- Acoplamiento en menos de un minuto y desacoplamiento en menos de veinte segundos.
- Mejor respuesta ante emergencias.
- No hay deterioro por humedad, calor ni rayos UV.
- Menor contaminación debido a la reducción de uso de motores. (Mampaey)

Haciendo una comparativa entre todas las propuestas anteriores para reemplazar el sistema tradicional de amarre, se puede notar que se enfocan en seis puntos, los cuales se enumerarán a continuación:

- a) Uso de cabos
- b) Control a tiempo real de la carga
- c) Automatización
- d) Control remoto

- e) Uso de sistema SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition)
- f) Posibilidad de uso en cualquier buque

Comparativa de los sistemas	Shoretension	Bolardo Semiautomático	Vagón metálico	Sistema por vacío	Sistema magnético
Uso de cabos	Sí	Sí	No	No	No
Monitorización de la carga	Sí	No	Sí	Sí	Sí
Automatización de procesos	Bajo	Bajo	Bajo	Alto	Alto
Control a distancia	No	Bajo	Alto	Alto	Alto
Implementación SCADA	No	No	No	Sí	Sí
Uso para todos los buques	Sí	Sí	No	Sí	Sí

Tabla 2. Comparativa de los sistemas de amarre. Fuente: Mampaey, Canvotec, TTS Group, Shoretension.

Capítulo 5. Navegación autónoma

La prevención de colisiones juega un gran papel dentro de la vida diaria del marino, es por eso que la OMI desarrolló reglas internacionales para evitar las colisiones mediante el COLREG (International Regulations for Preventing Collisions at Sea).

Los métodos para el movimiento sin choque están basados en la gestión de rutas con información y métodos locales, basados en la navegación reactiva mediante la información que se recibe por parte de los sensores. Durante el cálculo de la ruta, el trayecto se resuelve calculando geoméricamente evitar los obstáculos ya conocidos, mientras que, en la navegación reactiva, lo que significa que el movimiento se realiza en todo momento de forma continua y repetitiva con un proceso de recepción y acción.

La navegación autónoma segura necesita que el buque utilice sistemas capaces de crear una representación del espacio circundante. Existen varios tipos y formas de presentación dependiendo de la tecnología y sensores utilizados, pero esta información se representará en un mapa que se usará para la planificación del viaje, evitar los obstáculos y la ubicación del buque.

El ANS (Autonomous Navigation System) tiene como principal objetivo facilitar una navegación segura y eficiente a lo largo de un plan de viaje ya prefijado, teniendo en cuenta las condiciones meteorológicas y el tráfico existente. Para lograr una navegación segura, el método elegido debe cumplir con los siguientes requisitos:

- Debe mantener la responsabilidad con respecto al marco legal en todos los aspectos que estén relacionados con la navegación.
- Debe contener capacidades para la correcta comunicación con el SCC (Shore Control Centre) para poder llevar a cabo de forma correcta la planificación y la navegación de los viajes, ya sean controlados o supervisados de forma remota.
- Deben tenerse en cuenta todas las condiciones meteorológicas y del tráfico para poder efectuar una modificación en la ruta sin salirse del plan de viaje original.
- Las operaciones portuarias, así como las de amarre y desamarre, deben ser controladas de forma remota en caso de que el nivel de autonomía no permita la realización de estas de forma completa.
- Ante un problema de conectividad, se definirá una secuencia a prueba de fallos para poner al buque en una situación lo más segura posible de acuerdo con el modo de operación y el nivel de autonomía que este posea. (Veritas, 2017)

5.1. Modelo de Rolls-Royce (Proyecto Awa)

Tomando como base el sistema desarrollado por Rolls-Royce vamos a explicar cómo se lleva a cabo una navegación autónoma.

Esta empresa comenzó desarrollando su propio sistema de navegación autónoma llamado ANS (Autonomous Navigation System) que se basaba en un sistema de posicionamiento dinámico (DP). Dentro de estos sistemas se integran diferentes módulos más sencillos como se observa en la siguiente ilustración.

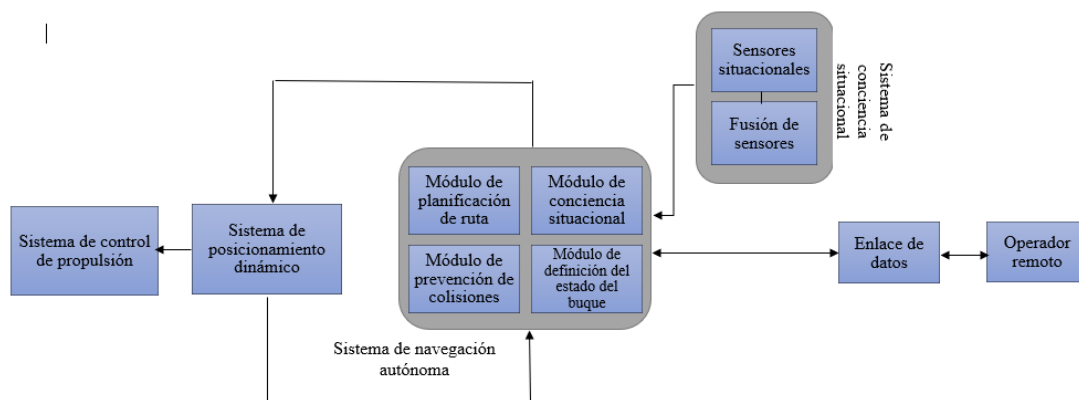


Ilustración 29. Sistema de navegación autónoma (ANS). Fuente: www.rolls-royce.com

