



**Universidad
de La Laguna**

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

TRABAJO DE FIN DE GRADO

**BUQUES AUTÓNOMOS EN LA
ACTUALIDAD Y SU FUTURO EN EL
SECTOR MARÍTIMO**

GRADO EN NÁUTICA Y TRANSPORTE MARÍTIMO

AITOR MÉNDEZ HERNÁNDEZ

LA LAGUNA SEPTIEMBRE 2020

AGRADECIMIENTOS

“A todas aquellas personas que me encontré durante esta maravillosa etapa de 4 años de mi vida.”

“A mis amigos de la facultad y compañeros de aventura.”

“Al último año de mi carrera, donde tuve la oportunidad de conocer a gente increíble y gente que sé que se quedará en mi corazón por mucho tiempo.”

“A mi familia, en especial a mi madre y a mi padre, por verme sufrir, llorar y reír durante estos cuatro años hasta que finalmente escribo este texto, el último paso y doy gracias porque tengo a los mejores padres que un hijo podría tener.”

“A mis abuelos que me ven desde el cielo”

“A mi tutor Salomón Iván Ramón Concepción Cáceres.”

“Gracias a TODOS, gracias por TODO.”

Aitor Méndez
aitormhbach@gmail.com

ÍNDICE

1	LA NAVEGACIÓN. CONCEPTO Y EVOLUCIÓN HISTÓRICA	1
1.1	Concepto de navegación marítima	1
1.2	Tipos de navegación	1
1.3	Historia y evolución de la navegación	2
2	ANÁLISIS Y CAUSAS DE ACCIDENTES MARÍTIMOS	5
2.1	Accidentes marítimos producidos en España	5
2.2	Accidentes marítimos producidos en la zona Europea	9
3	BUQUE AUTÓNOMO. DEFINICIÓN, NIVELES DE AUTONOMÍA Y CARACTERÍSTICAS	13
3.1	Definición de buque autónomo (Buque MASS)	13
3.2	Nuevas reglas establecidas por Lloyd's Register	13
3.3	Nuevas reglas establecidas por Bureau Veritas	14
3.4	Buque de tripulación reducida, operado en remoto y autónomo	15
4	PROYECTO AAWA POR ROLLS-ROYCE.....	16
4.1	Que es AAWA	16
4.2	Niveles de autonomía por AAWA. Concepto de autonomía dinámica	16
4.3	Planificación e inicio del viaje	18
4.4	Desatraque y maniobras fuera de puerto.....	19
4.5	Modos de operación en mar abierto	20
4.6	Aproximación a puerto y atraque.....	23
5	SMART PORTS	24
6	NAVEGACIÓN AUTÓNOMA	26
6.1	Conciencia situacional	26
6.2	Control reactivo para una navegación sin colisiones	27
6.3	Sistema de navegación autónoma.....	29
6.4	Mapeo del entorno y detección de obstáculos	31
7	EQUIPOS, SISTEMAS DE CONTROL Y TECNOLOGÍA EN UN BUQUE AUTÓNOMO	33
7.1	Equipos a bordo y sistemas control por KONGSBERG	33
7.2	Tecnología de sensores y equipos por AAWA.....	38
7.3	Fusión sensorial y procesamiento de datos.....	40
7.4	Comunicación OFF-SHIP	43
8	PROYECTOS DE BUQUES AUTÓNOMOS.....	45
8.1	Yara Birkeland	45
8.2	Proyecto Svan (Falco)	47
8.3	Ferry Folgefonn por Wärtsilä.....	48
8.4	The ReVolt por DNV GL.....	48

8.5	Proyecto Hrönn	49
8.6	Saildrones.....	50
8.7	Buque dron “MAST” en el río Támesis.....	52
9	LEGISLACIÓN VIGENTE Y APLICABLE A BUQUES AUTÓNOMOS. ASPECTOS LEGALES	53
9.1	UNCLOS	53
9.2	COLREG.....	54
9.3	SOLAS	55
9.4	MARPOL	56
9.5	MLC 2006.....	56
9.6	Responsabilidades.....	57
10	FACTOR HUMANO EN LOS BUQUES AUTÓNOMOS. IMPACTO LABORAL	58
11	VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS BUQUES AUTÓNOMOS	60
11.1	Ventajas.....	60
11.2	Desventajas	61
12	BUQUES AUTÓNOMOS EN CANARIAS. TECNOLOGÍA MARINELINK SMART	63
13	ENCUESTA	65
14	CONCLUSIONES	71
14.1	Conclusión.....	71
14.2	Conclusion	72
15	BIBLIOGRAFÍA.....	73

RESUMEN

Este proyecto se ha realizado por interés propio y por ser un tema que cada vez está más presente en nuestro entorno como gente de mar que somos, se busca lograr una interpretación y explicación de los buques autónomos actuales y su situación, partiendo desde un inicio bastante incierto para este tipo de buques y con una evolución tecnológica en pleno desarrollo. Se plantea este proyecto a modo de investigación mediante los diferentes temas propuestos y con el fin de situar y agrupar toda información relevante de los buques autónomos. Los resultados plantan ciertas dudas en cuanto a aspectos legales y legislación pero, por otro lado, unos grandes pasos en tecnología e inteligencia artificial de los buques autónomos y en proyectos reales que se están realizando por empresas importantes del sector marítimo. Los resultados a tratar explican aspectos como la pérdida de empleo o ventajas y desventajas y su futuro y necesario en términos legales para que los buques autónomos se conviertan en una realidad.

Palabras clave: buque autónomo, tecnología de sensores, navegación autónoma, inteligencia artificial y legislación.

ABSTRACT

This project has been made by own interest and because it's a topic which is increasingly present in our environment as people from sea that we are, it seeks to achieve an interpretation and explanation of the current autonomous ships and their situation, starting from a beginning very uncertain for this type of ships and with a technological evolution in full development. This project is proposed as a research through the different topics and in order to locate and group all relevant information of the autonomous ships. The results raise certain doubts regarding to legal aspects and legislation but, on the other, there are great steps in technology and in artificial intelligence of autonomous vessels and also in real projects that are being carried out by important companies in the maritime sector. The results treated explain aspects such as the loss of employment or advantages and disadvantages and their future and what is necessary in legal terms for autonomous vessels to become a reality.

Keywords: autonomous vessel, sensor technology, autonomous navigation, artificial intelligence and legislation.

INTRODUCCIÓN

El presente proyecto trata de explicar la situación actual y el futuro de los buques autónomos. Como punto de partida un buque autónomo es aquel que pretende navegar sin tripulación a bordo, de manera autónoma o controlado remotamente. Se pretende explicar de forma clara y concisa su situación actual, los aspectos legales que se deben tener en cuenta y su futuro en el sector marítimo. El sector marítimo es uno de los sectores más importantes a nivel mundial, más del 90% del transporte de mercancías se realiza cruzando los mares, siendo a su vez un sector anclado en su pasado y con una tecnología poco evolutiva. No es de extrañar que la robotización y la inteligencia artificial llegue a los buques mercantes, y de hecho, ya se está produciendo pero a un nivel muy inicial.

Se plantea así 13 capítulos en los que se explican temas relacionados con su historia, accidentes marítimos y sus principales causas, definición un buque autónomo, niveles de autonomía, tecnología y sistemas a bordo, la propia navegación autónoma y como funciona. Una vez abordados los temas más técnicos, se describirán proyectos reales de buques autónomos que existen actualmente, legislación vigente y aspectos legales a tener en cuenta, sus principales ventajas y desventajas, los buques autónomos en las Islas Canarias y una pequeña encuesta donde participaron más de 100 personas y que dan su opinión sobre este tema.

La realización de este proyecto se desarrolla mediante el estudio e investigación de los diferentes puntos y con las bibliografías aportadas en páginas webs especializadas en tecnología, autonomía y sector marítimo, convenios internacionales, documentos oficiales y elaboraciones propias.

1 LA NAVEGACIÓN. CONCEPTO Y EVOLUCIÓN HISTÓRICA

1.1 Concepto de navegación marítima

Antes de comenzar con la historia y evolución de la navegación es aconsejable hablar del propio concepto de “navegación”. ¿Qué es la navegación? ¿Cómo se desarrolla dicha actividad? ¿Cuáles son sus fundamentos?

Pues bien, la navegación viene de la palabra latina *navigatio* que significa “viaje que se hace con la nave”. La navegación marítima es el arte y a su vez la ciencia de llevar y conducir una nave o embarcación de un punto inicial o situación de salida hasta un punto final o situación de llegada, obrando con eficacia y siendo responsable de los movimientos que se realizan durante la travesía.

Se considera arte puesto que el navegante debe de obrar con destreza para evitar y sortear los peligros que se encuentre, y ciencia porque tiene establecidas las bases de la física, matemáticas, trigonometría, conocimientos sobre cartografía, navegación, astronomía, situación en tiempo real, etc. [1]

1.2 Tipos de navegación

A la hora de determinar las principales incógnitas durante la navegación como son el rumbo, velocidad, tiempo y distancia a la costa de un buque, se pueden emplear distintos métodos. Los principales son:

Navegación costera: El buque navega y se sitúa teniendo en cuenta puntos distinguidos o visibles en la costa como faros, cabos, boyas. Se utiliza tanto el sextante para medir ángulos horizontales como métodos electrónicos como el radar.

Navegación por estima: El buque navega y se sitúa por métodos analíticos y fórmulas una vez obtenido datos como el rumbo (ya sea rumbo verdadero, superficie o efectivo), situación inicial, velocidad o factores externos como viento o corriente. El punto que resulta de los cálculos se llama situación de estima o punto de fantasía.

Navegación loxodrómica: Es un tipo de navegación donde el buque navega siguiendo un mismo rumbo y corta todos los meridianos con el mismo ángulo. Si trazáramos el rumbo en una proyección mercator, donde los meridianos y paralelos son líneas rectas y paralelas entre sí, este rumbo se representaría mediante una recta.

Navegación ortodrómica: Es el tipo de navegación que sigue y realiza la distancia más corta entre dos puntos de la esfera terrestre, es decir, un círculo máximo ya que corta

siempre por el centro de la tierra. Se obtiene mediante la resolución de un triángulo esférico cuyos vértices son el origen, destino y el polo.

Navegación astronómica: El buque navega y se sitúa por técnicas de posicionamiento mediante la observación de estrellas y cuerpos celestes del cielo nocturno. Se utiliza el sextante, la trigonometría esférica, las tablas de los cuerpos celestes y las correcciones necesarias del momento para obtener el punto o situación del barco en un momento determinado.

Navegación electrónica: El buque obtiene su situación en tiempo real mediante los sistemas electrónicos de posicionamiento global como puede ser el NAVSTAR-GPS o conocido mundialmente como GPS, el GLONASS o el GALILEO.

Navegación inercial: El buque navega y se sitúa mediante equipos instalados a bordo como pueden ser el acelerómetro o giróscopo. Son sistemas electrónicos que añaden las aceleraciones, las convierten en velocidades y en función del rumbo que se tenga se obtiene la posición del barco. [1]

1.3 Historia y evolución de la navegación

Desde miles de años atrás, el ser humano ha tenido la necesidad de explorar y adentrarse en el mar, ya sea para explorar nuevas zonas o en busca de alimentos para sobrevivir. Las pruebas más directas de que el ser humano ha navegado datan de 40.000 años atrás, donde se sabe que llegaron a Australia navegando el Suroeste a través de cortos tramos de navegación y ríos caudalosos.

En esta época las embarcaciones eran simples troncos de madera o balsas de papiro donde apenas cabía una persona. Más tarde se comienzan a construir embarcaciones tipo kayak o piragua donde podían estar hasta 3 personas. Aquí la navegación se basaba en estar cerca de la costa o por aguas interiores como ríos o lagos. [2][3]

El desarrollo de las grandes civilizaciones de la Antigüedad como son los fenicios o egipcios, fue lo que ocasionó la mejora de la calidad de las embarcaciones. El primer barco, entendiendo como “barco” a un artefacto flotante capaz de maniobrar y ser gobernado se fecha entre los años 4.000 y 3.500 a.C. en Egipto. Hay constancia de movimientos entre las islas griegas en los años 10.000 a.C., de la pesca en Escandinavia hacia los 5.500 años a.C. o en el mar de China.

Alrededor del año 2.500 a.C. el Nilo es un punto de desarrollo enorme para la navegación. Los egipcios construyeron diferentes tipos de navegación ya sea para pesca, transporte de alimentos o conquista del Mediterráneo, iniciando una etapa de exploración y comercio dando lugar a la civilización que conocemos hoy en día. [4]

Posteriormente, los fenicios, griegos y romanos se adentran en la conquista del mar Mediterráneo con embarcaciones cada vez más sofisticadas y desarrolladas, los barcos de ésta época tenían varios remos a cada costado para tener una mayor velocidad e impulso.

A finales del cuarto milenio a.C. se produce una revolución que cambiaría la navegación por completo, se inventó la vela. La primera constancia data de una embarcación en los años 3.100 a.C. Hacia el año 1.500 a.C. se inventa el timón y el ancla. Cuando los avances en la construcción lo posibilitaron, se crearon puertos y amarres en ríos o cerca de las ciudades costeras. [5]

La transición entre el mundo de la navegación romana/griega con la Edad media es un proceso muy lento y difuso. Se tiene constancia que a partir del siglo VI existían grandes barcos mercantes de vela, barcos de guerra como los galeones y barcos mercantes pequeños a modo de auxiliares. Cabe destacar el descubrimiento de la brújula, a lo largo de los siglos pasados sufrió las modificaciones necesarias para llegar a la actual brújula magnética como instrumento para la navegación. [2]

También nombrar los vikingos y navegación en la Era Cristiana, que forman parte de esta transición a la navegación medieval y se sitúan ambos entre el año 0 y el siglo V d.C.

En el siglo XVIII, una mejor técnica de construcción fue lo que permitió aumentar el tamaño, diseño, mayor capacidad, mejor maniobrabilidad y velocidad de las naves. Se construyen barcos como las fragatas y bergantines que llegaban a tener 100 cañones y pasan de tener una a varias velas en su cubierta. En esta época se desarrolló también la rueda de timón. [6]

La edad moderna en la navegación abarca aproximadamente desde el siglo XVI hasta la revolución francesa en 1789. Los barcos evolucionan de carabelas o galeones a modelos bien definidos como navíos de línea o corbetas. La prioridad son los buques de guerra o basados en la artillería y número de cañones.

Durante más de 200 años fueron numerosos los intentos de crear un buque con ruedas de palas movido con propulsión a vapor, hasta que en 1824 Sadi Carnot, publica el segundo

principio de la termodinámica, lo que hace que la propulsión a vapor tenga un desarrollo muy importante.

En 1845 se implantó la hélice y tuvo prioridad sobre cualquier otro tipo de propulsión, siendo la más utilizada hasta día de hoy. El mayor de los avances producidos en esta época fue la turbina de vapor, la cual tuvo su uso en el mundo marítimo en el año 1897. Por otro lado, en el año 1903, un paquebote fue el primer buque propulsado con un motor diésel.

Tras la I y II Guerra Mundial se llevan a cabo avances en la propulsión turboeléctrica y la unión de piezas en la construcción naval empleando el método de soldadura. En 1958 se construye el primer buque con propulsión nuclear capaz de transportar pasajeros y carga pero resultó ser un fracaso para la compañía.

A partir de aquí, junto con la producción en masa y el acero como material principal, la navegación tiene un proceso de desarrollo y cambio imparable, especializando la construcción de buques según su tipo de carga u objetivo. Esto da lugar a una gran variedad de buques como pueden ser los petroleros, quimiqueros, gaseros, portacontenedores, graneleros, buques de carga convencional, cruceros, líquidos a granel, combustibles, materiales de carga o construcción, refrigeradores, barcos de pesca, científicos, oceanográficos, etc. Hasta llegar a la actualidad donde existen proyectos de buques autónomos que se están llevando a cabo por empresas importantes del sector marítimo y donde la OMI está trabajando para implementar estos nuevos buques en la legislación y puedan navegar al igual que los buques convencionales. [7]

2 ANÁLISIS Y CAUSAS DE ACCIDENTES MARÍTIMOS

2.1 Accidentes marítimos producidos en España

A continuación se presenta los accidentes marítimos producidos en España desde el año 2000 hasta el 2008 con una pequeña descripción y la causa principal de dicho accidente.

[8]

Año 2000

Abordaje de los buques “Auriga E” y “Milenium”. “Auriga E” no efectuaba una vigilancia efectiva y gran velocidad de ambos buques. Causa: Error humano.

Abordaje de los buques 'Ciudad de Ceuta' y “Ciudad de Tánger”. Incorrecta utilización de los sistemas de puente para evitar la colisión. Causa: Error humano.

Abordaje de los buques “Este” y “Ruth Borchard”. “Ruth Borchard” no alteró su rumbo como buque que alcanzaba y por lo tanto no obedeció el reglamento RIPA. Causa: Error humano.

Abordaje de los buques "Lima" y “Aures”. El buque "Aures" tomó el eco del buque “Lima” por el del remolcador en donde venía el práctico y mala comunicación con el práctico. Causa: Error humano.

Abordaje de los buques "Mar Rocío" y “Sks Trinity”. Incumplimiento del RIPA por el buque “Mar Rocío” al no alterar su rumbo con antelación. Causa: Error humano.

Año 2001

Colisión del buque “Euroferrys pacífica” contra el muelle de la galera de Algeciras. Velocidad inadecuada con meteorología adversa. Causa: Error humano.

Colisión de los buques “Indalo” y “Al Mansour”. Incumplimiento del Reglamento cuando ambos buques navegaban en zona de niebla. Causa: Error humano.

Abordaje de los buques “Iran Nesa” y “Fyodor Varaksin”. Incumplimiento del Reglamento por ambos buques. Causa: Error humano.

Abordaje del buque “Milenium” a la embarcación "Trimar". Los motores de babor del "Milenium" no respondieron a la orden de “máquina atrás”, además el sistema de emergencia también falló. Causa: Fallo de motor.

Año 2002

Varada del buque “Pacific Acadian”. Mala posición de fondeo del buque y falta de vigilancia de las sondas. Causa: Error humano.