Las características principales de esos módulos son:

- **Definición del estado del buque (SSD):** Es el módulo más importante, en él se une toda la información obtenida de los otros módulos para elegir alguno de los tres modos en los que se puede configurar el buque, siendo este autónomo, control remoto o prueba de fallos.
- **Sistema de posicionamiento dinámico (DP):** Por un lado este sistema permite que el buque mantenga de forma automática su posición o rumbo, utilizando las hélices, timones y sistema de propulsión. Por otro lado, este sistema se puede combinar con el GNSS (Global Navigation Satellite System), con los sensores de viento y con las unidades de medición de la inercia (IMU). Las restricciones dinámicas que se encuentren en este sistema se transmiten al módulo CA (Collision Avoidance) para poder realizar una ruta más eficiente.
- **Planificación de ruta (RP):** utilizando puntos de referencia y teniendo en cuenta obstáculos definidos en las cartas náuticas, este módulo planifica las rutas. Las rutas planificadas no son a tiempo real ya que el módulo CA tiene que intervenir para evitar las colisiones con otros obstáculos que puedan surgir.
- **Prevención de colisiones (CA):** Este módulo como se comentó anteriormente tiene la responsabilidad de que las navegaciones se realicen con seguridad y sin colisiones. Este sistema está apoyado en la información que le ofrece el RP para seguir la ruta planificada, pero pudiendo modificarla en el caso de encontrar algún tipo de riesgo. Cuando se detecta algún riesgo, se lo comunica al SSD para que junto con los datos de los otros módulos asigne un modo adecuado al buque.
- **Conciencia situacional (SA):** El funcionamiento de este módulo es complejo, se encuentra conectado a diferentes sensores para lograr hacer un mapa local y ofrecer información de obstáculos uniéndose a los datos que proporcionan los mismos sensores utilizados en el CA.

Para la navegación de este tipo de buques no solo se utilizan medios en el propio buque, sino que además se necesitan distintas redes de comunicación como satélites o instalaciones terrestres; además para planificar un viaje se necesitan tener en cuenta varios aspectos del control remoto que el operador debe tener claros.

El plan de viaje necesita contar con varios puntos de ruta, ángulos de giro y velocidades en cada momento para que el buque las mantenga durante el viaje. El operario en tierra tiene que estar muy atento a cualquier situación meteorológica que pueda suceder para realizar los cambios oportunos. Dependiendo del grado de autonomía de cualquier buque determinado, tiene que existir una notificación a modo de alarma que avise cuando la desviación respecto al plan de viaje exceda los márgenes permitidos. Por último, el operador tiene siempre la posibilidad de comprobar los sistemas del buque.

Es posible que la comunicación entre el buque y la estación en tierra no se encuentre disponible en algunas ocasiones, en este caso, el grado de autonomía es importante junto a la intervención del operador en tierra, que debe realizar una estrategia para recuperar el buque hacia una situación segura. Para este caso, tenemos cuatro opciones principales:

- 1) El operador en tierra intenta tomar el control manual del buque.
- 2) El buque disminuye su velocidad hasta el siguiente punto de ruta.
- 3) El buque se detiene por completo y permanece en la posición actual.
- 4) El buque retrocede al último punto de control “waypoint” o hasta una ubicación que sea segura.

Todos los datos significativos tienen que quedar almacenados en un libro de registro para que desde la SCC (Shore control center) puedan ser recuperados en cualquier momento.

Lo más común sería que los buques navegasen en el modo normal de navegación autónoma, en este caso el buque realiza la navegación planeada de antemano y proporciona la información al operador. El ANS (Autonomous Navigation System) debe respetar siempre las obligaciones del COLREG de cara a los objetos y el tráfico que se vaya produciendo a lo largo de la navegación. Todos los datos que se obtengan del entorno deben evaluarse para que las decisiones se tomen con bastante antelación gracias a la predicción de un escenario futuro, entre las medidas que se tienen que adoptar están, reducir la velocidad, predecir los movimientos del otro obstáculo o realizar cambios de rumbo.

Si todo lo anterior no es la situación en la que nos encontramos, se llevaría a cabo la notificación, aprobación o intervención del operador en tierra, el grado en el que el buque y sus sistemas son autónomos se ajusta y si se solicita el operador debe realizar una interacción con el buque para resolver por ejemplo las siguientes situaciones.

El buque se desvía del rumbo para mantener la distancia con otra embarcación, pero no se sale de los márgenes determinados en la ruta. En este caso se notifica al operador sobre el plan a seguir y el operador puede utilizar el VHF para comunicar con la otra embarcación de las intenciones y confirmar la maniobra o bien pasar a control manual.

Si dado al caso anterior, el desvío no es suficiente y hay que salir de los márgenes determinados, se solicitara al operario que confirme para que los cambios a realizar se hagan de forma segura. El ANS puede ofrecer en ocasiones varias alternativas para una misma situación, pero la responsabilidad de tomar la decisión correcta será del operario.

Por último, si el escenario que se nos presenta es complejo, por ejemplo, el cruce con un gran número de objetos o embarcaciones, puede que los algoritmos del ANS no sean capaces de resolver la situación de una manera totalmente segura para la navegación. En este caso el buque enviará en forma de “PAN PAN” un mensaje al operador, para avisar de la necesidad de asistencia urgente. De igual forma, el propio buque cuenta con

diferentes opciones para el respaldo, planificadas de antemano para si el operario no responde.



Ilustración 30. Distintos escenarios de navegación. Fuente: www.rolls-royce.com

Una vez aclarados los diferentes módulos y sistemas principales para el control de los buques autónomos, veamos cómo y de dónde se obtienen esos datos.

Los diferentes sensores y dispositivos deben proporcionar al ANS un conocimiento preciso de la situación, de la proximidad del barco, de las situaciones meteorológicas y de los objetos que puedan aparecer. Para todo esto, los sensores instalados en el buque deben recoger a la perfección la información para mediante un análisis conseguir una percepción de consciencia situacional óptima para que se pueda realizar la navegación. Para todo ello, los sensores deben cumplir con lo siguiente:

Deben ser capaces de detectar objetos de la superficie o parcialmente sumergidos a la distancia de un kilómetro y del tamaño de un contenedor. Capaces de poder detectar balsas o botes salvavidas o incluso a una persona a una distancia de 100 metros aproximadamente y también la visibilidad reducida para las limitaciones de las operaciones. Tienen que recopilar información continua para la imagen que se genera del tráfico en los alrededores del buque siendo esto respaldado por un sistema de cámaras a tiempo real.

A demás de los diferentes sensores, también son necesarias muchas cámaras de diferentes tipos.

Para la visión nocturna, son muy útiles las cámaras con infrarrojos, de iluminación activa e incluso cámaras térmicas LWIR, estas cámaras consiguen una visión nocturna gracias a la radiación térmica que todos los objetos emiten de manera pasiva, permiten que en una oscuridad total podamos tener una imagen que signifique algo a la hora de verla.

Las cámaras pequeñas de HD son cámaras importantes y de bajo coste que sirven de apoyo para los sensores ya que ofrecen una resolución espacial e información del color. Pero son cámaras con varias limitaciones como la visión en situaciones de oscuridad o baja visibilidad o la dificultad de analizar los datos generados por la alta resolución.

Todas las cámaras presentan ciertos inconvenientes, los dos más principales son que es difícil calcular una distancia en una imagen y que la resistencia de estas a la intemperie y situaciones climatológicas adversas es muy poca.

En el ámbito de los radares, tenemos diferentes anchos de banda, antenas y frecuencias para la detección de objetos y su mapeo. A demás de los radares para la navegación ya conocidos, necesitamos uno para cuando el buque se encuentre cerca o dentro de los puertos, con una resolución lo suficientemente buena para detectar pequeñas embarcaciones u objetos, para esto tenemos los nuevos radar banda Ka y W.



Ilustración 31. Sensor LIDAR. Fuente: www.smart2zero.com

Por último, el LIDAR, una tecnología de escaneo mediante laser, nos puede proporcionar mediciones de distancias muy precisas, con este sistema podemos incluso emplear un mapa 3D con mucho detalle de lo que rodea al buque. El inconveniente de este sistema es que su precisión y alcance pueden verse afectados por condiciones de meteorología adversa. (AWAA, 2016)

Capítulo 6. Legislación y reglamentación

La integración de los buques autónomos en el sector marítimo presenta algunas limitaciones debido al derecho marítimo, el cual es un concepto que se utiliza para describir las leyes que rigen el marco regulatorio de la actividad de los buques.

Existen tres reglas principales que se basan en el enfoque internacional y son las siguientes:

- **Reglas técnicas:** Estas se basan en las normas de seguridad, las normas del medio ambiente, etc., siendo adoptadas de forma general por las agencias especializadas existentes en la ONU, como por ejemplo, pudiera ser la OMI.
- **Reglas jurisdiccionales:** establecen los derechos y obligaciones de los estados para tomar medidas respecto a los buques principalmente mediante la UNCLOS (Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar) de 1982.
- **Reglas internacionales:** tratan las cuestiones como la responsabilidad civil por contaminación, colisiones o pérdidas relacionadas con la carga y como hacer cumplir esas reclamaciones.

Como estas reglas no están ratificadas pueden sufrir variaciones mayores a niveles nacionales.

6.1. SOLAS

El Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida en el Mar obliga a los estados contratantes a garantizar unas normas mínimas en la construcción, el equipamiento y la operación con el fin de garantizar la seguridad en el mar. Su primera versión fue redactada en 1914, aunque actualmente la versión que se utiliza es la de 1974 con algunos pequeños cambios. Consta de un anexo de 14 capítulos:

- Capítulo I – Disposiciones generales:
Se reflejan reglas que se refieren al reconocimiento de los diversos buques y sus tipos y a la expedición de los documentos que acreditan que el buque cumple las prescripciones del convenio. También incluye disposiciones para la supervisión del buque en puertos de otros Gobiernos.
- Capítulo II – Construcción, compartimentado y estabilidad, instalaciones de máquinas e instalaciones eléctricas.
Recoge los requisitos en las áreas de estructura y estabilidad, además de la protección contra el fuego.
- Capítulo III – Dispositivos y medios de salvamento.
Se recogen los datos referentes a los medios de salvamento, además de las prescripciones necesarias para el uso de botes salvavidas, botes de rescate y chalecos salvavidas en función del tipo de buque.
- Capítulo IV – Radiocomunicaciones
Se incorpora en este capítulo el Sistema mundial de socorro y seguridad marítimos. Para que un buque llegue a cumplir con los requisitos de este capítulo, se debe ampliar a cualquier lugar desde el que esté controlado el buque, ya sea desde su propio puente de navegación o desde una estación costera.
- Capítulo V – Seguridad en la navegación
Se indican algunos servicios de seguridad de la navegación que deben proveer los Gobiernos Contratantes.
- Capítulo VI – Transporte de Cargas

Trata sobre todos los tipos de carga (excepto los líquidos y gases a granel). Estas reglas establecen prescripciones referentes a la estiba y la sujeción de las cargas.