Accidente del buque “Prestige”. Fallo estructural en la zona de los tanques y pérdida de rigidez, además las planchas sustituidas en la reparación eran de menor grosor. Causa: Mala reparación y reconstrucción de la zona a reforzar.

Accidente del jet-Foil “Princesa Teguisse”. Fallo del sistema de trincaje del pórtico de sustentación de popa por rotura. Causa: Fallo mecánico.

Accidente de la embarcación “Tefi y Yesi” y el buque “Ciudad de Salamanca”. Incumplimiento del Reglamento por falta de vigilancia por el buque “Ciudad de Salamanca” y velocidad inadecuada. Causa: Error humano.

Año 2003

Varada del buque “Cape Júpiter”. Borneo y movimiento del buque por la marejada, al estar excesivamente cerca de aguas poco profundas. Causa: Error humano + condiciones adversas.

Accidente del buque granelero “Lydia” y el remolcador “Narcea”. Mala gestión de la situación por parte de ambos buques y rotura de cadena de sujeción del remolcador., además mal estado de la mar. Causa: Error humano + fallo mecánico + condiciones adversas.

Abordaje entre los buques “Nuria Tapias” y “Júnior M”. El buque “Junior M” no mantenía una vigilancia adecuada y no efectuó maniobra alguna en situación de abordaje. Causa: Error humano.

Abordaje entre el pesquero “Silvia celeste” y el buque gasero “Cervantes”. Incumplimiento del Reglamento por parte de los dos buques. Causa: Error humano.

Accidente del buque “Spabunker Cuatro”. El buque se hundió por falta de estabilidad. Causa: Fallo en construcción.

Año 2004

Accidente del pesquero “Enrique el Morico”. Pérdida de estabilidad, debida a una sobrecarga y mala distribución de los pesos. Causa: Error humano + mala estiba.

Hundimiento, con pérdida de vidas, del buque pesquero “Nuevo Pilín”. Pérdida de estabilidad transversal del buque, mal estado de la mar y velocidad inadecuada para la situación. Causa: Error humano + condiciones adversas.

Hundimiento, con pérdida de vidas, del buque pesquero “O’Bahía”. Pérdida de estabilidad debido a pesos que no se tuvieron en cuenta, velocidad inadecuada dada su eslora y condiciones adversas de la mar. Causa: Error humano + condiciones adversas + mala estiba.

Varada del buque “Wahlstedt”. Interpretación errónea del Reglamento y ausencia de comunicación entre buque y práctico. Causa: Error humano.

Año 2005

Incendio del buque “Josef Möbius”. Fuga de combustible que se proyectó sobre los escapes del motor principal de estribor y sistema contraincendios no eficaz. Causa: Fallo mecánico + incendio.

Naufragio, con pérdida de vidas, del buque pesquero “Siempre Casina”. Pérdida de estabilidad del buque que originó su escora y hundimiento de su popa al no mantener la condición de estanqueidad y cambio brusco de las condiciones meteorológicas. Causa: Error mecánico + condiciones adversas.

Inundación de la cámara de máquinas del buque “Volcán de Tacande”. Error en la derrota que siguió el buque pasando por una zona de poca profundidad. Causa: Error humano.

Año 2006

Abordaje de los buques “Atlas” y “Avemar Dos”. Incumplimiento del Reglamento por ambos buques. Causa: Error humano.

Naufragio del pesquero “José el Francés” con pérdida de vidas. Vuelco por pérdida de estabilidad transversal de la embarcación. Algunos pesos no se tuvieron en cuenta en la estabilidad. Causa: Error humano + condiciones adversas + mala estiba.

Naufragio del buque “Portland”. Pérdida de estabilidad ocasionada por el corrimiento de la carga que transportaba. Mala gestión de la carga. Causa: Error humano + mala estiba.

Año 2007

Hundimiento del buque “Don Pedro”. Pérdida de estabilidad producida por la inundación parcial de sus bodegas. Descuido de la tripulación e inexistente planificación del viaje. Causa: Fallo mecánico + error humano.

Hundimiento del pesquero “Nuevo Pepita Aurora”. Inundación de sus compartimentos internos tras su vuelco, debido a la pérdida de estabilidad por una inadecuada disposición de los pesos. Causa: Error humano + mala estiba.

Varada del buque “Ocean Globe”. Error por parte del Capitán del buque durante la aproximación a la canal de entrada. Causa: Error humano.

Varada del buque “Sierra Nava”. Incapacidad para detener su movimiento al garrear el ancla debido al viento, mala utilización de los sistemas, no utilización de la otra ancla y no solicitud de ayuda. Causa: Error humano + condiciones adversas.

Año 2008

Hundimiento del pesquero “Cordero”. Efecto combinado de la disminución y pérdida de flotabilidad y estabilidad del buque por inundación progresiva del parque de pesca. Causa: Fallo mecánico.

Hundimiento del pesquero “Sombriza”. Pérdida de flotabilidad causada por la inundación producida por una vía de agua. Causa: Fallo mecánico.

Abordaje entre el buque “Super fast Galicia” y la embarcación de prácticos “Azaña P”. Vuelco de la lancha de prácticos “Añaza P” debido a la fuerte escora que le provocó el buque “Super Fast Galicia” al golpearle con su zona de popa. Causa: Condiciones adversas.

Se realiza, con los datos obtenidos, un gráfico mostrando el porcentaje de cada causa en relación con el total de accidentes producidos durante los 8 años, la siguiente ilustración muestra los porcentajes.

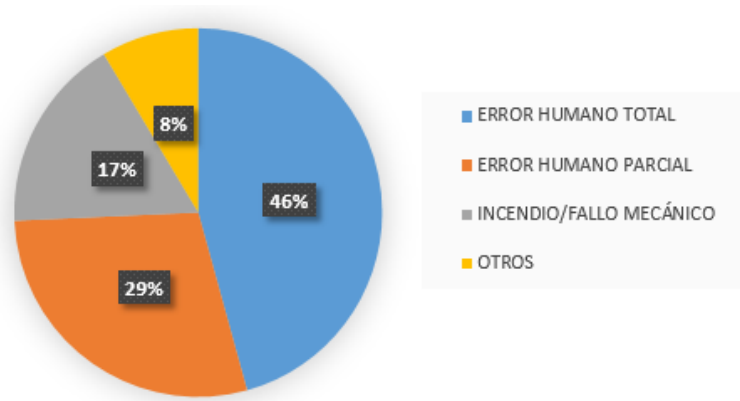


Gráfico 1: Causa principal de accidentes marítimos en España
Fuente: Elaboración propia

Tras analizar con detenimiento los datos ofrecidos por la Comisión Permanente de Investigación de Siniestros Marítimos, se puede observar que en un alto porcentaje de los accidentes (un 75%), el error y actuación humana ha estado presente, ya sea de manera directa con un error producido en su totalidad por una persona (un 46%) como puede ser el no cumplimiento del Reglamento o de manera indirecta o secundaria (un 29%) como puede ser el error humano junto con unas condiciones meteorológicas adversas.

Los incendios o fallos mecánicos junto con los accidentes que no se pueden categorizar en grandes grupos forman un total del 25% de los accidentes (un 17% los incendios/fallo mecánico y un 8% las causas distintas a las mencionadas anteriormente), también añadir que desde una perspectiva de responsabilidades el error humano también podría estar intrínseco en el porcentaje de “Incendio/Fallo mecánico” puesto que no se ha llevado un correcto mantenimiento o limpieza de los sistemas a bordo o un buen funcionamiento del motor.

2.2 Accidentes marítimos producidos en la zona Europea

El informe anual de los accidentes marítimos producidos en 2019, en inglés “Annual Overview of Marine Casualties and Incidents 2019” publicado por la Agencia Europea de Seguridad Marítima (AESM), consiste en un análisis de alto nivel de los accidentes notificados por los Estados miembros de la Unión Europea (UE) en la Plataforma Europea de Información sobre Siniestros Marítimos (EMCIP) donde reporta todos los tipos de accidentes producidos en dicha zona y a nivel mundial, así como su causa, tipo de barco, descripción del mismo y características.

En su apartado de accidentes y factores contribuyentes, en el informe original en inglés “Events and contributing factors”, trata los accidentes y causa principal del mismo desde el año 2011 hasta el 2018. Mediante un gráfico se muestra la distribución de los accidentes durante esos años.

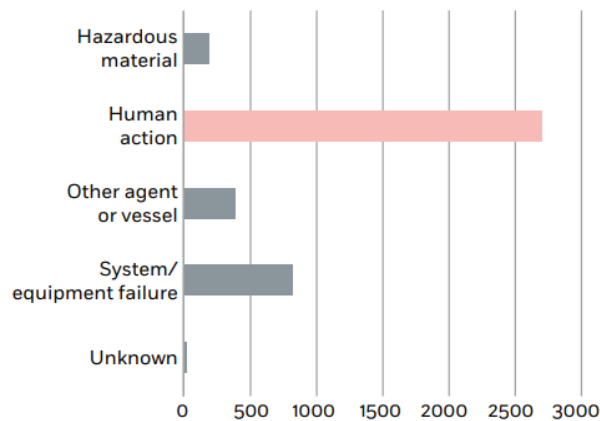


Gráfico 2: Distribución de los accidentes entre 2011 y 2018

Fuente: EMSA Europea. <http://www.emsa.europa.eu/news-a-press-centre/external-news/item/3734-annual-overview-of-marine-casualties-and-incidents-2019.html>

En dicha gráfica de un total de 4104 accidentes analizados durante las investigaciones, un 65,8% fueron atribuidos a la categoría de acciones humanas y un 20% a sistemas/fallos mecánicos o equipamiento. Teniendo en cuenta que un accidente puede estar asociado a uno o más causas de accidente.

En otro apartado anexo se relaciona el accidente en sí con el factor contribuyente principal desde el año 2011 hasta 2018. Donde la acción humana en relación con las operaciones a bordo representa el grupo principal con 2000 casos, en relación con la gestión unos 550 casos y en relación con causas medioambientales unos 80 casos, al igual que con el grupo de causas sin especificar, sumando un total de aproximadamente 2600 casos.

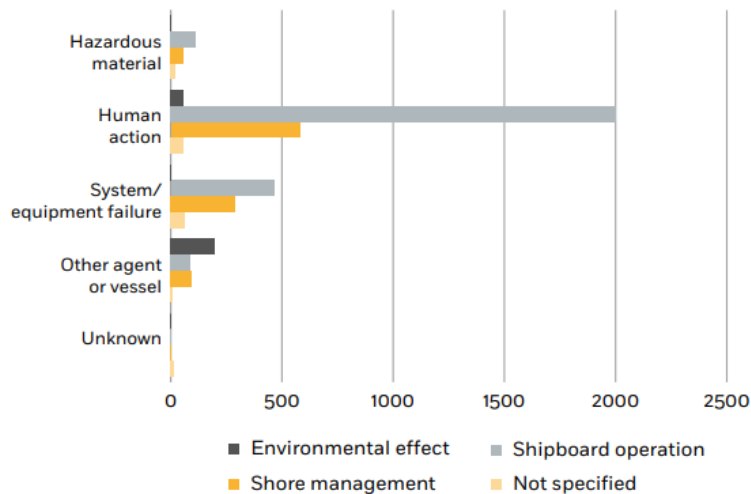


Gráfico 3: Relación entre accidente y principal contribuyente

Fuente: EMSA Europea. <http://www.emsa.europa.eu/news-a-press-centre/external-news/item/3734-annual-overview-of-marine-casualties-and-incidents-2019.html>

La última figura muestra los factores contribuyentes relacionados con la acción humana más reportados bajo la Gestión de la costa (SM) y las Operaciones a bordo de buques (SO). Los dos principales grupos son “Entorno social - Conciencia de seguridad” que reporta 207 casos, “Personal y dotación – Métodos inadecuados de trabajo” con 205 casos y “Gestión de Operaciones - Procedimientos inadecuados” que reporta 80 casos.



Gráfico 4: Factores contribuyentes relacionados con la acción humana

Fuente: EMSA Europea. <http://www.emsa.europa.eu/news-a-press-centre/external-news/item/3734-annual-overview-of-marine-casualties-and-incidents-2019.html>

Todos estos datos demuestran que durante las últimas dos décadas, ya sea a nivel nacional, internacional e incluso mundialmente, el factor o error humano es un hecho que está presente en un elevado número de accidentes, aproximadamente en un 60-70% de los accidentes marítimos el humano ha intervenido.

Ya sea por una mala gestión de los sistemas de abordaje, una mala toma de decisiones o incorrecta actuación, distracciones, mal mantenimiento, incorrecta estiba o cualquier otra causa mencionada anteriormente, es un gran problema que está presente a día de hoy y es un riesgo para la vida y seguridad en la mar.

El error humano es algo inevitable, en nuestro día a día siempre existe ese error y es algo que no se puede suprimir de manera inmediata. Con este análisis no se busca la humillación o infravalorar al humano en forma de castigo, se pretende buscar soluciones reales a un hecho que ocurre muy a menudo y que está contrastado, para mantener y perseverar en todo momento lo más importante en la mar, la vida humana. [9]

3 BUQUE AUTÓNOMO. DEFINICIÓN, NIVELES DE AUTONOMÍA Y CARACTERÍSTICAS

3.1 Definición de buque autónomo (Buque MASS)

La Organización Marítima Internacional (OMI) junto con el Comité de Seguridad Marítima (NSC) ha dado una definición preliminar de los buques autónomos conocidos como MASS (Marine Autonomous Surface Ship).

En relación con la nueva reglamentación se considera “buque MASS” todo barco que navegue por la superficie y pueda realizarlo sin la ayuda de interacción humana, controlado completamente por programas de inteligencia artificial que gestionan y resuelven mediante algoritmos cualquier tipo de situación durante la navegación, todas estas situaciones que pueden ocurrir durante un viaje han sido previamente estudiadas y analizadas. [10]

3.2 Nuevas reglas establecidas por Lloyd’s Register

En 2017 la Sociedad de Clasificación de Buques Lloyd’s Register publicó el código “Unmanned Marine Systems Code” donde trata todos los temas relacionados con los buques autónomos como el diseño, construcción, mantenimiento, sistemas de control, sistemas de maniobra y navegación y niveles de autonomía. Esta SC define seis niveles de autonomía (AL: Autonomy Levels) y son los siguientes:

AL 0) Manual: Sin función autónoma. Toda acción y toma de decisiones se realiza manualmente mediante un humano.

AL 1) Soporte de decisiones a bordo. Todas las acciones son tomadas por el operador humano, pero la herramienta de soporte de decisiones puede presentar sus propias decisiones, para que el operador tome la decisión final. Los datos son proporcionados por los sistemas a bordo.

AL 2) Soporte de decisiones a bordo o en tierra. Todas las acciones son tomadas por el operador humano, pero la herramienta de soporte de decisiones puede presentar sus propias decisiones, para que el operador tome la decisión final. Los datos son proporcionados por los sistemas a bordo o en tierra e intervienen algoritmos automatizados.

AL 3) Ejecución con humano activo que aprueba. Las acciones son propuestas por el sistema autónomo, a través de la información que capta con los sensores. El operador aprueba toda acción antes de ser realizada.

AL 4) Ejecución con humano que podría intervenir/supervisar. Toda acción es calculada por el sistema y ejecuta lo que haya sido aprobado por el operador. Las decisiones se implementan de manera que el humano tiene la oportunidad de interceder y anular.

AL 5) Autonomía parcial. Operaciones y decisiones raramente supervisadas, el sistema calcula las acciones y las lleva a cabo, toma el control de la navegación y las realiza de forma autónoma en su totalidad. El operador puede actuar en caso de duda, trabajando de forma remota en tierra.

AL 6) Autonomía total. Operaciones no supervisadas donde las decisiones las toma el sistema durante la misión y las realiza de forma autónoma en su totalidad. El operador solo interviene si el sistema no está seguro de la solución. [11]

3.3 Nuevas reglas establecidas por Bureau Veritas

Dependiendo de la autonomía que posea el buque, la Sociedad de Clasificación Bureau Veritas divide a los buques autónomos en 4 niveles, pudiendo pertenecer a uno o varios.

Nivel 1: Buque con procesos automatizados y apoyo en la toma de decisiones. La tripulación a bordo controla y opera los sistemas y funciones del buque. Algunas operaciones están automatizadas.

Nivel 2: Buque controlado a distancia pero con tripulación reducida a bordo. La tripulación es reducida y el buque se controla y opera a control remoto desde tierra.

Nivel 3: Buque controlado a distancia sin tripulación a bordo. No existe tripulación a bordo, se controlan todos los parámetros y operan el buque desde torres de control en tierra.

Nivel 4: Buque totalmente autónomo. No existe tripulación a bordo. No se controla desde tierra y no tiene interacción humana. La toma de decisiones las realiza por si solo mediante su sistema operativo. [12]

3.4 Buque de tripulación reducida, operado en remoto y autónomo

La “Regla 3: Definiciones generales” del Reglamento Internacional para Prevenir Abordajes (RIPA) da una definición de lo que un buque se refiere: “Toda clase de embarcaciones, incluidas las embarcaciones sin desplazamiento y los hidroaviones, utilizadas o que puedan ser utilizadas como medio de transporte sobre el agua”.

La “Regla 5: Vigilancia” también merece mención: “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”. [13]

La Regla 3 no dice que el buque deba estar tripulado o no, ya que se refiere a cualquier tipo de embarcación, en cambio la Regla 5 hace referencia a “vigilancia visual y auditiva” y la Regla 8 habla sobre realizar las maniobras necesarias para evitar el abordaje “respetando las buenas prácticas maríneas”, dando a entender que debe ser un humano quien realice estas operaciones y no un sistema de inteligencia artificial.

Por lo tanto, según el RIPA, un buque de tripulación reducida y operado en remoto si se puede considerar buque ya que está supervisado en mayor o menor medida por un humano, pero un buque completamente autónomo no, ya que en caso de abordaje, el RIPA dice que existe la posibilidad de no cumplir el reglamento para evitar dicho abordaje, acto que un sistema artificial no puede realizar debido a que se rige por algoritmos previamente creados y que no se pueden cambiar. Es decir, siempre existirá un pequeño “factor humanizante” o de “sensibilidad o supervivencia humana” que un sistema informático no puede alcanzar.