- Capítulo VII – Transporte de mercancías peligrosas.
Este capítulo se divide en tres partes y se dice que el transporte de este tipo de mercancías se debe realizar conforme con las prescripciones pertinentes del Código Marítimo Internacional de Mercancías Peligrosas.
- Capítulo VIII – Buques nucleares
Se establecen las prescripciones básicas sobre los buques de propulsión nuclear y se habla sobre los riesgos radiológicos.
- Capítulo IX – Gestión de la seguridad operacional de los buques
Este capítulo se refiere al Código internacional de gestión de la seguridad, donde dice que todo buque o toda persona que haya asumido la responsabilidad del buque debe establecer un sistema de gestión de la seguridad.
- Capítulo X – Medidas de seguridad aplicadas a las naves de gran velocidad
- Capítulo XI-1 – Medidas especiales para incrementar la seguridad marítima
- Capítulo XI-2 – Medidas especiales para incrementar la protección marítima
Este capítulo trata sobre la protección del buque y de las zonas portuarias.
- Capítulo XII – Medidas de seguridad aplicables a los graneleros
Este capítulo trata sobre los graneleros de eslora igual o superior a 150m. (SOLAS, 1974)

Teniendo en cuenta los temas que trata este convenio se puede pensar que no tiene nada relacionado con los buques autónomos, pero hay varios capítulos donde se puede relacionar con estos, aunque la ley tendría que modificarse de forma que no tuviera problemas en los aspectos legales. Como, por ejemplo, en algunos puntos se habla sobre la comunicación entre la tripulación o el seguimiento de las alarmas a bordos, las cuales tendrían que cambiar de forma que se incluyese los sistemas de alarma en tierra o en los casos de la comunicación, que se sustituyen por un sistema autónomo. En los puntos donde se hace referencia al puente de la navegación, se debería entender por el puesto de control existente en tierra. En el capítulo IV, se habla sobre las radiocomunicaciones, para que los buques autónomos puedan cumplir con este requisito, se debe ampliar el rango del capítulo a cualquier lugar desde donde se esté controlando el buque, ya sea desde el puente o desde la estación existente en la costa.

Se debería ampliar el concepto de “gobierno de buque” para que pueda extenderse hasta los nuevos sistemas descritos en el SNA en conjunto con su sistema de toma de decisiones, adaptando siempre el uno al otro, con tal de cumplir las pautas de seguridad. Como aliciente a la seguridad, se añadiría la supervisión en la toma de decisiones desde el ECT. Para finalizar con las cosas que se deberían modificar en este convenio, y de los cuales los buques autónomos podrían beneficiarse, el capítulo IX, incluye el código ISM (gestión de seguridad), donde se debe sustituir las relaciones entre la naviera y el mando del buque por las comunicaciones entre el ECT y la naviera.

6.2. Convenio MARPOL

Es el principal convenio de la OMI para la lucha contra la contaminación. Es un protocolo que fue adoptado en el año 1973, pero que ha sufrido numerosos cambios en sus anexos a lo largo de todos estos años, el último en 2005.

Este convenio incluye los requisitos sobre la estructura, equipamiento y algunos procedimientos como la seguridad en la carga y descarga, bunkering, actuación en caso de derrame, etc. Los buques autónomos deben cumplir los requisitos de prevención de contaminación que se recogen en este convenio.

Con respecto a los buques autónomos, el convenio debería recoger sobre quien cae la responsabilidad de cada tarea. Por ejemplo, los operarios de puerto se podrían de la instalación de alarmas en caso de rebose, mientras que el buque autónomo se encargaría de controlar la carga, así como de notificar con rapidez a tierra en caso de urgencia para que se pueda actuar lo más rápido posible. (MARPOL, 1973)

6.3. COLREG

El COLREG es un convenio que se adoptó en 1972. Este incluye una serie de reglas para la buena circulación en el mar. Además, comprende normativas sobre la velocidad de seguridad, la señalización y luces necesarias, la prioridad de maniobra y las condicionantes a las maniobras para las múltiples situaciones.

Estas normas deben ser también aplicadas a los buques autónomos, ya que, a efectos prácticos de tránsito por el mar, no se aplican a un solo grupo de buques en concreto. Como en los convenios anteriormente mencionados, se deberían modificar las normas que se refieren a los tripulantes a bordo y las tareas de vigilancia del entorno, trasasándolas al SNA (Sistema de Navegación Autónoma) y a la ECT (Estación de Control de Tierra). Esto afecta de forma directa a la regla de vigilancia (lookout) la cual dice “Todos los buques mantendrán en todo momento una eficaz vigilancia visual y auditiva utilizando asimismo todos los medios disponibles que sean apropiados a las circunstancias y condiciones del momento, para evaluar plenamente la situación y el riesgo de abordaje “.

El propósito de la regla anteriormente mencionada es asegurar que todos los medios existentes de vigilancia se utilicen a cada momento. El resto de normas referidas a las maniobras deberán programarse directamente en el SNA. (COLREG, 1972)

6.4. STCW

Este convenio fue adoptado en 1978 y fue el primero en establecer las prescripciones básicas para la formación, titulación y guardia para la gente del mar. Es un convenio que, al estar prácticamente diseñado para los trabajadores del mar, parece no tener nada que ver con lo referente a los buques autónomos, sin embargo, se necesita establecer unos

mínimos de conocimientos para los trabajadores en tierra para garantizar un trabajo bien realizado y sin accidentes. Además, el personal que trabaja en tierra llevando el mantenimiento del buque y las entradas y salidas de puerto, deben tener conocimientos previos sobre esas áreas. (STCW, 1978)

6.5. Convenio Marítimo de los Trabajadores (MLC)

Este convenio fue adoptado en 2006. Es el convenio que los trabajadores utilicen para garantizar sus derechos en tiempos de embarque, condiciones de vida, condiciones mínimas de sus contratos, etc.

Este convenio solo es aplicable a los trabajadores que se encuentren a bordo, como indica de forma clara el artículo número II, pero existe, una artículo número III en el que recoge categorías relacionadas con el trabajo de marino, que dice lo siguiente “ En caso de duda sobre la categoría especial del trabajador que pudiera ser considerado como marino a los efectos de este convenio, será responsabilidad de la autoridad competente en acuerdo con la naviera y las organizaciones de marinos mercantes, darle o no este tratamiento”. Con esto se indica, que una vez puestas de acuerdo las partes, el operador en tierra podría conseguir su categoría como marino mercante, para garantizar que sus derechos como trabajador de la mar se cumplan. (MLC, 2006)

6.6. Código de Loy’s register para los vehículos marítimos no tripulados.

Esta sociedad elaboró en el año 2017 un código en forma de borrador para establecer una serie de regularizaciones sobre la navegación de los buques autónomos. Este código consta de nueve capítulos y dos anexos.

El primer capítulo es un resumen en general de las características del código, el alcance y los objetivos del mismo. Este capítulo comienza con la frase “Un buque autónomo debe ser seguro, confiable, capaz y resolutivo en todos los casos y condiciones razonables durante sus operaciones”.

El segundo capítulo cubre los requisitos estructurales para asegurar la navegación segura en todas las condiciones de operatividad del buque y las condiciones de carga para garantizar una navegación respetuosa con el medio ambiente.

El tercer capítulo trata sobre el estudio de la estabilidad, flotabilidad y capacidades en todas las condiciones de tiempo y mar para que se garantice una navegación segura en todas las condiciones posibles.

En el cuarto capítulo se hace mención a todos los dispositivos y componentes de seguridad en relación a los sistemas de navegación y vigilancia. Esto no solo incluye los que se encuentran a bordo, sino, los que se encuentran en las ECT y en las instalaciones portuarias.

El quinto capítulo trata sobre todos los equipos y componentes relacionados con las instalaciones eléctricas.

El sexto capítulo incluye los medios necesarios para cubrir una navegación segura, incluyendo en este los sistemas a bordo y los medios de comunicación con otros buques.

El séptimo capítulo, llamado “propulsión y maniobra”, cubre todos los equipos y componentes en relación con el sistema de propulsión y maniobra del buque.

El octavo capítulo está dedicado al fuego, abarcando todos los elementos estructurales, equipamiento y componentes que intervienen en la prevención de los incendios a bordo.

El noveno capítulo habla sobre los sistemas auxiliares en el buque. (Register, 2017)

Capítulo 7. Ventajas e inconvenientes.

En el uso de buques autónomos podemos encontrar una serie de ventajas que por el lado contrario no se encontrarían durante el uso de un buque convencional, estas ventajas son las siguientes:

- Se elimina de forma considerable el factor del error humano.
- Se aumenta la seguridad a la hora de realizar las operaciones pertinentes.
- Se reducen los costos.
- Se aumenta la eficacia en los transportes.
- El medio ambiente sufriría un menor impacto.
- Las zonas peligrosas tendrían una accesibilidad.
- Las reclamaciones que son recibidas por la tripulación, se reducen.

Sin embargo, no todo es una ventaja, tras el estudio realizado, también se pueden encontrar una serie de desventajas que se expondrán a continuación:

- Se aumenta la posibilidad de errores tecnológicos.
- Se cuenta con un nivel de ciberseguridad alto, por lo que complica el acceso al buque en caso de emergencias.
- Durante viajes largos, tiene una mayor dificultad de mantenimiento.
- Se debe invertir grandes cantidades de dinero en tecnologías innovadoras.
- La cooperación internacional es significativa.
- Aumentan las reclamaciones a los fabricantes de los buques.

Capítulo 8. Visión de futuro sobre los buques autónomos.

Está más que comprobado que la tecnología ofrece muchas ventajas hoy en día en nos diferentes campos donde es utilizada. En los buques, el uso de tecnología consigue que el error humano esté cada vez menos presente gracias a la automatización de tareas o las propias ayudas a la navegación que cada vez son más. Pero no todo queda ahí, cada vez se busca más que los viajes en barcos que cada vez son más sean más eficientes gracias a la utilización de energías renovables.