Es por ello que el Comité de Seguridad Marítima (MSC) y la Organización Marítima Internacional (OMI) desde 2018 está realizando un estudio de los tratados que tengan relación o causen controversias con los buques autónomos, para que estén incluido como tal.

4 PROYECTO AAWA POR ROLLS-ROYCE

4.1 Que es AAWA

De sus siglas en inglés Advanced Autonomous Waterborne Applications, AAWA es un proyecto fundado por Tekes, un organismo finlandés que promueve la tecnología e innovación, en conjunto con Rolls-Royce y tiene como objetivo establecer las especificaciones y diseños preliminares de la nueva generación de buques avanzados.

Agrupar a las universidades, diseñadores, ingenieros, fabricantes de equipos y sociedades de clasificación con el objetivo de estudiar los factores económicos, sociales, legales, reglamentarios y tecnológicos para que los buques autónomos se conviertan en una realidad. El proyecto combinará los principales avances de investigadores académicos de Finlandia como la Universidad Tecnológica de Tampere, Centro de Investigación Técnica de Finlandia y miembros destacados del grupo marítimo como Rolls-Royce, DNV GL, Inmarsat, Deltamarin, NAPA, Brighthouse Intelligence, Finferries y ESL Shipping. [14]

4.2 Niveles de autonomía por AAWA. Concepto de autonomía dinámica

Existen varias definiciones de autonomía y de la inteligencia de máquina. Los niveles de autonomía en inglés “Levels of Autonomy” (LOA), se utilizan para describir el nivel de autonomía que tiene una máquina y hasta qué punto puede actuar por sí misma. Probablemente la escala más conocida de LOA es la desarrollada por Thomas Sheridan, que incluye un gran rango desde una máquina completamente controlada por un humano hasta una máquina completamente autónoma capaz de tomar sus propias decisiones sin ninguna ayuda humana.

NIVEL	DESCRIPCIÓN
1	El sistema o máquina no ofrece ningún tipo de asistencia, es controlado completamente por un humano.
2	El sistema ofrece un conjunto de decisiones o acciones alternativas a las tomadas por el humano.
3	El sistema reduce las alternativas propuestas a unas pocas.
4	El sistema sugiere una única alternativa.
5	El sistema realiza la acción alternativa si un humano la aprueba.
6	El sistema permite al humano un tiempo de decisión para prohibir, antes de la ejecución automática.
7	El sistema ejecuta acciones automáticamente, cuando sea necesario informará al humano.
8	El sistema informa al humano solo si se le pregunta.
9	El sistema informa al humano solo si el sistema así lo decide.
10	El sistema realiza todas las acciones de manera autónoma, prescinde del humano.

Tabla 1: Niveles de autonomía establecidos por AAWA

Fuente: Rolls-Royce. <https://www.rolls-royce.com/~media/Files/R/Rolls-Royce/documents/customers/marine/ship-intel/aawa-whitepaper-210616.pdf>

En la investigación de AAWA se han desarrollado diferentes variaciones de la escala, donde una conclusión clara es que tales escalas no pueden ser aplicables a una operación completa y además son más útiles cuando se aplican a diferentes subtareas.

Esta conclusión es muy relevante para buques autónomos ya que el comportamiento del buque, es decir el nivel LOA, y la cantidad requerida de interacción humana dependerá del estado del barco, situación y subtarea que esté ejecutando. A este tipo de autonomía se le llama “autonomía dinámica” o “autonomía ajustable”. Es un concepto que a menudo se discute en el contexto de los robots móviles, ya que dicho robot puede ser operado por periodos de tiempo por si solo, dependiendo del grado de toma de decisiones que se le ha asignado, y también puede realizar tareas simples de forma autónoma. Sin embargo, cuando las tareas tienen una cierta dificultad o complejidad, se necesita una mayor interacción con el humano, de ahí a que se le llame autonomía dinámica o ajustable.

Los buques a control remoto seguirán este tipo de enfoque de autonomía dinámica dependiendo del estado en el que se encuentre el buque y la tarea que esté realizando. Por ejemplo en la navegación en mar abierto el buque puede ser completamente autónomo mientras que para algunas partes del viaje como salida o llegada a puerto o una situación de peligro con otro buque, se requerirá una supervisión y toma de decisiones por parte de un humano o incluso una total teleoperación. [14]

4.3 Planificación e inicio del viaje

Para entender cómo funcionaría un buque autónomo, se describe a continuación un ejemplo de buque de carga general que opera entre dos puertos. En el ejemplo se mostrará diferentes niveles de autonomía durante diferentes fases del viaje.

Hay ciertos aspectos que están relacionados con la operación de control remoto que se deben tener en cuenta por el operador mientras se planea el viaje del buque. Los buques autónomos utilizarán una combinación entre redes de comunicación terrestre y satelital en función de su disponibilidad, calidad y presupuesto, donde los sistemas de comunicación por satélite brindan la capacidad de operar una embarcación autónoma en la gran mayoría de los modos de autonomía, a pesar de la ubicación en la que esté situado el buque.

Sin embargo, algunos de los modos pueden requerir una latencia y un ancho de banda que exceda la capacidad de los sistemas satelitales ya sea por ejemplo por condiciones climáticas adversas o acciones que requieren más precisión como el atraque del buque. El operador deberá asegurarse de que haya suficiente conectividad en cualquiera de los casos que se le presente.

Desde el punto de vista de la planificación de la travesía, se debe definir qué tramos serán controlados a distancia y cuales se ejecutarán de forma autónoma. Una vez tomada esta decisión, el operador tendrá que definir más estrategias de navegación secundarias o de reserva para cada tramo. Estas estrategias de reserva se ejecutan solo si el buque experimenta una reducción de conectividad en conjunto con una situación que normalmente requiere la intervención del operador.

La estrategia alternativa puede incluir por ejemplo pedirle al operador que tome el control manual (si falla), reducir velocidad y proceder al siguiente punto de ruta (si falla), detener la embarcación y permanecer en modo DP (Dynamic Positioning) en caso de fallo, navegar al punto anterior (si falla), navegar de regreso a la última ubicación segura establecida por el operador, etc. Obviamente, los comandos y secuencia de ejecución no son los mismos en todas las partes del viaje. Por ejemplo, mantener un rumbo constante con condiciones climáticas adversas y mal tiempo podría no ser una estrategia viable, es por ello que el plan de viaje y las estrategias de reserva siempre se podrán modificar durante la travesía. [14]

4.4 Desatraque y maniobras fuera de puerto

Los sistemas de amarre de una embarcación autónoma pueden ser semiautomáticos o totalmente automáticos.

En el caso de un sistema de amarre completamente automático, la operación de amarre y desatraque se controla remotamente por un operador o se ejecuta automáticamente por el propio buque autónomo.

El amarre semiautomático significa que la conexión al muelle se puede realizar automáticamente pero se necesita tripulación para asegurar el amarre, con los métodos convencionales basados en cabos, y con la confirmación de que se ha realizado correctamente.

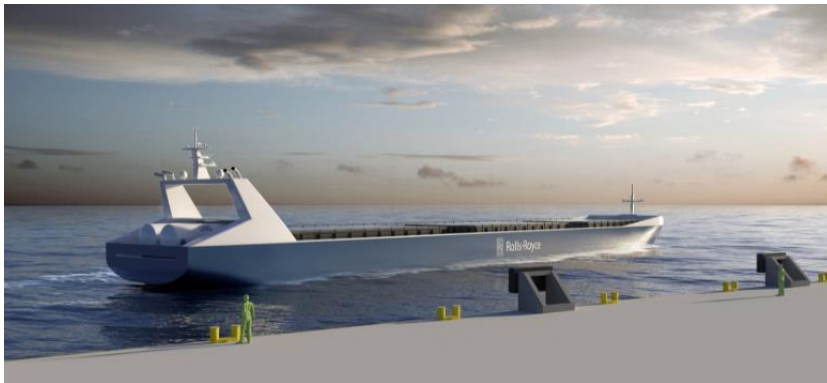


Ilustración 1: Sistema de amarre semiautomático

Fuente: Rolls-Royce. <https://www.rolls-royce.com/~media/Files/R/Rolls-Royce/documents/customers/marine/ship-intel/aawa-whitepaper-210616.pdf>

Cuando el buque está maniobrando o navegando en áreas con mayor tráfico, el operador puede tener un control remoto directo o un control de supervisión, respaldado por los sistemas de alerta a bordo. En este tipo de operaciones se necesita una comunicación con gran ancho de banda y una baja latencia. Normalmente, estas zonas están situadas cerca de tierra por lo que esta comunicación puede ser proporcionada por las redes de comunicación terrestres y los sistemas de comunicación por satélite permanecerán como respaldo.

El sistema de control remoto puede ser de operación directa tipo joystick, modelo que ya existe para las soluciones de posicionamiento dinámico, utilizado por ejemplo para establecer una velocidad de bloqueo, rumbo o posición relativa a un objeto. Otra forma de controlar el buque en estas situaciones es mediante puntos de ruta establecidos

previamente donde el sistema de control se encargará de la propulsión y rumbo, teniendo en cuenta factores externos como viento o corriente. [14]

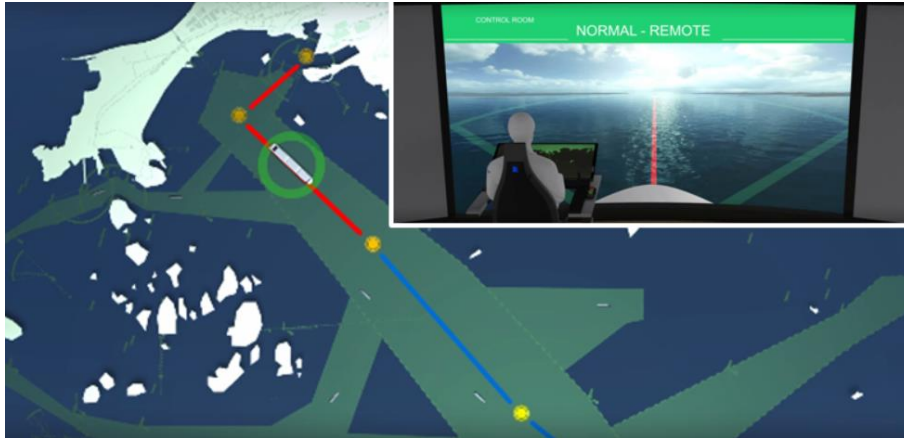


Ilustración 2: Teleoperación y supervisión en la salida de puerto mediante puntos de ruta

Fuente: Rolls-Royce. <https://www.rolls-royce.com/~media/Files/R/Rolls-Royce/documents/customers/marine/ship-intel/aawa-whitepaper-210616.pdf>

4.5 Modos de operación en mar abierto

Modo de supervisión y monitoreo

Es el modo autónomo normal, donde el buque ejecuta la misión planificada, por ejemplo, navegación al siguiente punto de ruta de acuerdo con el plan definido. Aquí la transferencia de datos entre buque y operador se minimiza y se limita solo a datos relevantes como la ubicación, velocidad, rumbo, ETA al siguiente punto o área de supervisión más cercana. Mientras la interacción entre el buque y operador sea mínima, es posible que el operador supervise más de un buque a la misma vez. Esto significa que el nivel de autonomía del buque es alto y que por lo tanto la ejecución se está llevando a cabo según el plan elaborado.

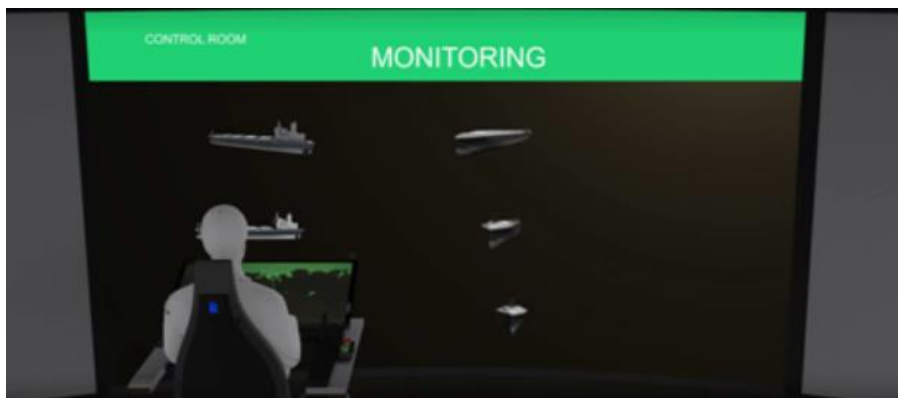


Ilustración 3: Escenario de supervisión y monitoreo

Fuente: Rolls-Royce. <https://www.rolls-royce.com/~media/Files/R/Rolls-Royce/documents/customers/marine/ship-intel/aawa-whitepaper-210616.pdf>

Modo de evasión

Ocurre en caso de que se sobrepase el umbral de toma de decisiones, que tiene el buque establecido, durante la navegación autónoma. Se le proporcionará información adicional al operador en forma de notificación, confirmación o intervención.

En este modo se solicitarán diferentes niveles de interacción del operador según el escenario, por ejemplo, si la embarcación se desvía del rumbo planificado pero permanece dentro de los márgenes especificados, el sistema de navegación autónomo solo notifica al operador y le da la posibilidad de vetarla por un tiempo limitado. Una causa de tal evasión puede ser la adopción de medidas automáticas, por el propio buque, para mantenerse fuera del alcance o evitar un rumbo de colisión con otro buque, cambiando ligeramente el rumbo o la velocidad siguiendo el Reglamento.

Además el operador puede optar por utilizar la radio VHF para comunicarse con la otra embarcación y confirmar que la acción a realizar es segura para ambas partes, y si necesitan más modificaciones, el operador puede tomar el control manual del buque en cualquier momento.

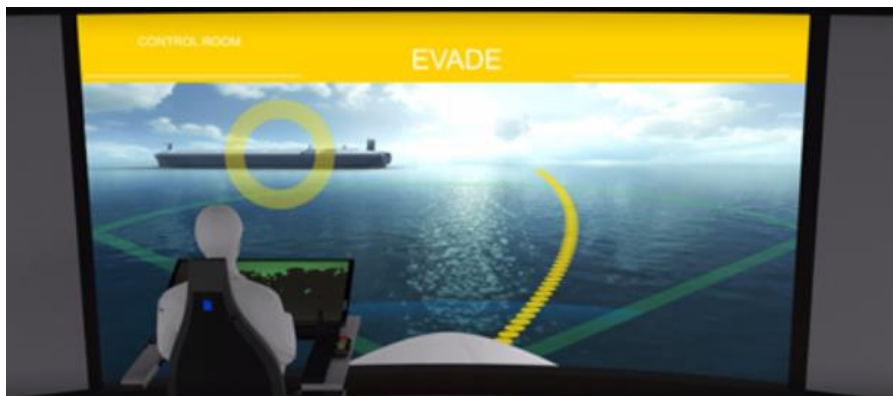


Ilustración 4: Modo de evasión dentro de los márgenes establecidos

Fuente: Rolls-Royce. <https://www.rolls-royce.com/~media/Files/R/Rolls-Royce/documents/customers/marine/ship-intel/aawa-whitepaper-210616.pdf>

Modo de replanificación

Un caso más complicado, que requiere la toma de decisiones por parte del operador, es cuando la embarcación necesita cambiar el rumbo, haciendo que el nuevo rumbo para el siguiente punto de ruta se deba replanificar. Para garantizar que los cambios en el plan se realicen de manera segura, se solicitará la confirmación del operador, el sistema de navegación autónoma ofrecerá una o más alternativas de cómo podría llevarse a cabo el

viaje hasta el siguiente waypoint pero el operador finalmente tomará la decisión de cómo continuar el viaje.



Ilustración 5: Modo de replanificación de ruta

Fuente: Rolls-Royce. <https://www.rolls-royce.com/~media/Files/R/Rolls-Royce/documents/customers/marine/ship-intel/aawa-whitepaper-210616.pdf>

Modo de situación de emergencia (PAN-PAN)

También existirán escenarios complejos o “imposibles”, donde la planificación de la ruta del sistema y sus algoritmos no pueden resolver la situación de manera inequívoca. Un ejemplo podría ser una situación donde detecta un gran número de buques u otros objetos aproximándose teniendo rumbos de colisión y los algoritmos de planificación de ruta no son capaces de identificar y encontrar una solución viable. En este caso, la embarcación enviará inmediatamente un mensaje “pan-pan” al operador indicando la necesidad urgente de asistencia.

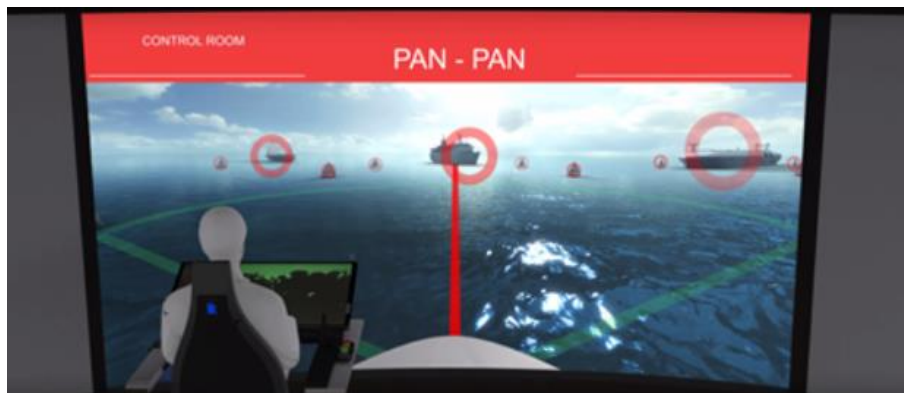


Ilustración 6: Modo situación de emergencia "pan-pan"

Fuente: Rolls-Royce. <https://www.rolls-royce.com/~media/Files/R/Rolls-Royce/documents/customers/marine/ship-intel/aawa-whitepaper-210616.pdf>

El funcionamiento de la embarcación combinará diferentes niveles de autonomía dependiendo del estado de la embarcación y las condiciones externas. A medida que los algoritmos de control avancen y maduren con el tiempo, los buques serán capaces de

manejar situaciones cada vez más complejas. Cuando la flota de barcos autónomos aumente, será posible el intercambio de planes de viaje y que se comuniquen entre si automáticamente, reduciendo así la carga del operador. [14]

4.6 Aproximación a puerto y atraque

Cuando el buque autónomo se aproxima a puerto, el operador puede tomar el control de tipo teleoperación o aumentar el nivel de supervisión de la embarcación. Esto podría ser necesario desde el punto de vista de VTS (Vessel Traffic Services) pero también porque puede ser necesario el servicio de práctico.