El mundo está cambiando a una velocidad abismal, las tareas que normalmente eran realizadas hace algunos años, ahora son realizadas por ordenadores o maquinas. Prácticamente, en los procesos de producción el factor humano deja de ser relevante y eso para las empresas ha sido algo rentable favorable en cuanto a productividad se refiere. Por tanto, si los buques que conocemos terminan por volverse autónomos, las tripulaciones serian sustituidas por máquinas y todo se basaría en unos equipos designados en tierra. ¿Sería esto rentable? La OMI en su Plan estratégico de la organización de 2018-2023, está creando un nuevo marco regulatorio que nos de respuesta a todas esas preguntas, pero está claro que el futuro es casi inmediato.

En la actualidad, existen buques autónomos controlados a distancia que se están probando en algunas zonas del mar. Estos buques se encuentran operando en distancias muy cortas ya que se encuentran aún muy limitados.

Estos ensayos que se están realizando, tiene que llevarse a cabo de manera segura, tanto para la navegación que les rodea como para el medio ambiente. Los riesgos que puedan existir se reducen a los mínimos utilizando las medidas oportunas y además, el operador que se encuentra en tierra tiene que ser una persona formada específicamente para ese puesto.

Por tanto, ¿Qué pasará con la navegación tal cual la conocemos? Eso es un futuro que no conocemos, pero lo que está claro es que nos dirigimos a gran velocidad a estos cambios y este uso de tecnología. Muchos puestos de trabajo que hoy conocemos en el mar, puede que sean eliminados, pero, por otro lado, se crean puestos de trabajo en tierra que hasta ahora no existen, así que en el futuro puede que esos puestos que tienen algún peligro para los trabajadores, como por ejemplo en las maniobras de los buques, las realicen maquinas controladas o supervisadas por operarios en tierra sin ningún peligro.



Ilustración 32. Buque autónomo de Rolls-Royce.

Fuente: vadebarcos.net

Conclusiones

La realidad, es que los buques autónomos están cada vez más cerca, y eso en mayor parte es gracias a las grandes empresas que apuestan por esta nueva tecnología, una tecnología capaz de realizar una navegación segura prescindiendo de la mayor parte o de la totalidad de las tripulaciones.

A pesar de que este tipo de embarcación se encuentra aún en sus primeras etapas de desarrollo, ya se les está considerando como una nueva forma de navegación con un impacto considerable dentro del ámbito marítimo y legislativo, ya que, para utilizar esta nueva tecnología, será muy necesario que se adapten muchos medios marítimos y que toda la legislación existente para los buques convencionales, se adapten a este nuevo tipo de buques.

Sin embargo, las cosas se complican para los buques totalmente autónomos, ya que para integrarse aún queda realizar bastantes estudios, pero la posibilidad de verlos navegar, existe. Para ello las leyes deben contemplar y justificar de manera satisfactoria la figura del operador en tierra. Cuando todo esto se logre realizar, también se generarían nuevas dudas como, por ejemplo, ¿se llegaría a eliminar por completo el factor humano de los buques?

En lo referente a la automatización de los puertos, se logra ver un gran avance con la existencia de los Smarts Ports, donde se ve un sistema que busca el beneficio y que tiene la capacidad para hacer frente a un gran número de buques, sin perder la rentabilidad y mantener la gestión, en cuanto al control de entradas y salidas en todo momento.

Para terminar, en la actualidad podemos ver como poco a poco todos esos estudios que se han ido realizando a lo largo de todos estos años tienen muchos de ellos un futuro prometedor, existen diferentes embarcaciones autónomas en fase de pruebas las cuales hasta el momento se desarrollan bastante bien. En cuanto a los puestos de trabajo, está claro que las tripulaciones pueden desaparecer o disminuirse en cantidad, pero por otro lado se crean puestos de trabajo diferentes y más seguros para las personas.

Conclusions

The reality is that autonomous ships are increasingly coming closer, and this is largely thanks to the large companies that are betting on this new technology, a technology capable of carrying out safe navigation without having to use most or the totality of the crew.

Although this type of vessel is still in its early stages of development, it is already being considered as a new form of navigation with considerable impact within the maritime and legislative field, since, in order to use this new technology, it will be very necessary that many maritime means are adapted and that all the existing legislation for conventional ships, are adapted to this new type of ships.

However, things are complicated for totally autonomous ships, since in order to be integrated there are still many studies to be carried out, but the possibility of seeing them navigate exists.

In order to do so, the laws must provide for and satisfactorily justify the figure of the operator on land. When all this is achieved, new doubts will also be generated as for example, would the human element be completely removed from ships?

As far as port automation is concerned, we can see a great advance with the existence of Smarts Ports, where we can see a system that seeks profit and that has the capacity to deal with a large number of ships, without losing profitability and maintaining management, in terms of controlling entries and exits at all times.

To finish, at present we can see how little by little all these studies that have been carried out throughout all these years have a promising future, there are different autonomous boats in phase of tests which up to the moment are developed quite well. As far as jobs are concerned, it is clear that crews can either disappear or be reduced in number, but on the other hand different and safer jobs are created for people.