En el futuro, el servicio de practica se puede organizar de diferentes formas para los buques autónomos. Una alternativa es que el práctico tenga la capacidad de tomar el control de la embarcación, o que el operador tenga una licencia de piloto para navegar en las áreas o puertos previstos.

El modo de atraque se realizará del mismo modo que en la salida de puerto, dependiendo de las instalaciones que el puerto de llegada posea y con los sistemas de operación establecidos por el operador, siendo de manera autónoma o una operación a control remoto. [14]

5 SMART PORTS

Un Smart-Port o puerto inteligente es un puerto que utiliza las nuevas tecnologías, como la inteligencia artificial, y la automatización para mejorar el rendimiento y la eficacia en comparación con los puertos convencionales.

Las características principales de estos puertos son muy diversas. Algunas empresas desarrollan sistemas de amarre automatizados mediante ventosas de vacío y tecnología de amortiguación pasiva que hacen un atraque más eficiente, seguro y en un menor tiempo. [15]



Ilustración 7: Sistema automático de atraque AutoMoor

Fuente: <https://www.rubbernews.com/article/20171205/NEWS/171209983/trelleborg-chinese-firm-partner-to-study-marine-infrastructure-design>

Otros puertos tienen características relacionadas con el ámbito logístico y comercial. Como es el caso del Puerto de Barcelona, algunas mejoras que se han implantado en él son las siguientes.

Conexión eléctrica constante para una emisión libre de CO₂ hacia la atmósfera cuando un buque se encuentra atracado. Instalación de placas solares. Fibra óptica para garantizar una correcta comunicación en todo momento. Puerto dashboard, que consiste en un sistema de monitorización de todos los parámetros y datos relacionados con el puerto y su actividad. Despliegue de sensores IoT y drones, sensores que hacen posible almacenar toda la información necesaria para herramientas como Big Data y Machine Learning, con el objetivo de planificar y anticiparse a acontecimientos y mejorar así la seguridad dentro de puerto.

Existen otros puertos españoles que pretenden implantar sistemas relacionados con Smart-Ports, como por ejemplo el Puerto de Sevilla con el proyecto Tecnoport, el Puerto de Vigo con un sistema de monitorización llamado Smart Viport y el Puerto de Valencia.

También se encuentran puertos fuera de España con avances tecnológicos similares, como son el Puerto de Rotterdam en Holanda, el Puerto de Hamburgo en Alemania hasta puertos en Singapur, Shanghái y San Francisco. [15][16]

La evolución tecnológica hace que los puertos, a pesar de que ciertos aspectos de la gestión portuaria están anclados en el pasado, tengan que avanzar y se vuelvan más eficientes y efectivos, algunos ejemplos que ya están implantados en puertos y que demuestran que cada vez son más inteligentes son los siguientes:

Sensores que ayudan a monitorear el estado de la infraestructura vital, lo que permite que los operadores programen mantenimiento predictivo y reducir así la necesidad de inspecciones anuales.

Sistemas de monitoreo que ayudan a mejorar el manejo de la carga en los puertos. El Puerto de Valencia instaló recientemente una red de 'cajas negras' donde se recopila una gran variedad de información, como su ubicación o consumo de energía, datos que podrían ayudar al personal de la terminal a encontrar formas de reducir el tiempo de inactividad.

Sistemas de iluminación inteligente instalados en algunos puertos que se encienden solo cuando los vehículos están cerca, una medida que ha reducido el consumo de energía en un 80%.

Un sistema de transferencia de datos llamado Blockchain, que permite que la transferencia de los llamados “derechos digitales” sea única, lo que significa que un solo camionero puede recoger una carga de forma segura, reduciendo así el potencial de fraude.

Sistemas de citas en la terminal, permitiendo a los transportistas reservar horas específicas para dejar o recoger la carga. Reduciendo así el volumen de carga y espera en puerto y mejorando considerablemente la calidad del aire dentro de puerto, ya que el tiempo de espera es mucho menor. Aunque los sistemas de citas ya existen, la provisión de datos podría permitir que los puertos se gestionen de forma integral en tiempo real. [18]

6 NAVEGACIÓN AUTÓNOMA

6.1 Conciencia situacional

Una de las tecnologías clave para la navegación de un buque autónomo es la fusión de sensores. Cuando se crea una “conciencia situacional” del inglés Situational Awareness (SA) para un vehículo autónomo, ninguna tecnología que tenga un único sensor puede proporcionar un rendimiento suficiente en todas las condiciones posibles. Por lo tanto, para garantizar que la información del entorno sea precisa en todo momento, la entrada de múltiples sensores y su información debe combinarse y analizarse. El procesamiento de datos del sensor debe integrarse, sin ningún problema, con la planificación de la ruta posterior y los sistemas de anticolisiones, que mantienen un mapa detallado y constantemente actualizado del entorno.

La ilustración número 8 muestra la estructura de procesamiento y detección de información aplicada a coches autónomos con su conciencia situacional. Se utilizan varios sensores para extraer datos del entorno, como por ejemplo un dispositivo LIDAR como fuente principal, utilizada por Google, que puede llegar a ser compatible con otros dispositivos como cámaras o un pequeño radar. Por otro lado el enfoque que adopta Tesla o Mercedes Benz, que consiste en la fusión de cámaras y radares automotrices de corto alcance. Y por último, otro método de recepción a través de GPS o sensores inerciales.

La selección de sensores es una cuestión de rendimiento, fiabilidad y coste. A través de un procesamiento, los datos de los sensores SA (del inglés Situational Awareness) se utilizan para crear un mapa local de los alrededores del automóvil, que se compara con un mapa muy detallado o modelo 3D del área donde se mueve el vehículo. Esto permite extraer la posición y dirección del vehículo con una precisión mayor que la que ofrece el GPS. El mapa local de obstáculos que rodea el automóvil también se utiliza para evitar colisiones reactivas.

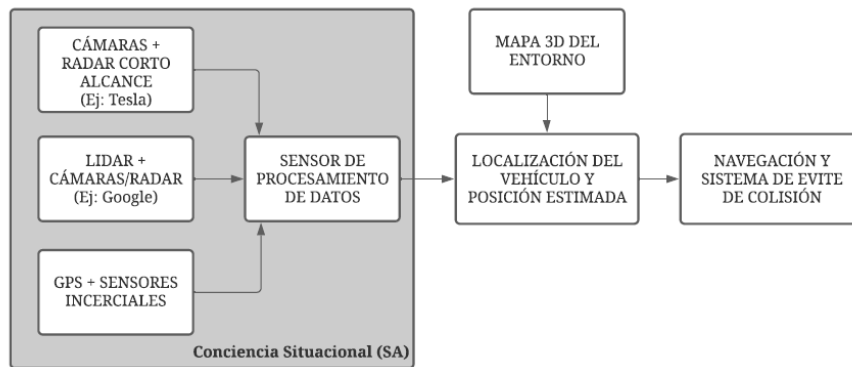


Ilustración 8: Sistema de conciencia situacional de un coche autónomo

Fuente: Rolls-Royce. <https://www.rolls-royce.com/~media/Files/R/Rolls-Royce/documents/customers/marine/ship-intel/aawa-whitepaper-210616.pdf>

La ilustración número 9 ilustra el enfoque planteado en AWAA de un sistema de conciencia situacional para un buque autónomo. Muchos de los pasos que ha desarrollado la automoción pueden aplicarse directamente o con algún pequeño ajuste.

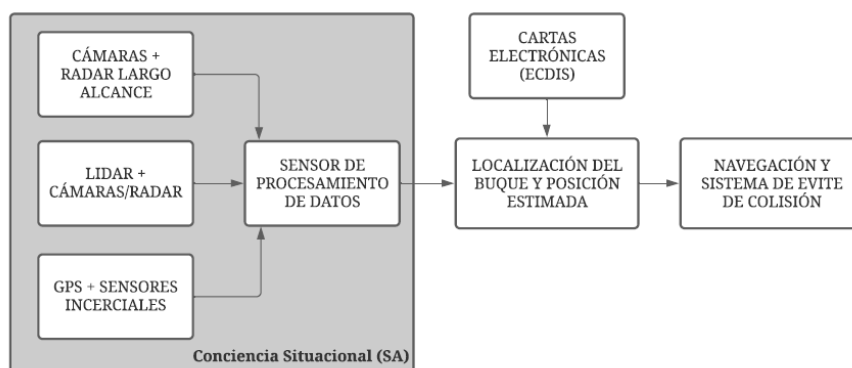


Ilustración 9: Sistema de conciencia situacional de un buque autónomo

Fuente: Rolls-Royce. <https://www.rolls-royce.com/~media/Files/R/Rolls-Royce/documents/customers/marine/ship-intel/aawa-whitepaper-210616.pdf>

En este sistema, los cambios son la utilización de RADAR de largo alcance y las cartas electrónicas (ECDIS) donde el mapa recopilado, a partir de la información recibida por los sensores, aumenta en detalles y datos útiles, ya que presentan objetos estáticos del área circundante procedente de varias fuentes de recepción de información. [14]

6.2 Control reactivo para una navegación sin colisiones

La prevención de colisiones para los barcos despertó un gran interés después de la Segunda Guerra Mundial, esto fue debido al desarrollo del radar y el aumento del tráfico en los mares. La prevención de colisiones juega un papel muy importante en el trabajo diario del marino y debido a que las decisiones críticas de los seres humanos son altamente subjetivas se creó el Reglamento Internacional para Prevenir Abordajes RIPA

(del inglés COLREGs “Convention on the International Regulations for Preventing Collisions at Sea”) por la Organización Marítima Internacional OMI.

Las técnicas para evitar abordajes se pueden dividir en métodos globales basados en la planificación del camino utilizando información a priori, o métodos locales que se basan en la navegación reactiva ¹ utilizando información sensorial. En la planificación, la ruta se resuelve calculando una trayectoria geométrica de evite de obstáculos que, en entornos inciertos del mundo real, conducirían fácilmente a una colisión. En la navegación reactiva se tiene en cuenta la realidad del entorno durante el movimiento del buque, a través de un proceso de percepción-acción que se repite rápidamente cada cierto tiempo.

Planificar una ruta sin colisiones para una máquina autónoma, donde el entorno está lleno de obstáculos estáticos y en movimiento, es un problema que ha sido estudiado durante las últimas décadas. Los diferentes sistemas requieren diferentes estrategias de planificación. Además, las limitaciones cinemáticas y dinámicas de la embarcación deben tenerse en cuenta al planificar la ruta, de modo que se puedan ejecutar las maniobras planificadas. Por ejemplo, el radio de giro del barco limita el ángulo de giro mínimo permitido para la ruta, además este radio también depende de la velocidad que lleve, siendo más grande cuanto mayor velocidad lleve. Para los buques autónomos también se debe de tener en cuenta los elementos ambientales al planificar la ruta, un mal estado de la mar, lluvia, viento o la corriente tienen un gran efecto en la selección del mejor camino.

Los desafíos relacionados con la navegación reactiva son debido a la inestabilidad que se crea por las propiedades dinámicas del barco, el entorno circundante y a obtener la información adecuada de los sensores de conciencia situacional.

Dos de los enfoques de planificación de ruta más comunes son los enfoques basados en gráficos y en muestreos. La principal ventaja de los enfoques basados en muestreo es la capacidad de incluir fácilmente restricciones dinámicas y cinemáticas del vehículo. Para evitar obstáculos de forma reactiva, estos enfoques de planificación pueden no ser lo suficientemente eficientes, es por ello que los algoritmos de velocidad de obstáculos son los más utilizados. [14]

¹ Navegación reactiva: Estrategia de navegación de un robot móvil que consiste en responder de manera inmediata a los estímulos del entorno.

6.3 Sistema de navegación autónoma

Utilizando el Sistema de Posicionamiento Dinámico (Dynamic Positioning DP) de la compañía Rolls-Royce, el proyecto de AAWA plantea la siguiente solución, vinculando el DP con un Sistema de Navegación Autónoma (Autonomous Navigation System ANS), incluyendo los módulos de Conciencia Situacional (Situational Awareness SA), Prevención de Colisiones (Collision Avoidance CA), Planificación de Ruta (Route Planning RP) y Estado de Definición del Buque (Ship State Definition SSD). La siguiente ilustración muestra de forma esquemática un sistema de navegación autónoma para un buque no tripulado.

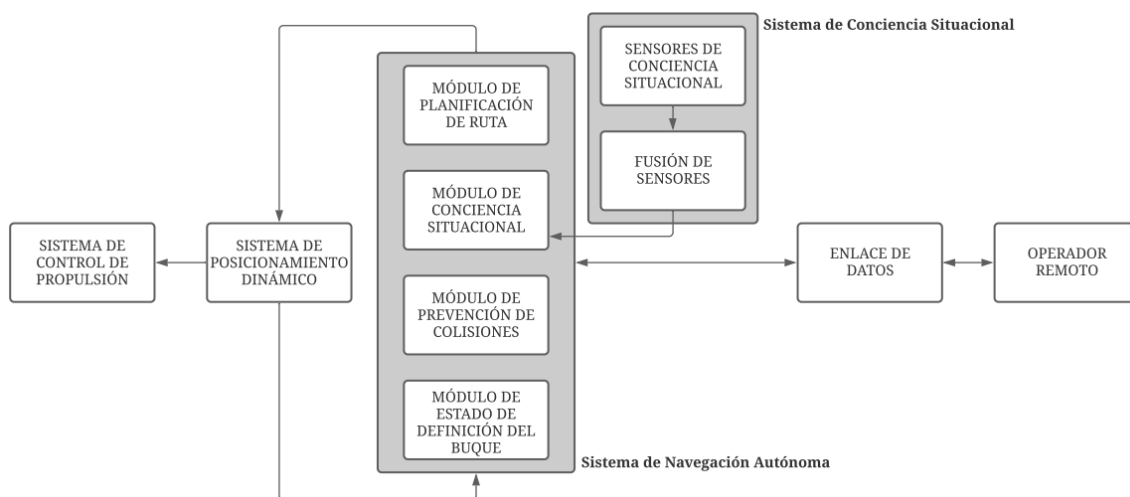


Ilustración 10: Estructura de un Sistema de Navegación Autónoma

Fuente: Rolls-Royce. <https://www.rolls-royce.com/~media/Files/R/Rolls-Royce/documents/customers/marine/ship-intel/aawa-whitepaper-210616.pdf>

El nivel más alto en el Sistema de Navegación Autónoma (ANS) es el Módulo de Estado de Definición del Buque o Capitán Virtual (Virtual Captain VC), que combina información de diferentes subsistemas ANS como el Módulo de Conciencia Situacional (SA), Sistema de Posicionamiento Dinámico (DP), Módulo de Planificación de Ruta (RP) y Prevención de Colisiones (CA), así como información de otros buques y del propio operador para determinar el estado final. El estado final determina el modo de operación que se puede permitir el barco como buque autónomo, a control remoto o a prueba de fallos.

Dynamic Positioning DP: los sistemas de posicionamiento dinámico permiten que el barco mantenga automáticamente su posición en un punto determinado o rumbo, utilizando sus hélices, timones y propulsores. Cuando se combina con una referencia de posicionamiento global (Global Navigation Satellite System GNSS), con los sensores y

Unidades de Medición Inercial (IMU), el buque puede mantener su posición incluso en condiciones adversas, pudiendo hacer maniobrar el barco en velocidades bajas. Esto permite calcular hacia donde puede moverse y cuáles son sus limitaciones, la información se transmite al módulo CA de prevención de colisiones permitiendo así una planificación y ruta más eficiente.

Route Planning RP: es un módulo de software que se encarga de planificar la ruta de principio a fin, a través de waypoints predefinidos y evitando obstáculos tanto estáticos como dinámicos, y siguiendo rutas de navegación cuando sea aconsejable. Está muy relacionado con la planificación de viajes que actualmente realiza la tripulación de abordaje. Sin embargo, el módulo RP utiliza el viaje planificado por la tripulación como información, la ruta consta de waypoints, rumbos y velocidad del barco, y el módulo RP no planifica rutas en tiempo real ya que el módulo CA es el responsable de las maniobras realizadas para evitar una colisión.

Collision Avoidance CA: es el responsable de una navegación segura y sin colisiones. Utiliza información del módulo RP para seguir una ruta que conduzca al destino, pero puede desviarse del curso si durante el trayecto se detecta un riesgo o peligro de colisión. El módulo SA, de conciencia situacional, proporciona el mapa local y la situación de obstáculos actuales cerca del buque. El módulo DP proporciona al módulo CA un área donde el barco puede maniobrar sin peligro alguno y, por lo tanto, crea límites para nuevos puntos de referencia. El módulo CA tiene dos funciones principales, la primera es una evaluación de riesgo de colisión y la segunda es navegar el buque de forma segura tanto en puerto como en alta mar.

Cuando se detecta un riesgo de colisión, se solicita un estado adecuado al módulo Ship State Definition, SSD. Este módulo realiza una definición final de estado del barco, considera los posibles riesgos y, en base a todos los datos ofrecidos por los diferentes subsistemas, plantea una solución viable y segura.

Situational Awareness SA: el módulo de conciencia situacional está conectado a múltiples sensores y dispositivos. Fusiona los datos de todos los sensores y extrae información relevante sobre los alrededores del buque para ser utilizado por el sistema CA. El módulo SA también puede realizar una reducción de los datos del sensor para una comunicación más eficiente fuera del buque. [14]

6.4 Mapeo del entorno y detección de obstáculos

Mapeo significa la creación y proyección de una representación del mundo. El proceso de mapeo y el tipo de representación que se crea se pueden realizar de diferentes formas, estos dependerán de la aplicación, donde se necesitan dichos mapas y qué sensores se van a utilizar para percibir el entorno. La información del mapa se utiliza para la planificación de trayectorias, evite de obstáculos y localización del buque.

En el mar y zonas portuarias es posible utilizar cartas náuticas para obtener información sobre las rutas. Los obstáculos dinámicos, como otros buques, se mapean utilizando el sistema de conocimiento de la situación del barco, combinado con datos AIS. Se han desarrollado muchos métodos para modelar y representar un mundo 2D o 3D como por ejemplo, mapas de cuadrículas de ocupación, de cuadrículas de altura y mapas tipo Quadtree.

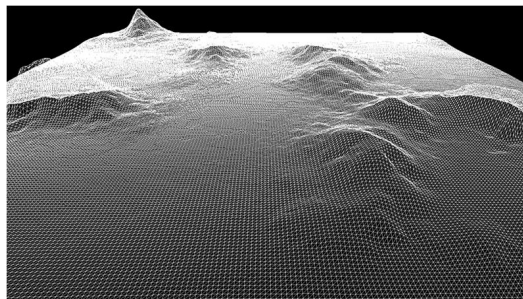


Ilustración 11: Mapa de cuadrículas de altura
Fuente: Rastertek. <https://www.rastertek.com/dx11ter02.html>

Los dos enfoques más comunes para representar el mundo son los mapas topológicos y métricos. Los topológicos describen la conectividad de ubicaciones espaciales en el medio ambiente, un ejemplo puede ser el mapa de un metro de una ciudad. Los mapas métricos describen el entorno a través de una representación con propiedades métricas, es decir, a través de una representación real geométrica. Los mapas topológicos son los más adecuados para la planificación de rutas y misiones de alto nivel, sin embargo, los mapas métricos contienen información geométrica necesaria para planificar y ejecutar una trayectoria de forma segura y sin colisiones.



Ilustración 12: Mapeo 3D de la Terminal de Algeciras

Fuente: APM Terminals. <http://elmercantil.com/2020/01/10/el-mapeo-3d-de-apm-terminals-algeciras-abre-la-puerta-a-mejoras-operativas/>

Los obstáculos se pueden representar como partes del mapa, pero también puede ser beneficioso presentar obstáculos dinámicos por separado. La detección y seguimiento de objetos están estrechamente relacionado con los procedimientos para evitar obstáculos y garantizar una navegación libre de colisiones. Hay varios métodos desarrollados para el seguimiento de obstáculos, los más comunes son los filtros de partículas y filtros extendidos de Kalman. Las siguientes ilustraciones muestran una comparativa entre los filtros de partículas (a la izquierda) y filtros extendidos de Kalman (a la derecha) para alcanzar una baliza, teniendo en cuenta el viento y obstáculos, siendo de color rojo la trayectoria estimada proporcionada por ambos métodos y en color azul la trayectoria real.

[14]

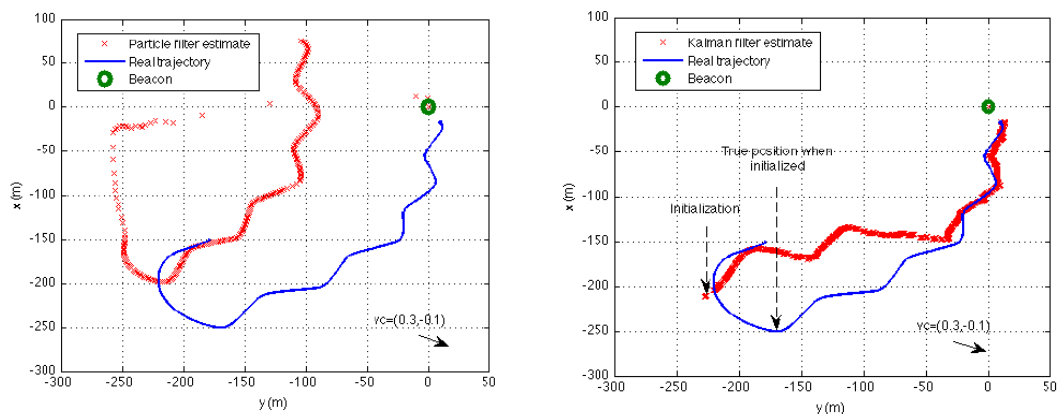


Ilustración 13: Comparativa de trayectoria entre "Filtros de partículas" y "Filtros extendidos de Kalman"

Fuente: Researchgate org. https://www.researchgate.net/figure/Comparison-between-the-particle-filter-and-the-extended-Kalman-filter-estimates_fig3_224204478

7 EQUIPOS, SISTEMAS DE CONTROL Y TECNOLOGÍA EN UN BUQUE AUTÓNOMO

7.1 Equipos a bordo y sistemas control por KONGSBERG

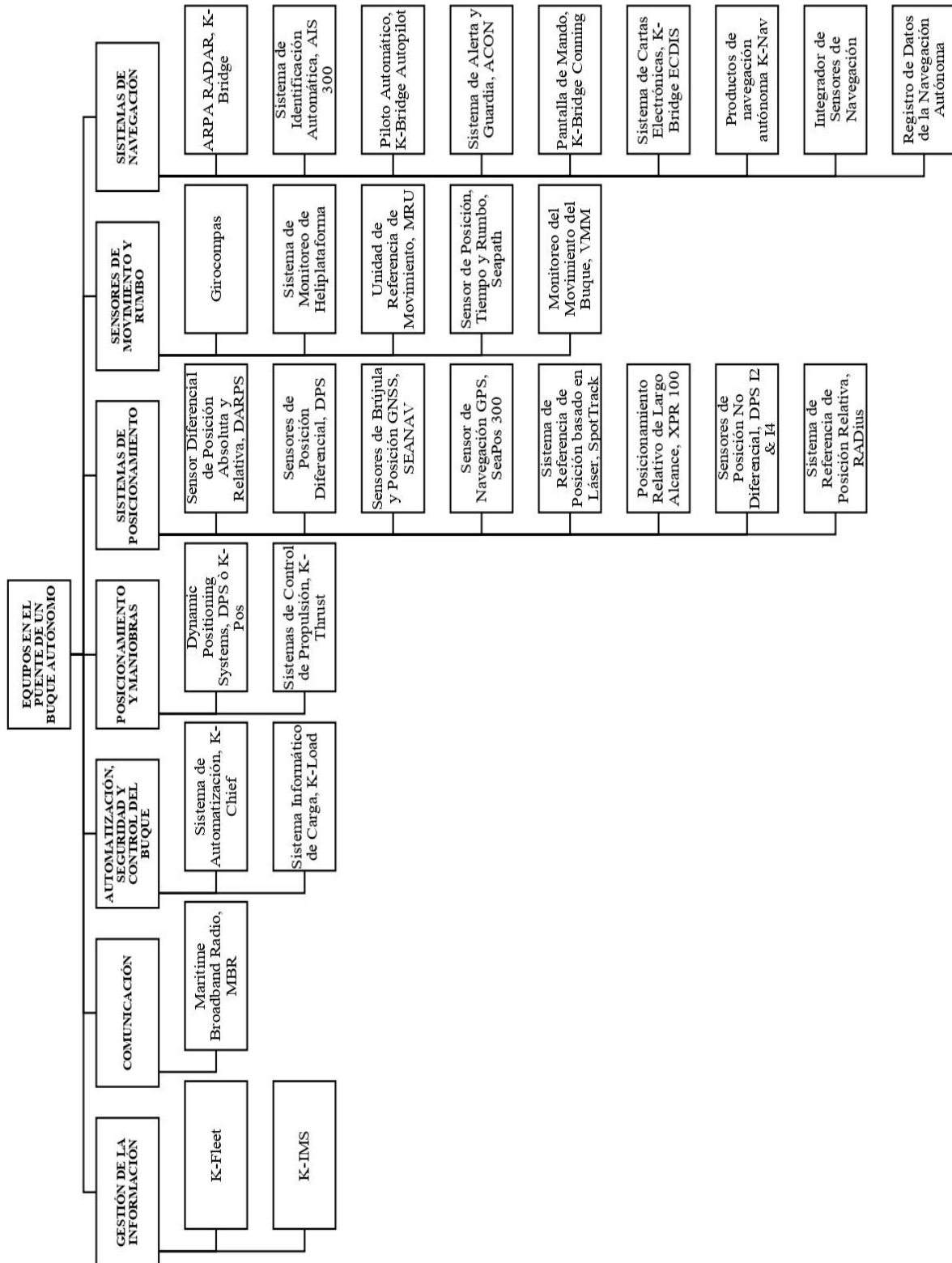


Ilustración 14: Equipos a bordo y sistemas de control en un buque autónomo

Fuente: KONGSBERG. <https://www.kongsberg.com/es/maritime/solutions/ship-types/autonomous-ships/>

Una de las compañías pioneras en la navegación y buques autónomos es la empresa noruega KONGSBERG, que ofrece tanto sistemas de posicionamiento, de navegación como automatización para buques mercantes de todo el mundo. Sus productos más destacados son los relacionados con posicionamiento dinámico, sistemas de vigilancia y automatización marina. Poseen numerosos equipos y sistemas de puente para la automatización de un buque mercante para conseguir así una navegación autónoma eficaz y factible. El diagrama de la ilustración 14 representa los sistemas, sensores y equipos que podría albergar un buque autónomo de Kongsberg divididos por las funciones que desempeña cada uno. [19]

Gestión de la información

K-Fleet, ofrece la gestión de diferentes aspectos del buque relacionado con la eficiencia energética, los procesos de trabajo de los marineros y oficiales, la gestión de inventario, compras, contratos, documentación necesaria, certificados, informes de viaje y operaciones de flete.

K-IMS, es una plataforma que permite el acceso continuo de los datos del buque, tanto a bordo como en el centro de control en tierra, a través de un portal de información que permite un flujo de información eficiente. También proporciona componentes contra la ciberseguridad como una red segura y protección contra malware y duplicación de datos.

Comunicación

Maritime Broadband Radio (MBR), radio de banda ancha desarrollada para la comunicación digital en alta velocidad y transferencia de datos.

Automatización, seguridad y control del buque

Sistema de Automatización K-Chief, sistema de control y monitoreo que permite realizar tareas como la administración de energía, monitoreo de maquinaria auxiliar y automatización marina.

Sistema Informático de Carga K-Load, es una calculadora que proporciona operaciones eficientes y seguras en la carga y descarga de cualquier buque, teniendo en cuenta aspectos como la estabilidad, daños, resistencia, fuerzas empleadas, tanques de lastre, etc.

Posicionamiento y maniobras

Dynamic Positioning Systems DPS o K-Pos, sistema cuyo objetivo es mantener el buque en una posición concreta y exacta, sin necesidad de usar ancla, mediante el uso de sus propias hélices y propulsores.

Sistemas de Control de Propulsión K-Trust, sistema de control remoto para propulsores eléctricos, unidades de propulsión, timones y mecanismos de dirección.

Sistemas de posicionamiento

Sensor DARPS, del inglés Differential Absolute & Relative Position Sensor, es un sistema de referencia que combina sensores de alto nivel para un posicionamiento absoluto y relativo entre dos embarcaciones.

Sensores de Posición Diferencial DPS, Dynamic Positioning System.

Sensores de Brújula y Posición GNSS y SEANAV, sensor para la navegación que proporciona datos como el rumbo, posición, velocidad o velocidad de giro.

Sensor de Navegación GPS, sistema de navegación y localización por satélite (GNSS Global Navigation Satellite System) que permite al usuario determinar su ubicación en cualquier lugar del planeta. Se necesitan como mínimo 3 de los 24 satélites que forman la constelación para triangular la ubicación del usuario. En el caso de la compañía Kongsberg están trabajando con su propio sensor GPS llamado SeaPos. [20]

Sistema de referencia de posición basado en láser SpotTrack, es un sistema que determina la posición mediante posicionamiento dinámico (DPS) y mide la distancia y rumbo de varios objetivos mediante tecnología láser.

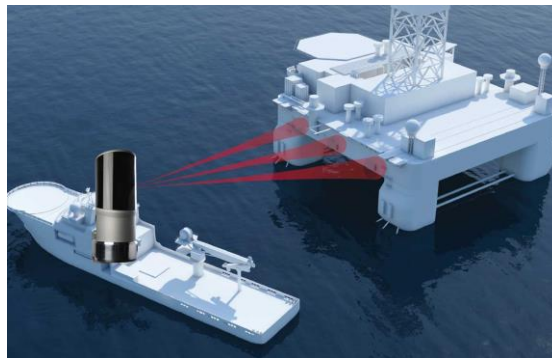


Ilustración 15: Sensor SpotTrack utilizando tecnología láser y DPS

Fuente: KONGSBERG. <https://www.kongsberg.com/es/maritime/solutions/ship-types/autonomous-ships/>

Posicionamiento relativo de largo alcance XPR, sistema basado en microondas para aplicaciones de posicionamiento dinámico para largas distancias.

Sensores de posición no diferencial DPS i2 y i4, tecnología para la fusión de sensores que integra tanto datos de la brújula giroscópica como sensores de movimiento y velocidad, da como solución una integración óptima de múltiples sensores GNSS e inerciales para hallar la posición con exactitud.



Ilustración 16: Fusión sensorial DPS i2

Fuente: KONGSBERG. <https://www.kongsberg.com/es/maritime/products/vessel-reference-systems/position-systems/non-differential-position-sensors/>

Sistema de referencia de posición relativa RADius, se basa en la medición de señales de radar de varios transpondedores, cada señal se mezcla y separa los diferentes objetivos entre sí. Está diseñado para usuarios que usan mismos transpondedores simultáneamente.

Sensores de movimiento y rumbo

Girocompas, sistema MGC R2/R3 COMPASS, un equipo electrónico que permite obtener el norte verdadero, rumbo, balanceo, cabeceo y elevación de un buque o plataforma.

Sistema de Monitoreo de Heliplataforma, HMS se utiliza para analizar el movimiento de la heliplataforma durante los aterrizajes de helicópteros para mejorar la seguridad en condiciones climáticas hostiles.

Unidad de referencia de movimiento MRU, se utiliza para llevar a cabo tareas como monitoreo de altura de olas, uso de grúas en condiciones adversas o determinación de donde están situados los buques usando posicionamiento dinámico, para ello es necesario medir el balanceo, cabeceo, guiñada y levantamiento mediante las unidades MRU.

Sensor Seapath, sonda que detecta y utiliza las señales GNSS y mapeo junto con mediciones inerciales para proporcionar resultados del fondo marino y su distancia vertical hasta el casco del buque.

Monitoreo del movimiento del buque, VMM, sistema que mide cualquier tipo de levantamiento como puede ser cargas en grúas, helipuerto, bote de rescate, cables, etc... teniendo en cuenta los cabeceos, guiñadas y balanceos.

Arpa RADAR K-Bridge, combina imágenes de radar de varios transceptores en una sola imagen y los controles convencionales se encuentran en su pantalla principal. Un radar emite un eco que choca y rebota con un objeto, a partir de ahí se puede obtener información como distancia a la que se encuentra, velocidad y dirección relativa o absoluta con respecto al buque emisor de la señal. [21]

Sistema de Identificación Automática AIS 300, su función es comunicar la posición, distancia, rumbo y cualquier otra información que pueden ser relevante para otros buques y evitar así colisiones.

Piloto automático K-Bridge Autopilot, controlador de rumbo y derrota adaptativo que proporciona una travesía óptima y segura en cualquier condición.

Sistema de alerta y guardia ACON, brinda una descripción del sistema de alertas de puente para una correcta prevención de accidentes marítimos.

Pantalla de mando K-Bridge Conning, sistema de pantallas, hace que la información clave y relevante esté disponible en todo momento y se pueda realizar un monitoreo eficiente.

Sistema de Cartas Electrónicas K-Bridge ECDIS, (Electronic Chart Display and Information System – ECDIS) sistema que muestra la información de las cartas convencionales de papel de forma electrónica, con la información geográfica de la zona y posición del buque gracias a sistemas GNSS. [22]

Productos de navegación autónomos K-Nav, familia de productos de Kongsberg para la navegación independiente y autónoma que incluye sistemas RADAR, ECDIS, torre de mando, estación de planificación y piloto automático junto con los sensores de navegación requeridos por estos sistemas.

Integrador de sensores de navegación, se utiliza para la recopilación de datos relevantes y distribuye la información proporcionada por los sensores a los diferentes subsistemas interconectados.

Registro de datos de la navegación autónoma, plataforma que permite obtener todos los datos durante una travesía autónoma y toda la información necesaria. [19]

7.2 Tecnología de sensores y equipos por AWAA

Cámaras

Las cámaras son una opción viable para la conciencia situacional. Son baratas, tamaño pequeño y duraderas, además pueden proporcionar información a color con una resolución muy alta. También la visión nocturna, es posible con cámaras termográficas de infrarrojos y se puede obtener un resultado 3D mediante una configuración estereoscópica. La alta resolución permite el reconocimiento de objetos y obstáculos, ya sea por un operador humano remoto o mediante algoritmos de análisis automatizados, y la información de color se puede utilizar para ayudar a la separación (segmentación) de los objetos relevantes en la superficie del mar.

Una desventaja es la gran cantidad de datos generados por los sensores de alta resolución, que requieren un rendimiento de procesamiento extenso y un gran ancho de banda para su análisis y transmisión. Sin embargo, al considerar la implementación de una CA (conciencia situacional) marina en un buque, los requisitos en consumo de energía y procesamiento son mucho menos estrictos que para otras plataformas autónomas como coches o aviones.

Las cámaras de espectro visual tienen algunas limitaciones: no se pueden usar en la oscuridad y su distancia de visión disminuye rápidamente con mal tiempo. Se puede obtener un mejor rendimiento con cámaras que funcionan en el rango de infrarrojos (IR Infrared). La detección de infrarrojos cercanos (NIR Near-IR) se usa comúnmente para visión nocturna en cámaras de seguridad económicas. La verdadera visión nocturna se puede lograr con cámaras IR de onda larga (LWIR Long Wave Infrared), que son sensibles a la radiación IR en el rango de longitud de onda de 8-14 μm . Dado que todos los objetos emiten de forma pasiva radiación LWIR térmica, los sensores LWIR se pueden utilizar para obtener imágenes en la oscuridad. Gracias a las diferentes propiedades de emitancia térmica de las superficies se puede crear una imagen significativa, incluso a partir de objetos y escenas, donde la temperatura promedio es uniforme. En la siguiente ilustración se puede ver cómo incluso en condiciones de luz diurna con iluminación difícil, se aprecian más detalles e información en la cámara térmica.