Bibliografía y Webgrafía

- AWAA. (2016). Recuperado el Enero de 2020, de <https://www.rolls-royce.com/~media/Files/R/Rolls-Royce/documents/customers/marine/ship-intel/aawa-whitepaper-210616.pdf>
- Birkeland, Y. (s.f.). Recuperado el Enero de 2020, de <https://www.maritime-executive.com/corporate/macgregor-mooring-solution-specified-for-yara-birkeland>
- Canvotec. (2016). Recuperado el Febrero de 2020, de http://www.cavotec.com/en/ports-maritime/automated-mooring-systems_36/
- Caro, R. V. (1 de Abril de 2014). *Researchgate*. Recuperado el 16 de Febrero de 2020, de Researchgate: https://www.researchgate.net/publication/272786524_Revolucion_en_los_sistemas_de_amarre_de_los_buques
- Caro, R. V. (2015). Recuperado el 16 de Febrero de 2020
- Caro, R. V. (Octubre de 2018). Recuperado el Diciembre de 2019, de <https://www.exponav.org/es-lo-mismo-un-buque-autonomo-que-un-buque-inteligente/>
- CIAIM. (2009). Recuperado el 16 de Febrero de 2020, de https://www.mitma.gob.es/recursos_mfom/it_a172011_mscfantasia.pdf
- Club, U. P. (Enero de 2009). *Ukpandi*. Recuperado el 16 de Febrero de 2020, de UKpandi: https://www.ukpandi.com/fileadmin/uploads/ukpi/LP%20Documents/LP_Reports/UnderstandingMooringIncidents.pdf
- COLREG. (1972). Recuperado el Marzo de 2020, de <http://www.imo.org/es/About/Conventions/ListOfConventions/Paginas/COLREG.aspx>
- corporation, C. (Junio de 2019). Recuperado el Enero de 2020, de <https://www.macgregor.com/news-insights/releases/2019/macgregor-automated-mooring-solution-specified-for-the-worlds-first-autonomous-and-zero-emission-container-ship-yara-birkeland/>
- Corporation, T. (s.f.). Recuperado el Enero de 2020, de <https://www.tieto.com/en/success-stories/2018/one-sea-autonomous-maritime-ecosystem-introduced-roadmaps-to-autonomous-shipping/>
- Corporation, W. (Abril de 2018). Recuperado el Enero de 2020, de <https://www.wartsila.com/media/news/26-04-2018-world-s-first-autodocking-installation-successfully-tested-by-wartsila-2169290>
- Crawford, J. (2018). Operaciones con buques no tripulados, ¿fin de los accidentes en el mar? *Revista de Marina*, 65. Recuperado el 2020, de <https://revistamarina.cl/revistas/2018/3/jcrawfordc.pdf>

- DIMECC. (s.f.). Recuperado el Enero de 2020, de [https://vayla.fi/documents/20473/292615/2+20170124+Dimecc+Autonomous+Sipping+Ecosystem+V3.pdf/19db0cc3-6b09-4ef2-b065-ee3c56db3724](https://vayla.fi/documents/20473/292615/2+20170124+Dimecc+Autonomous+Shipping+Ecosystem+V3.pdf/19db0cc3-6b09-4ef2-b065-ee3c56db3724)
- DMA. (Julio de 2014). *DMAib*. Recuperado el 16 de Febrero de 2020, de DMAib: <https://dmaib.dk/media/9100/atair-j-mooring-accident-on-3-october-2014.pdf>
- DNVGL. (s.f.). Recuperado el Enero de 2020, de <https://www.dnvgl.com/technology-innovation/revolt/index.html>
- Executive, T. M. (Noviembre de 2018). Recuperado el Enero de 2020, de <https://www.maritime-executive.com/article/waertsilae-conducts-autonomous-ferry-voyage-and-docking>
- FARNSWORTH, A. (27 de Abril de 2018). *Wartsila*. Recuperado el Enero de 2020, de <https://www.wartsila.com/twentyfour7/innovation/look-ma-no-hands-auto-docking-ferry-successfully-tested-in-norway>
- Finland, B. (Octubre de 2017). Recuperado el Enero de 2020, de <https://www.businessfinland.fi/en/whats-new/news/2017/one-sea--autonomous-maritime-ecosystem-grows/>
- Finland, B. (Mayo de 2018). Recuperado el Enero de 2020, de <https://www.businessfinland.fi/en/whats-new/news/2018/rolls-royce-and-finferries-sign-cooperation-agreement/>
- Gómez, C. (25 de Enero de 2018). *Sertrans*. Recuperado el 15 de Febrero de 2020, de Sertrans: <https://www.sertrans.es/transporte-maritimo/los-puertos-del-futuro-se-llaman-smart-ports/>
- Group, T. (s.f.). Recuperado el 17 de Febrero de 2020, de http://www.ttsgroup.com/Global/Product%20sheets/Auto-mooring_4page.pdf?epslanguage=en
- HQ, A. S. (Noviembre de 2017). Recuperado el Enero de 2020, de <https://www.autonomousshipshq.com/revolt/>
- JTSB. (Diciembre de 2012). *JTSB*. Recuperado el 16 de Febrero de 2020, de JTSB: http://www.mlit.go.jp/jtsb/bunseki-kankoubutu/jtsbdigests_e/jtsbdigests_No3/No3_pdf/jtsbdi-03_all.pdf
- Mampaey. (s.f.). Recuperado el Febrero de 2020, de <https://mampaey.com/mooring/docklock/>
- Marítimo, S. (Mayo de 2018). Recuperado el Diciembre de 2019, de <https://sectormaritimo.es/la-omi-buques-autonomos>
- MARPOL. (1973). Recuperado el Marzo de 2020, de [http://www.imo.org/es/About/Conventions/ListOfConventions/Paginas/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-\(MARPOL\).aspx](http://www.imo.org/es/About/Conventions/ListOfConventions/Paginas/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-(MARPOL).aspx)