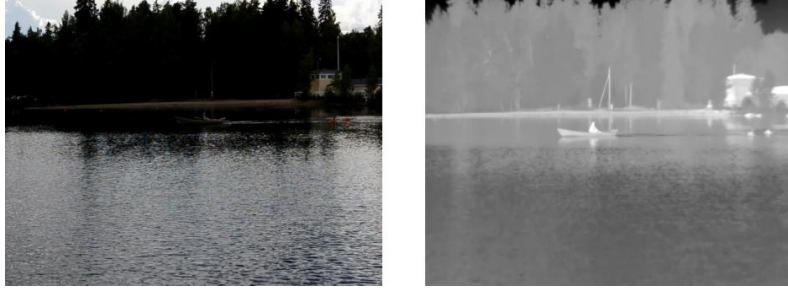


Ilustración 17: Escena diurna capturada con cámara normal y térmica

Fuente: Rolls-Royce. <https://www.rolls-royce.com/~media/Files/R/Rolls-Royce/documents/customers/marine/ship-intel/aawa-whitepaper-210616.pdf>

Los sensores infrarrojos de onda corta (SWIR Short-Wave ir) brindan una mejor visibilidad a través de la bruma o niebla y funcionan bien en condiciones de poca luz, pero no en la oscuridad total. Permiten un rango de detección mayor en condiciones de humedad y niebla que los sensores LWIR. Sin embargo, la tecnología SWIR es actualmente más cara y no mejora en la resolución espacial.

El rendimiento de los sensores infrarrojos se degrada con el mal tiempo, por ejemplo, diferentes bandas se atenúan de manera diferente según el nivel de humedad en la atmósfera, lo que puede llevar a rangos de visión muy variables. Esta es la razón por la que una fuente como el radar debe fusionarse con los datos de la cámara. [14]



Ilustración 18: Fusión de luz visual e imagen térmica durante la noche

Fuente: Rolls-Royce. <https://www.rolls-royce.com/~media/Files/R/Rolls-Royce/documents/customers/marine/ship-intel/aawa-whitepaper-210616.pdf>

RADAR y LIDAR

Normalmente, los radares marinos son radares de microondas que utilizan bandas S o X, que son efectivos en diferentes condiciones climáticas. Sin embargo, la resolución del radar marino tradicional puede no ser suficiente para evitar colisiones. Por ejemplo, considerando un barco autónomo acercándose a un muelle, la resolución del radar en un campo cercano debe ser lo suficientemente buena para poder detectar y rastrear pequeños objetos estacionarios y en movimiento. Los nuevos radares de banda Ka y W, desarrollados originalmente para aplicaciones automotrices, podrían ser beneficiosos en

buques autónomos, especialmente para corta distancia. Ofrecen una resolución angular y de distancia mucho mejor que los radares de buques convencionales, a costa de un alcance muy reducido.

Light Detection and Ranging (LIDAR) o Laser Detection and Ranging (LADAR) es una tecnología de sensor laser de escaneo que proporciona mediciones de distancia muy precisas. [14]

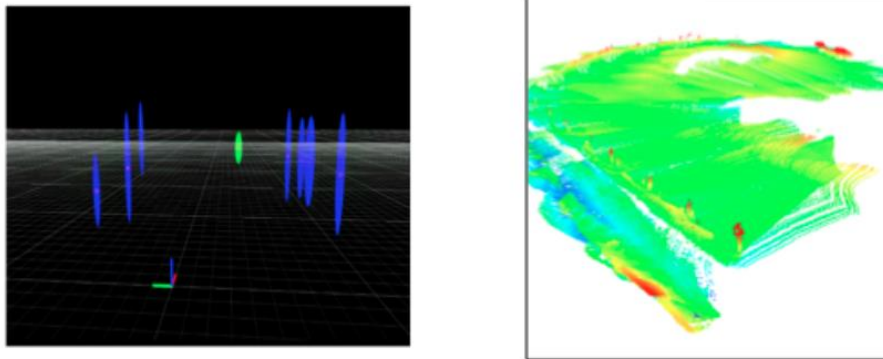


Ilustración 19: Izq: vista de un objeto en RADAR. Der: escaneo 3D de un objeto en LIDAR
Fuente: Rolls-Royce. <https://www.rolls-royce.com/~media/Files/R/Rolls-Royce/documents/customers/marine/ship-intel/aawa-whitepaper-210616.pdf>

7.3 Fusión sensorial y procesamiento de datos

Prácticamente en todos los campos de la autonomía, la fusión de sensores es un punto clave para lograr una fiabilidad suficiente. Cada sensor por separado tiene debilidades y limitaciones particulares como pueden ser por las condiciones climatológicas o por la propia configuración, como el rango, campo de visión, identificación, etc. Además, tanto las detecciones de falsos positivos como falsos negativos nunca pueden evitarse por completo para un solo sensor, optimizar uno conduce a una compensación contra el otro. Al combinar las capacidades de múltiples sensores se pueden promediar y nivelar los errores y debilidades individuales y llegar a alcanzar un mejor rendimiento. La siguiente tabla compara diferentes tipos de sensores, en términos de desempeño relevantes para la conciencia situacional marina. [14]

	Cámaras HD	Cámaras Infrarrojas	RADAR marino	RADAR de corto alcance	LIDAR	Sonido
Precisión espacial	++	+	--	-	++	--
Campo de visión	+	-	++	-	+	++
Medición de distancia	-	-	++	++	++	--
Identificación de objetos	++	+	--	--	+	+
Funcionamiento en cualquier clima (24h)	--	+	++	++	+(?)	-(?)
Carga computacional de análisis	--	-	++	++	--	+
Robustez marina	++	++	++	+(?)	(?)	(?)
Precio	++	-	+ -	++	--	+

Tabla 1: Características y comparativa de diferentes sensores

Fuente: Rolls-Royce. <https://www.rolls-royce.com/~media/Files/R/Rolls-Royce/documents/customers/marine/ship-intel/aawa-whitepaper-210616.pdf>

La fusión entre diferentes radares y cámaras térmicas infrarrojas, se considera una solución viable para el conocimiento de la situación marina. Los radares permiten un seguimiento sencillo de la distancia del objetivo y proporcionan la tolerancia necesaria al mal tiempo. Los nuevos radares de altos GHz pueden proporcionar suficiente precisión para objetos en distancias demasiado cortas. Las cámaras pueden proporcionar información más detallada sobre los objetos detectados. Además, la fusión de cámaras y radares también puede aumentar la robustez de la detección².

La señalización sonora, como por ejemplo mediante bocinas, es una parte integral en la navegación marítima. Por lo tanto, para realizar un sistema CA que sea como una tripulación humana, se debe incluir la captura y emisión de sonido y su análisis y significado en todos los escenarios posibles.

Procesamiento de datos de los sensores

El análisis de datos proporcionados por las cámaras es una de las partes más grandes e intensas a nivel computacional en la fusión sensorial. La salida creada por los radares es muy escasa y, por lo tanto, mucho más fácil de procesar. Una parte importante es la segmentación de los datos de entrada, las cámaras HD proporcionan grandes cantidades

² Proceso robusto: proceso diseñado y ejecutado para alcanzar sus objetivos, siempre. Tanto en condiciones normales como en aquellas en las que el entorno se modifique.

de datos, la mayoría de los cuales son irrelevantes para la detección de objetos. Por lo tanto, el primer paso es eliminar toda información que no sea relevante para la tarea de detección de un objeto, suprimiendo la información que no es necesaria de tareas particulares en fondo (background) de aquellas características y objetos que si deben detectarse a primer plano (foreground). En la cantidad ya reducida de datos, se pueden aplicar algoritmos de análisis más complejos para el seguimiento espacial y temporal de objetos, y la clasificación de objetos.

Se puede suponer que una escena marina siempre consta de tres regiones: agua en la parte inferior de la imagen, cielo en la parte superior y un área del horizonte en medio que separa dichas áreas. Al encontrar la línea del horizonte, una gran parte de los datos de imagen se pueden descartar. Además, la detección, o falta de ella, de objetos en la vista de un radar se puede utilizar para guiar el algoritmo de segmentación, y así, enfocarse más en áreas de objetos potenciales, pudiéndose descartar las detecciones falsas de datos.

En la siguiente ilustración se muestra el proceso de separación de las diferentes áreas, en rojo el cielo, en azul el mar y en azul celeste la línea del horizonte. Tras el proceso de análisis y segmentación se obtiene que la única parte con información relevante en la imagen es la zona en color verde, donde en este caso se encuentra un buque navegando.



Ilustración 20: Detección de horizonte y proceso de segmentación

Fuente: Rolls-Royce. <https://www.rolls-royce.com/~media/Files/R/Rolls-Royce/documents/customers/marine/ship-intel/aawa-whitepaper-210616.pdf>

Los datos de varios sensores se pueden fusionar de distintas formas, como se muestra en la ilustración 21 y dependiendo de la fusión pertenecen a un bajo o alto nivel. La fusión de bajo nivel se realiza en los datos sin procesar o casi sin procesar de diferentes sensores, mientras que en la fusión de alto nivel los flujos de datos se procesan individualmente y las detecciones se combinan a nivel de objeto. El uso de la fusión de bajo nivel es más natural entre las cámaras como sensores visuales y térmicos, mientras que la fusión entre

cámaras y radar se implementa en niveles superiores. La forma más eficiente de implementar la fusión de sensores es una combinación entre ambos niveles.

7.4 Comunicación OFF-SHIP

La capacidad de interacción y control remoto de un humano debe estar habilitada para situaciones en las que la autonomía del buque no puede resolver problemas o manejarse por sí misma. La transmisión de la información de la CA desde los sensores a un operador remoto puede requerir grandes cantidades de datos. Debido a limitaciones prácticas como comunicación por satélite en mar abierto, no siempre se tiene disponible el mismo ancho de banda, por lo que se debe tenerse en cuenta los métodos de reducción de datos solo a lo que sea completamente necesario para que el operador humano perciba el entorno del buque. También se deben abordar cuestiones como la seguridad de los datos y confiabilidad del enlace y utilizar múltiples redes de comunicación alternativas.

La transmisión de video HD puede ser necesaria solo cuando ocurre algo inesperado, como por ejemplo la detección de un obstáculo que requiere identificación humana, o una situación donde el buque no puede calcular una maniobra de evasión confiable. Se supone que en mar abierto, la mayor parte del tiempo, el sistema de control autónomo es capaz de manejar la situación con los sistemas sensoriales a bordo, por lo tanto, la mayoría de las veces se requiere una cantidad mínima de datos salientes.

Para reducir lo máximo posible la transferencia de datos, las entradas se pueden segmentar con el sistema de procesamiento CA integrado. La segmentación del primer plano/fondo realizada permite la transmisión de ciertas características, objetos y zonas de interés (Regions of Interest ROI).

Un ejemplo de segmentación de imágenes para reducir las tasas de datos es la siguiente ilustración, donde aparece arriba a la izquierda la imagen original a una resolución Full HD de 1900x1080 con objetos segmentados, arriba a la derecha los datos de borde generados a 1 bit, abajo a la izquierda datos de objeto a 1 bit con la línea de horizonte diferenciada y la zona de interés, y abajo a la derecha una captura de la región de interés del objeto a una resolución de 241x145 px.

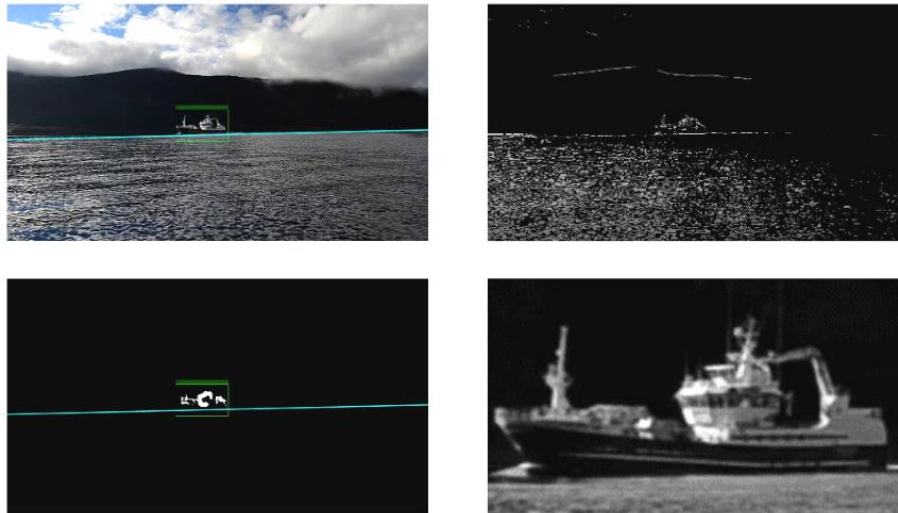


Ilustración 21: Segmentación de imágenes para reducir la tasa de datos

Fuente: Rolls-Royce. <https://www.rolls-royce.com/~media/Files/R/Rolls-Royce/documents/customers/marine/ship-intel/aawa-whitepaper-210616.pdf>

En mar abierto el principal medio de comunicación es por vía satélite, sin embargo, la comunicación por satélite puede verse perturbada por las condiciones meteorológicas, por ejemplo para las lluvias intensas depende la banda de frecuencia empleada por la red de satélite, es decir, es desvanecimiento es más severo en las bandas Ka (por encima de 20 GHz) que en la banda L (entre 1 y 2 GHz). La combinación de un sistema de banda Ka con un sistema de banda L, como se ha hecho en el sistema Inmarsat, reduce el riesgo de perder todas las comunicaciones, incluso si el sistema de banda Ka no funciona, el sistema Inmarsat permite la conmutación dinámica entre los dos tipos de satélite sin esfuerzo del usuario.

En el futuro, puede haber una gran cantidad de buques autónomos en una misma área. Como el ancho de banda dentro de una zona se comparte entre todos los usuarios, se puede crear una escasez de ancho de banda. Este problema podría aprovecharse formando enjambres o flotas de embarcaciones donde un buque sería el líder. La comunicación con un centro de control en tierra podría establecerse desde el buque líder, y a su vez este con el resto de buques mediante líneas de visión, de esta manera se puede optimizar el uso de ancho de banda del satélite.

8 PROYECTOS DE BUQUES AUTÓNOMOS

8.1 Yara Birkeland

Es el proyecto pionero en cuanto a buques autónomos a nivel mundial, YARA Birkeland es un buque portacontenedores y autónomo de cero emisiones desarrollado por la compañía noruega de fertilizantes Yara y la empresa tecnológica noruega Kongsberg Maritime. El buque lleva el nombre del fundador de Yara, Kristian Birkeland, y cuando esté terminado será el primer buque autónomo y totalmente eléctrico capaz de transportar contenedores.



Ilustración 22: Buque autónomo YARA Birkeland

Fuente: MasContainer. <https://www.mascontainer.com/yara-birkeland-primer-buque-totalmente-autonomo-puesto-en-espera-indefinida/>

Las características y dimensiones del buque son las siguientes:

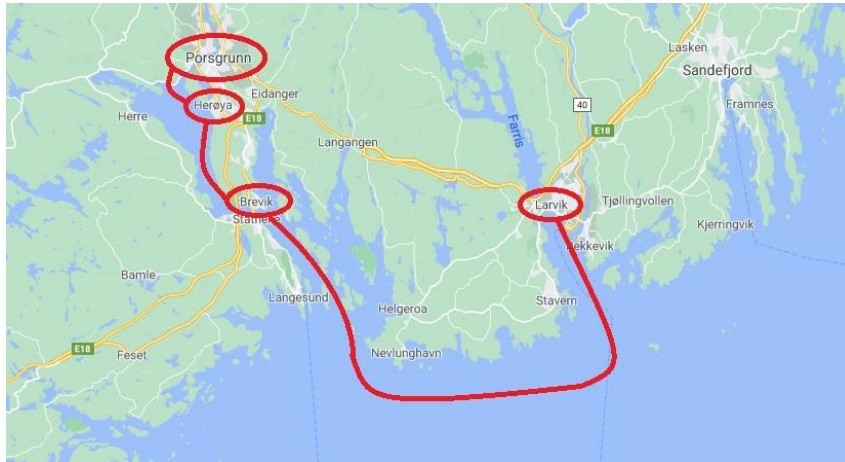
Tipo	Buque portacontenedores
Tonelaje	3200 DWT
Eslora	80 metros
Manga	15 metros
Calado	5 metros
Puntal	12 metros
Potencia	2 baterías de 7 a 9 MWh
Propulsión	Dos hélices azimutales 2x900kW Propulsores de túnel 2x700 kW
Velocidad de servicio	6 nudos
Velocidad máxima	12 nudos
Capacidad	120 TEU de 20 pies
Tripulación	0
Coste	25 millones de dólares

Tabla 2: Características del buque YARA Birkeland

Fuente: Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/MV_Yara_Birkeland

El buque de 120 TEU tiene como objetivo reducir las emisiones de NOx y CO2 y minimizar el transporte por carretera de 40.000 camiones al año para mejorar la seguridad vial en las áreas urbanas. El presidente de Yara, Svein Tore Holsether, puntualizó que

cada día se producen más de 100 viajes de buques diésel para repartir los fertilizantes a diferentes puertos de la zona. La ruta establecida será desde la planta central de fertilizantes de Yara en Porsgrunn hasta los puertos de Herøya, Brevik y Larvik en el sur de Noruega.



*Ilustración 23: Ruta del buque YARA Birkeland
Fuente: Elaboración propia*

El buque tiene un coste de 25 millones de dólares, esto significa un 300% más caro que un buque convencional con características similares. Sin embargo, los creadores afirman que a la larga los costes se reducirán, los costes operativos bajarán un 90%, ya que sólo se necesitan 3 tripulantes en lugar de 25 como es en un buque convencional, y una vez iniciadas las rutas comerciales se recuperará el sobrecosto de la construcción en unos años.

Los sistemas de puente del buque YARA Birkeland no serán muy diferentes a los de un buque convencional en cuanto a navegación y comunicación, contará con un sistema GNSS como es el GPS, RADAR, cámaras y sensores. También tiene dispositivos de detección y alcance de luz (LIDAR), señal de imágenes y video por cámara infrarroja y un sistema de identificación automática (AIS). En cuanto a sistemas de comunicación tendrá una radio marítima VHF de banda ancha y una red virtual privada (VPN) mediante INMARSAT.

El buque pasará por varias etapas antes de ser completamente autónomo. En primer lugar tendrá una etapa donde habrá tres personas a bordo del buque. En segundo lugar ese mismo trabajo que se realizaba a bordo se hará ahora en tierra, desde una torre de control, y el buque será dirigido a control remoto, se espera que a finales del año 2020 se realicen

estas rutas. La última etapa consiste en que el buque navegue de forma autónoma y de manera autónoma para el año 2022.

El casco se lanzó en Rumania en febrero de 2020 y se tenía previsto que llegara a Noruega el mes de marzo, pero debido a la pandemia y estado de alarma por el Covid-19, Yara decidió detener el proyecto hasta nuevo aviso. [23][24][25][26][27]

8.2 Proyecto Svan (Falco)

El proyecto SVAN de las siglas en inglés Safer Vessel with Autonomous Navigation, ha sido creado por la empresa de ingeniería británica Rolls-Royce y la empresa de ferrys finlandés Finferries, construyendo el ferry “Falco”, el primer ferry completamente autónomo del mundo que ha completado con éxito las pruebas en el archipiélago de Turku en diciembre de 2018.

La prueba consistió en una travesía entre las ciudades finlandesas de Parainen y Nauvo. Durante la prueba, el Falco, con 80 invitados a bordo, realizó el viaje bajo un control autónomo durante toda la travesía, detectando objetos utilizando la fusión de sensores e inteligencia artificial y evitando colisionar con ellos. También demostró atraque automático con un sistema de navegación autónomo desarrollado recientemente por Rolls-Royce. El viaje de regreso se realizó de manera remota.

Además, el ferry se ha sometido a más de 400 horas de pruebas con gran variedad de escenarios y situaciones de peligro, completándolos todos con éxitos.



Ilustración 24: Buque ferry Falco

Fuente: gCaptain. <https://gcaptain.com/another-fully-autonomous-ferry-demonstrated-in-northern-europe/>

El Falco es un transbordador de 54 metros de eslora y 12 metros de manga. Tiene un calado de 4 metros y una velocidad de servicio de 8 nudos. Su peso muerto es de 517 toneladas con un DWT de 129 toneladas. En cuanto a la propulsión está equipado con dos propulsores azimutales de Rolls-Royce. [28][29][30]

8.3 Ferry Folgefonn por Wärtsilä

El ferry Folgefonn es un buque de la empresa finlandesa Wärtsilä que ha realizado con éxito lo que se cree como la primera operación de muelle a muelle completamente automatizada, visitando los tres puertos atendidos por el barco en su ruta convencional. El ferry realizó las tareas de salida del muelle, maniobra fuera de puerto, navegar hasta el siguiente punto de escala, maniobrar en la entrada del puerto y atracar en la terminal, todo sin intervención humana.



Ilustración 25: Ferry Folgefonn

Fuente: Maritime Executive. <https://www.maritime-executive.com/article/waertsilae-conducts-autonomous-ferry-voyage-and-docking>

La navegación se controla mediante una serie de waypoints y tracks que guían la embarcación hacia el siguiente punto. El controlador autónomo es un sistema de posicionamiento dinámico de Wärtsilä que controla la velocidad, posición y rumbo del buque, también utiliza GNSS como sensor principal de posicionamiento. [33][34]

8.4 The ReVolt por DNV GL

La Sociedad de Clasificación Internacional DNV GL, con sede en Alemania, ha presentado una embarcación autónoma no tripulada para el mercado del transporte marítimo, The ReVolt. La ruta prevista se limita a la región sur de Noruega entre Oslo, Stavanger y proximidades, con la idea de conectar los principales centros de carga de esta región. Aparte de la navegación autónoma, se está desarrollando el manejo automatizado de carga y descarga en puerto y las instalaciones de amarre.

No tener tripulación no solo reduciría a cero el riesgo de error humano, sino que también hará que el concepto sea más rentable. Comparado con un barco a diesel, DNV GL dice que ReVolt podría ahorrar hasta \$34 millones durante su vida útil estimada de 30 años.



Ilustración 26: Buque ReVolt y ruta

Fuente: Elaboración propia y Autonomous Ships HQ. <https://www.autonomousshipshq.com/revolt/>

En cuanto a los aspectos técnicos constará con un sistema de posicionamiento compuesto por métodos tradicionales como el GPS, RADAR, AIS y ECDIS junto con cámaras y sensor LIDAR. La eficiencia energética será uno de los aspectos más importantes, teniendo en aguas tranquilas una demanda energética de 50Kw. DNV GL demostró que para mover 100 contenedores de Stavanger a Oslo, ReVolt tiene una eficiencia energética 200 veces mayor que transportar dichos contenedores en camiones diésel. [31][32]

Las características y dimensiones de ReVolt son las siguientes:

Eslora	60 metros
Manga	14,5 metros
Calado	5 metros
Obra muerta	13 metros
Peso muerto (DWT)	1300 toneladas
Capacidad de carga	100 TEU
Propulsión	Propulsor azimutal de dos palas x2 Hélice proa azimutal retráctil x1
Capacidad de batería	3000 kWh (4 horas hasta carga completa)
Velocidad	6 nudos
Alcance	100 millas náuticas
Tripulación	0

Tabla 3: Características del buque ReVolt

Fuente: Autonomous Ships HQ. <https://www.autonomousshipshq.com/revolt/#prettyPhoto>

8.5 Proyecto Hrönn

Es un buque autónomo de apoyo offshore que está siendo desarrollado por la compañía noruega Kongsberg Maritime en colaboración con BOURBON.

Los usos de este buque incluyen reconocimiento e inspección de navíos operados a distancia, entrega de carga ligera a instalaciones en alta mar, apoyo a granjas de peces en aguas abiertas, monitoreo de vehículos submarinos no tripulados, monitoreo de

aterrizajes, apoyo para extinción de incendios y recuperación de ROV (vehículos operados a distancia) y AUV (vehículos submarinos autónomos).



Ilustración 27: Buque Hrönn

Fuente: ybw. <https://www.ybw.com/news-from-yachting-boating-world/hronn-worlds-first-unmanned-and-fully-automated-ship-44035>

Inicialmente este buque funcionará de forma remota, siendo un buque pilotado a distancia desde una central de control en tierra, pero pasará a tener operaciones totalmente automatizadas en los siguientes años.

En cuanto al diseño tendrá una eslora de 37 metros con suficiente espacio en cubierta para poder transportar contenedores. Su construcción será de acero y monocasco para tener una mayor capacidad de carga útil y flexibilidad. Los sistemas de mando y control los proporcionará la compañía Kongsberg, algunos de ellos son sistema de posicionamiento dinámico (DPS) y navegación, referencia de posición y satélite (K-Pos DP), automatización marina (K-Chief), sistemas de comunicación, posicionamiento dinámico y estaciones de operador. [35][36]

8.6 Saldrones

Un Saldrone es un vehículo de superficie no tripulado (USV Unmanned Surface Vehicle) que combina la tecnología de propulsión impulsada por viento y energía solar. Realiza misiones automáticas de recopilación de datos en entornos oceánicos más hostiles mediante los sensores que tiene incorporados.

Los USV están bajo la supervisión constante de un piloto humano a través de satélite y navegan de forma autónoma desde un punto de referencia a otro establecido, teniendo en cuenta las corrientes y viento y manteniéndose siempre dentro de un corredor de seguridad definido por el usuario.

En cuanto a las especificaciones mide 7 metros de largo, una altura de 4,6 metros y un calado de 2 metros. Su peso aproximado es de 545 Kg con una velocidad de servicio de 3 nudos y una máxima de 8 nudos. Puede llegar a navegar 100km por día pudiendo llegar a la mayoría de las ubicaciones oceánicas en 30 días desde la costa más cercana.



Ilustración 28: SAILDRONE y red de sensores

Fuente: Medium. <https://medium.com/@Andrew.Steinwold/saildrone-big-ocean-big-data-4d2db5066131>
 PMEL. https://www.pmel.noaa.gov/co2/files/saildronesensorsuite_nov2017.png

Un SAILDRONE estándar tiene 15 sensores que miden diferentes parámetros separados en varios grupos, los grupos son mediciones atmosféricas, de subsuelo oceánico y de superficie oceánica. Además incorpora una matriz de cámara inteligente y un transceptor AIS. Algunos parámetros que mide son la velocidad y dirección del viento, temperatura del aire, presión atmosférica, corrientes oceánicas, presencia de mamíferos, altura y periodo de olas, temperatura y salinidad del mar, campo magnético, etc. [37][38]

Misión “Atlantic to Med” por SAILDRONE



Ilustración 29: Travesía realizada por los SAILDRONES SD 1030 y SD 1053

Fuente: SAILDRONE. <https://www.saildrone.com/news/saildrone-completes-atlantic-mediterranean-mission>

Una de las misiones más importantes hasta la fecha ha sido la misión “Atlantic to Med” que consta de un viaje de más de 5000 millas desde Cabo Verde hasta Italia, pasando por las Islas Canarias, Estrecho de Gibraltar, siendo el primer paso de un vehículo autónomo por este estrecho, Mar Mediterráneo y costa italiana terminando en la cima del Mar Adriático. La misión tuvo una duración de 274 días, con un total de 15000 millas náuticas en conjunto de los dos USV. Se recolectó datos de nueve estaciones oceánicas aportando información relevante para 12 instituciones de investigación y universidades de 7 países. [39]

8.7 Buque dron “MAST” en el río Támesis

La Marina Real de las Fuerzas Armadas británicas ha puesto en marcha el proyecto de un barco dron llamado MAST (Maritime Autonomy Surface Testbed) el cual ha realizado pruebas de navegación y evite de abordajes en el río Támesis.

El pequeño barco de aproximadamente 10 metros está siendo desarrollado por ASV Ltd, una empresa pionera en el suministro de barcos no tripulados y autónomos en Reino Unido, y L3Harris. Su principal trabajo será el de proteger los futuros barcos de la Royal Navy de posibles amenazas identificando minas o cualquier otro peligro en las inmediaciones, servir como plataforma de experimentación y además tiene la capacidad de trabajar con un grupo de navíos y recopilar información relacionada con los buques enemigos. [40][41]



Ilustración 30: Dron MAST en el Támesis

Fuente: ybw. <https://www.ybw.com/news-from-yachting-boating-world/royal-navy-test-drone-unmanned-boat-mast-river-thames-41727>

9 LEGISLACIÓN VIGENTE Y APLICABLE A BUQUES AUTÓNOMOS. ASPECTOS LEGALES

El derecho marítimo es un término que se utiliza para describir la amplia gama de leyes y fuentes legales relacionadas con los buques y sus operaciones. Incluye toda clase de sistemas y normas legales que van desde el derecho internacional, normas regionales y nacionales hasta las leyes locales. Cubre temas de interés público como son la seguridad, protección del buque y del medio ambiente, la vida humana, así como asuntos de derecho civil, como contratos de transporte, responsabilidades, indemnizaciones por daños, salvamento y todo lo relacionado con riesgos y seguros marítimos.

Los buques autónomos tienen una característica fundamental, el papel de capitán y tripulación a bordo, y es obvio que afectará a multitud de leyes y reglamentos en todo el derecho marítimo.

Se debe entender que la automatización es una herramienta, como otra cualquiera, para llegar a algo, en este caso a una seguridad, al menos, igual que la navegación tradicional, efectividad y teniendo en cuenta unas metas económicas viables.

Llegados a este punto se plantean varias preguntas: ¿La legislación internacional permite que un barco sea no tripulado? ¿Existe alguna regla que diga que el barco debe estar tripulado por humanos a bordo? La legislación más importante y que tiene mayor relevancia en cuanto a los buques autónomos, a nivel internacional, es la siguiente. [47]

9.1 UNCLOS

(United Nations Convention of the Law of Sea). Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar (CDM o CONVEMAR).

Establece las reglas que rigen todos los usos de los océanos y sus recursos, para asegurar su utilización, conservación y protección. Se puede concluir que las reglas son las mismas tanto para buques convencionales como para buques no tripulados o autónomos. Los buques autónomos gozan de los mismos derechos de paso que cualquier otro tipo de buque y no se puede negar el acceso a las aguas de estados costeros por el hecho de que no estén tripulados. Sin embargo, existen varios artículos en esta convención que deben ser destacados.

Artículo 94. 4 (b). Relacionado con los deberes del Estado de Pabellón, este artículo dice: “se asegurará que cada buque esté a cargo de un capitán y de oficiales debidamente calificados, (...), y que el número de los tripulantes sean los apropiados para el tipo, el tamaño, las máquinas y el equipo del buque.”

Artículo 98. 1 (a). Relacionado con la obligación de prestar auxilio, relata que: “Todo Estado exigirá al capitán de un buque que (...) preste auxilio a toda persona que se encuentre en peligro de desaparecer en el mar.”

El primer artículo dice que el buque debe estar a cargo de un capitán y oficiales, pero no menciona que deban de estar a bordo. Se plantean así preguntas que no quedan del todo claras.

Por otro lado, en el segundo artículo genera duda, al no tener capitán ni tripulación a bordo no se sabe cómo se debe organizar tal actuación al no disponer de los medios necesarios para salvar a una persona en peligro. Es decir, en cuanto a las comunicaciones por radio, serán de forma convencional pero a la hora de actuar, un buque autónomo no tendrá forma de realizarlo. [42]

9.2 COLREG

COLREG (International Regulations for Preventing Collisions at Sea). Reglamento Internacional para Prevenir Abordajes (RIPA).

Establece las normas y procedimientos que deben realizar todos los buques durante una navegación para evitar colisiones con otros buques. Algunas de las reglas a mencionar son las siguientes:

Regla 2 (a). Relacionado con las responsabilidades, menciona lo siguiente: “No eximirá a un buque, propietario, Capitán o tripulación del mismo, las consecuencias de cualquier negligencia (...) que pudiera exigir la práctica normal del marino.”

Regla 3 (a). Da una definición de a lo que un buque se refiere: “La palabra "buque" designa a toda clase de embarcaciones, incluidas las embarcaciones sin desplazamiento y los hidroaviones, utilizadas o que puedan ser utilizadas como medio de transporte sobre el agua.”

Regla 5 Vigilancia. “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.”

Regla 8 Maniobras para evitar el abordaje (a). Dice lo siguiente: “Si las circunstancias lo permiten, toda maniobra que se efectúe para evitar un abordaje será llevada a cabo en forma clara, con la debida antelación y respetando las buenas prácticas maríneas.”

Aparecen expresiones como “práctica normal del marino”, “vigilancia visual y auditiva” o “respetando las buenas prácticas maríneas”, pero en ningún caso especifica una toma de decisiones humana o si debe estar tripulado o no. Son muchos los “vacíos legales” que se encuentran y que generan cierta inquietud, que se deben considerar y en medida de lo posible, redactarlos de nuevo para una aplicación de los buques autónomos a la normativa internacional vigente. [13]

9.3 SOLAS

SOLAS (Safety of Life at Sea). Seguridad de la Vida en el Mar.

Especifica las normas de construcción, equipamiento y explotación de los buques para garantizar la seguridad de las personas. Aplica todas sus disposiciones tanto a buques convencionales como no tripulados cuando éstos se encuentran en viajes internacionales, por lo general no habrá controversia alguna, sin embargo, hay puntos a considerar:

Capítulo V. Regla 14 (1). Respecto a la dotación de los buques: “Los Gobiernos Contratantes se obligan (...) a adoptar medidas que garanticen que (...) los buques llevan una dotación suficiente y competente.”

Capítulo V. Regla 15. Relacionado con los procedimientos de puente y práctico.

Capítulo V. Regla 24. Empleo de sistemas de control del rumbo o derrota: “En zonas de gran densidad de tráfico o situación de navegación peligrosa (...) será posible establecer el control manual sobre el gobierno del buque.”

Reglas que deben ser revisadas para un buque autónomo, como es el caso de la Regla 14, o incluso irrelevante como puede ser la Regla 15, al no necesitar un práctico a bordo. Además la Regla 24, específica sobre un control manual pero no desde donde, si a bordo o en una torre de control. [43]

9.4 MARPOL

MARPOL (Marine Pollution). Convenio Internacional para Prevenir la Contaminación por los Buques.

Su objetivo es preservar el medio marino eliminando en todo lo posible la contaminación y minimizando los derrames accidentales de sustancias contaminantes, es uno de los principales convenios creados por la OMI para la lucha de la contaminación. En este convenio, al igual que los buques convencionales, los buques autónomos deben cumplir con todos los requisitos y reglas establecidas, es uno de los convenios que menos cambios necesita. Sin embargo, se puede considerar y estudiar sobre quién recaería las responsabilidades en caso de accidente o tareas, siendo en el caso de un buque autónomo a los operarios en tierra que manejan y supervisan el buque de forma remota.

Por otro lado, en caso de derrame en plena navegación, por muy rápida que sea la coordinación y cooperación, nunca será lo suficientemente rápida que teniendo una tripulación a bordo, teniendo aquí, los buques autónomos, unas capacidades muy limitadas. [44]

9.5 MLC 2006

El Convenio sobre el Trabajo Marítimo, conocido por “MLC 2006”, establece las condiciones mínimas de trabajo y vida tanto para la gente de mar como para los armadores de calidad. Algunos aspectos del entorno laboral que trata este convenio son la edad mínima, contrato laboral, salario, vacaciones, repatriación, atención médica en caso de accidente, etc. [45]

Artículo II (1). Definiciones y ámbito de aplicación (f). “Los términos gente de mar o marino designan a toda persona que trabaje en cualquier puesto a bordo de un buque”.

Artículo II (3). “Cuando haya dudas sobre la condición de gente de mar de alguna categoría de personas, la cuestión será resuelta por la autoridad competente de cada Miembro.”

Gente de mar es cualquier persona que trabaje a bordo, por lo que no podría considerarse como tal a un trabajador a control remoto. El Artículo II punto 3, dice que cuando exista duda de gente de mar, tendrá que ser decidido por las organizaciones de armadores y gente de mar interesadas, llegando al punto de poder considerar un nuevo apartado en este convenio para los trabajadores a control remoto. [46]

9.6 Responsabilidades

Primero es necesario tratar una serie de definiciones que se deben tener en cuenta.