- MLC. (2006). Recuperado el Marzo de 2020, de https://www.ilo.org/dyn/normlex/es/f?p=NORMLEXPUB:12100:0::NO::P12100_ILO_CODE:C186
- MUNIN. (s.f.). Recuperado el Diciembre de 2020, de <http://www.unmanned-ship.org/munin/wp-content/uploads/2016/02/MUNIN-final-brochure.pdf>
- MUNIN. (2016). Obtenido de <http://www.unmanned-ship.org/munin/>
- Navales, I. (Octubre de 2019). Recuperado el Diciembre de 2019, de <https://www.ingenierosnavales.com/tag/buques-autonomos/>
- OIT. (1996). *Oficina Internacional del Trabajo, Ginebra*. Recuperado el 16 de Febrero de 2020, de http://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_protect/---protrav/--safework/documents/normativeinstrument/wcms_112632.pdf
- OMI. (2018). Recuperado el Diciembre de 2019, de <https://sectormaritimo.es/la-omi-buques-autonomos>
- OMI. (2018). Recuperado el Diciembre de 2019, de <http://www.imo.org/es/MediaCentre/HotTopics/Paginas/Autonomous-shipping.aspx>
- Portmart. (17 de Julio de 2015). *Slideshare*. Recuperado el 15 de Febrero de 2020, de Slideshare: <https://es.slideshare.net/damiansolis712/sistemas-tecnologicos-portuarios>
- Register, L. (2017). Recuperado el Marzo de 2020, de <https://www.lr.org/en/unmanned-code/>
- RINA. (2017). Recuperado el Enero de 2020, de <https://www.rina.org.uk/Hronn>
- RINA. (2018). Recuperado el Enero de 2020, de <https://www.rina.org.uk/yarabirkeland.html>
- Rolls-Royce. (Diciembre de 2018). Recuperado el Enero de 2020, de <https://www.rolls-royce.com/media/press-releases/2018/03-12-2018-rr-and-finferries-demonstrate-worlds-first-fully-autonomous-ferry.aspx>
- Rolls-Royce. (2018). Recuperado el Enero de 2020, de <https://breakingwaves.fi/wp-content/uploads/2019/06/SVAN-presentation.pdf>
- Schonknecht, R. (1983). *Ships and Shipping of Tomorrow*. Cornell Maritime Press, Inc. Recuperado el 2019
- Sea, O. (2016). Recuperado el Enero de 2020, de <https://www.oneseaecosystem.net/about/about-the-project/>
- SOLAS. (1974). Recuperado el Marzo de 2020, de [http://www.imo.org/es/About/Conventions/ListOfConventions/Paginas/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-\(SOLAS\),-1974.aspx](http://www.imo.org/es/About/Conventions/ListOfConventions/Paginas/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-(SOLAS),-1974.aspx)
- STCW. (1978). Recuperado el Marzo de 2020, de [http://www.imo.org/es/About/Conventions/ListOfConventions/Paginas/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-\(SOLAS\),-1974.aspx](http://www.imo.org/es/About/Conventions/ListOfConventions/Paginas/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-(SOLAS),-1974.aspx)

onal-Convention-on-Standards-of-Training,-Certification-and-Watchkeeping-for-Seafarers-(STCW).aspx

- STENSVOLD, T. (2018). Recuperado el Enero de 2020, de <https://www.tu.no/artikler/yara-birkeland-skal-bygges-i-norge/442400>
- Terminals, A. (s.f.). *APM Terminals*. Recuperado el 15 de Febrero de 2020, de APM Terminals: <https://www.apmterminals.com/en/-/media/europe/Barcelona/Home/Barcellona-primary.jpg>
- Traffic, M. (s.f.). Recuperado el Enero de 2020, de <https://www.marinetraffic.com/es/ais/details/ships/shipid:314185/mmsi:25953000/imo:9172090/vessel:FOLGEFONN>
- Veritas, B. (2017). Recuperado el Enero de 2020, de https://www.bureauveritas.jp/news/pdf/641-NI_2017-12.pdf
- Villa Caro, R., Carral Couce, L., & Fraguera Formoso, J. Á. (24 de Abril de 2013). *Researchgate*. Recuperado el 16 de Febrero de 2020, de https://www.researchgate.net/publication/305985767_ACCIONES_A_LLEVAR_A_CABO_PARA_EVITAR_LOS_ACCIDENTES_DE_TRABAJO_DE_LOS_PROFESIONALES_DEL_MAR_DURANTE_EL_USO_DE_LOS_EQUIPOS_DE_AMARRE
- Wartsila. (2018). Recuperado el Enero de 2020, de <https://www.wartsila.com/marine/customer-segments/references/ferry/mf-folgefonn>
- Yara. (s.f.). Recuperado el Enero de 2020, de <https://www.yara.com/news-and-media/press-kits/yara-birkeland-press-kit/>