Factor humano: es el acto del capitán o tripulación del buque o cualquier otro personal que esté involucrado en una actividad o tarea.

Responsabilidad como agravio: daño o injuria que se le causa a otra persona a la hora de sufrir pérdidas y que tiene un mayor peso a la hora del reparto de responsabilidades en caso de, por ejemplo, un accidente.

Causación: es la sucesión en el tiempo de algún tipo de acontecimiento, ya sea de forma inesperada, preparada o por cuenta propia.

Negligencia: error o fallo involuntario causado por falta de atención, aplicación o diligencia.

Fallo del sistema: causa o fallo en un sistema electrónico.

Llegados a este punto es necesario nombrar lo que se conoce como responsabilidad del producto, y hasta donde llega. En términos legales, el creador o constructor del producto a disposición del público es el responsable de las lesiones o fallos que estos sistemas puedan provocar, tienen una estricta responsabilidad debido a la causación y contrato aceptado a la hora de la compra. Sin embargo, en aspectos legales marítimos, mientras la digitalización se mantenga como herramienta, no tendrán gran influencia en las cuestiones de responsabilidad. Esto significa que el capitán y oficiales tanto a bordo como a distancia tienen las mismas responsabilidades. La navegación autónoma puede tener algún efecto en las primas de seguros, pero el fabricante siempre tendrá un reparto de responsabilidad muy inferior en comparación con las de la tripulación que lo manipuló. Si, y solo si, el propio sistema autónomo ha provocado un daño, esto puede conducir a la responsabilidad del producto y por lo tanto la responsabilidad pasa a ser a la de su fabricante. [47]

10 FACTOR HUMANO EN LOS BUQUES AUTÓNOMOS. IMPACTO LABORAL

El elemento humano, en el mundo laboral, ha estado sometido a innumerables cambios y transformaciones por los avances tecnológicos. Las operaciones autónomas ya se encuentran implantadas en numerosos dominios en cuanto a transporte o producción, por lo que no cabe duda de que llegue también al sector marítimo, donde se considera que la automatización está todavía en su etapa de infancia.

A medida que el transporte marítimo autónomo se desarrolla y se acerca cada vez más a su implementación en el mundo real, es fundamental tratar uno de los temas que más controversia y debate genera en la sociedad, el factor humano, su impacto laboral y su futuro en el mundo marítimo.

En la vida cotidiana, se ven claros ejemplos de cambios de comportamiento humano causados por la automatización, en la tripulación de un barco pasa exactamente lo mismo, donde la tripulación aprende nuevos hábitos y trabajos cuando se encuentran en contacto con operaciones remotas o con tareas automatizadas, es un proceso de evolución y cambio constante que ocurre en cualquier ámbito.

El buque autónomo se puede controlar remotamente, ya sea de manera constante o por una situación específica que lo requiera, es decir, el elemento humano está presente de la misma manera en el puente de un buque tripulado que en tierra en una torre de control. Por otro lado, otros trabajos específicos relacionados con mantenimiento o “check list” durante la navegación que se realizan por la tripulación o marineros, pueden llegar a secundarios o prescindible. Son procesos que, tarde o temprano, la tecnología y automatización podrían realizar y llegar a cabo de manera constante y puntual, enviando los datos necesarios al centro de control para que el operador remoto tome las decisiones oportunas, en caso de que algún dato esté fuera de lo habitual.

La introducción de un buque autónomo en el sector marítimo no significa que ya no exista el elemento humano o que no esté involucrado en ello, de una manera u otra, ya sea directa o indirectamente, siempre estará presente este factor humano.

Aunque se eliminen algunos tipos de trabajo se crearán otros nuevos, de igual forma que sucedió en el pasado con la robotización habrá puestos de trabajo que se transformarán, otros que desaparecerán y otros nuevos que surgirán. Además, el coste de las máquinas frente a la mano de obra y salario de un humano, es inferior por lo que se ahorrarán costes

y disminuirán los errores humanos, al fin y al cabo, una empresa busca la mayor rentabilidad y beneficio, lo mismo ocurre con un armador.

Como sucede en cualquier ámbito laboral, hay trabajos que nunca podrán ser reemplazados, en el mundo marítimo no es diferente, la profesión de capitán y oficiales nunca podrá ser reemplazada, al final, son ellos quienes deben tomar las decisiones finales, ya sea de forma directa en un puente o indirecta cuando el sistema autónomo le avisa de un escenario de peligro y le recomiende realizar una tarea u otra. Trabajos que requieran la “mano humana” o el comportamiento humano son trabajos difíciles de reemplazar, y en todo caso, podrán ser sustituidos pero siempre bajo una supervisión constante de un humano. [48][49]

11 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS BUQUES AUTÓNOMOS

A lo largo de este proyecto se han mencionado numerosas cuestiones que plantean ciertas dudas e incertidumbres y ventajas de los buques autónomos, se mencionan a continuación los aspectos más relevantes de sus ventajas y desventajas comparándolos con los buques convencionales, algunos temas a tratar son la seguridad, vida humana en la mar, legislación, costos y beneficios de los armadores, impacto ambiental, etc. [50][51]

11.1 Ventajas

Seguridad operativa

Varios estudios realizados en los últimos años, y teniendo en cuenta los accidentes marítimos y sus causas, establecen que más de un 60% de los accidentes marítimos son causados por errores humanos como fatiga, errores de juicio o decisión personal, negligencias o formación inadecuada. El error humano causó 2712 víctimas en 2018, con un costo de 1.6 millones de dólares. Se estima que trabajar en cubierta, en operaciones de atraque o desatraque, es de 5 a 16 veces más peligroso que un trabajo en tierra. Varios estudios argumentan y defienden que introducir los buques autónomos hará que este porcentaje se reduzca debido a la falta de tripulación con formación inadecuada y a la toma de decisiones errónea de un humano.

La suposición razonable es que los buques autónomos serían más seguros para la vida humana, eliminando los riesgos que enfrentan las tripulaciones en alta mar que pueden terminar en lesiones o muerte.

Reducción de costos

Los gastos de tripulación suelen ser alrededor del 20-30% del costo total de un buque de carga, se incluyen aquí los sueldos, dieta, seguros, contrato, provisiones y demás elementos necesarios. Los buques autónomos pueden llegar a reducir y eliminar estos costos, creando un incentivo para las navieras que buscan una reducción de costos en un mercado cada vez más competitivo. Sin embargo, algo a tener en cuenta es que los buques autónomos pueden aumentar los costos en tierra o tener inversiones iniciales muy grandes, así como una tecnología novedosa y por lo tanto costosa y un mantenimiento adecuado del centro de control, operaciones, sensores y satélites.

Eficiencia energética e impacto laboral

La eliminación de tripulación permitirá construir los nuevos buques autónomos sin las instalaciones necesarias para la operación humana, como el puente, dormitorios, fontanería, comedor, áreas de descanso, etc. Reduciendo el peso y aumentando la fiabilidad. Además, los nuevos buques autónomos apuestan por proyectos “eco” y de emisiones mínimas o nulas de CO2 a la atmósfera, lo que hace que se reduzca en gran cantidad el consumo de combustible y tenga un impacto ambiental muy pequeño en comparación con un buque convencional.

Piratería

La empresa Rolls Royce argumenta que la piratería se reducirá, los buques se vuelven autónomos, tienen tecnologías completamente diferentes y se construyen de manera que sea difícil abordarlos, haciendo que el acceso a la carga y los controles sea nulo. En el caso de un ataque, los centros de control pueden inmovilizar el barco a distancia o hacer que navegue con un rumbo específico hasta que las autoridades navales puedan alcanzarlo. Además, sin la presencia de tripulación y por lo tanto rehenes que rescatar, se argumenta que los buques de carga son objetivos menos valiosos para los piratas.

11.2 Desventajas

Reglamento

La regulación internacional se considera uno de los mayores desafíos, la Regla 5 del RIPA requiere que haya siempre una vigilancia constante para evitar abordajes y el SOLAS exige que los buques deben ayudar en tareas de búsqueda y rescate. Para una embarcación autónoma, esto será una de las tareas más difíciles de cumplir con las regulaciones actuales. La OMI ha comenzado a trabajar para revisar los tratados vigentes que afectan al transporte marítimo autónomo y todo lo que pueda tener relación con ello, para que finalmente, se pueda implementar de manera legal los buques autónomos en el sector marítimo.

Seguridad cibernética

Los ciberataques se han convertido en una amenaza cada vez mayor en el transporte marítimo, donde los piratas informáticos han logrado comprometer sistemas como el AIS, utilizando bloqueadores, para falsificar la señal de GPS. La industria marítima ha sido criticada por no saber mantenerse al día con la innovación tecnológica y estar 10-20 años

atrás en comparación con otras industrias, dejando redes informáticas inseguras y abiertas a los ciberataques.

Debido a la dependencia mayor que tiene un buque autónomo a la tecnología, la ciberseguridad se convierte en un problema aún más grave que las empresas deben abordar. Los controles y datos de a bordo pueden verse comprometidos y ser vulnerables a ataques cibernéticos, ya que los buques autónomos requieren una conexión constante para el monitoreo y control.

Otro problema es la transmisión de datos entre buque-centro de control, aumentando las posibilidades de saturación debido a la alta cantidad de datos tipo imagen o video y el gran flujo de información que tiene por los sensores que se encuentran a bordo.

Preocupaciones de seguridad sobre la implementación

Los buques autónomos podrían mejorar la seguridad al reducir los errores humanos a largo plazo, pero durante una larga fase de transición estos buques operarán junto con buques convencionales. La forma en que los buques autónomos interactúan con buques convencionales o con barcos más pequeños, como pueden ser barcos pesqueros con baja tecnología, puede crear grandes dificultades a la hora de la navegación en caso de un escenario con posible colisión.

Desastre medioambiental

Otra consideración implica la capacidad de reaccionar ante un desastre ambiental de manera oportuna. Los equipos de mitigación de desastres ambientales pueden estar a cientos de millas de distancia si ocurre un incidente en alta mar que involucre un incendio o un derrame, y los buques autónomos serán incapaces de resolver este tipo de problemas por sí solos.

Responsabilidad y cuestiones legales

Si ocurriera un accidente con un buque autónomo, describir el responsable crea un desafío difícil de solucionar, ya que existen numerosas partes que intervienen como la empresa, el proveedor del software y hardware, las estaciones de monitoreo, el piloto remoto, etc. Por lo tanto, se desconoce el reparto de responsabilidades, históricamente el capitán tiene el mando y son los primeros en someterse a escrutinio y representar el buque si algo sucede. Sin un líder o capitán claro, el papel de la regulación internacional es determinar quién es el responsable en última instancia en caso de accidente marítimo.

12 BUQUES AUTÓNOMOS EN CANARIAS. TECNOLOGÍA MARINELINK SMART

No es necesario irse lejos para ver indicios de que la inteligencia artificial está llegando a puertos cercanos, en este caso la naviera Fred Olsen, que opera en las Islas Canarias, y el astillero australiano Austal trabajan en un proyecto juntos donde incorporan en los nuevos trimaranes de la compañía, “Bañaderos Express” y el “Bajamar Express”, una tecnología llamada Marinelink Smart.

Esta tecnología se basa en un aprendizaje automático, inteligencia artificial y el “internet de las cosas”, donde crea un sistema de gestión autoadaptable y predictivo en el comportamiento del buque. Gestiona la monitorización y controla gran parte de los sistemas del buque en tiempo real, pudiendo realizar tareas de forma más rápida y eficaz. Además, el sistema informa al capitán recomendaciones sobre los estabilizadores, velocidad y planificación de ruta, lo que facilita la toma de decisiones durante la navegación y en las operaciones portuarias.

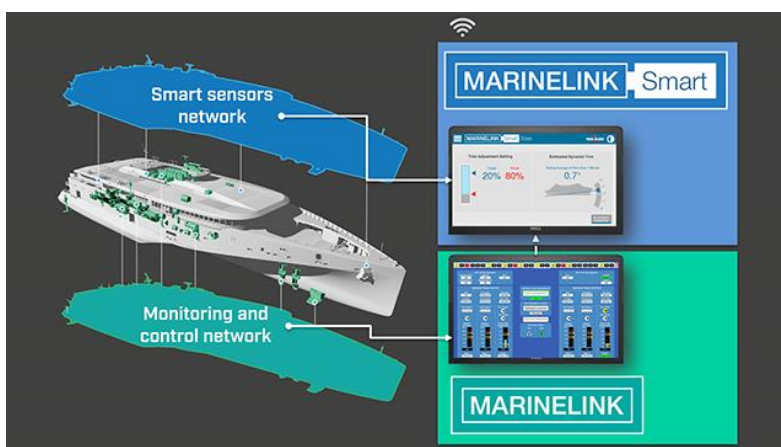


Ilustración 31: Tecnología Marinelink Smart en Fred Olsen

Fuente: ANAVE. <https://www.anave.es/prensa/ultimas-noticias/2160-fred-olsen-y-austal-desarrollan-la-tecnologia-de-ultima-generacion-de-marine-link>

Esta tecnología ha estado en servicio durante más de 20 años, Marinelink Smart integra un sistema de hardware y software inteligente a bordo conectado mediante una amplia gama de sensores. Es capaz de aprender con cada viaje que realiza la embarcación, aportando cada vez una mayor información e identificando sus fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas para un rendimiento óptimo. Tiene hasta dos millones de puntos de datos que recopilan información del buque, incluida potencia, propulsión, dirección, hidráulica, elementos eléctricos y hasta climatización.

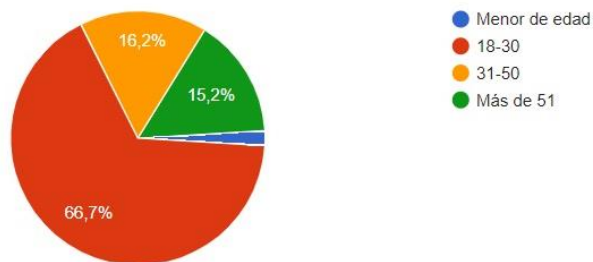
Tiene en cuenta factores como el estado de la mar, carga, calado, velocidad, rumbo, viento y otros específicos de cada buque, permitiendo un ahorro de combustible y por consiguiente una reducción de las emisiones, además mejora el comportamiento del buque durante la navegación. Otros beneficios son un mejor rendimiento de los activos, menores costos de mantenimiento y operación de la tripulación, evita inspecciones innecesarias o pruebas invasivas y mayor confort y comodidad para los pasajeros.

[52][53]

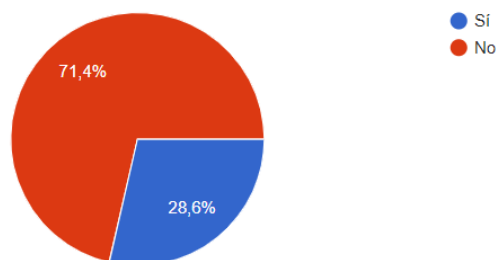
13 ENCUESTA

Más de 100 personas que tienen o no relación con el ámbito marítimo realizaron un cuestionario sobre preguntas relacionadas con los buques autónomos, su futuro, tecnología, seguridad, puestos de trabajo y saber su opinión al respecto. El cuestionario es de elaboración propia y las preguntas se realizaron de forma anónima, a continuación se muestran las respuestas:

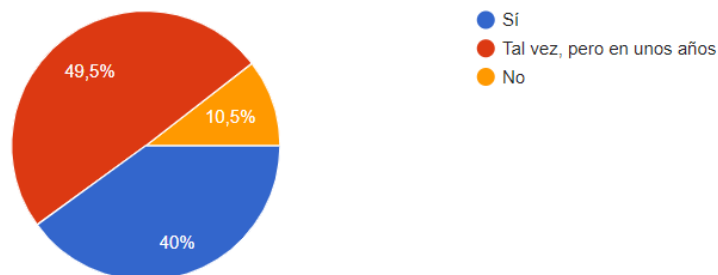
Pregunta 1: ¿Qué edad tienes?



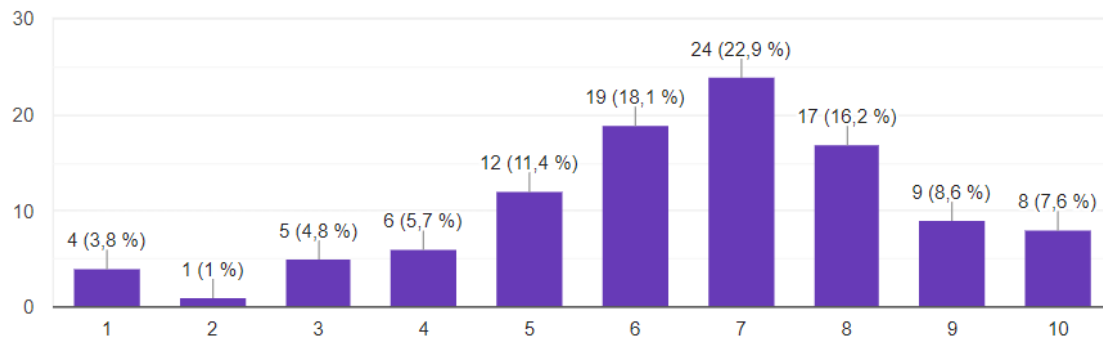
Pregunta 2: ¿Tienes alguna relación con el mundo marítimo? ¿Has estudiado o trabajado en relación a ello?



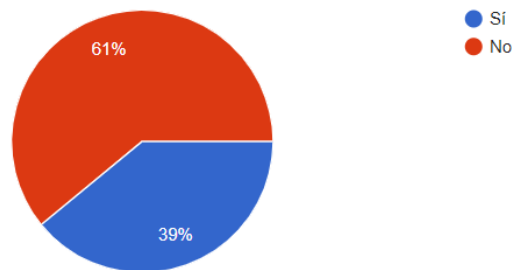
Pregunta 3: Un barco autónomo es un barco capaz de salir de puerto por sí solo, navegar evitando colisionar con otros barcos tomando sus propias decisiones y llegar a otro puerto y atracar por cuenta propia, sin necesidad de ayuda humana. ¿Crees que esto es posible?



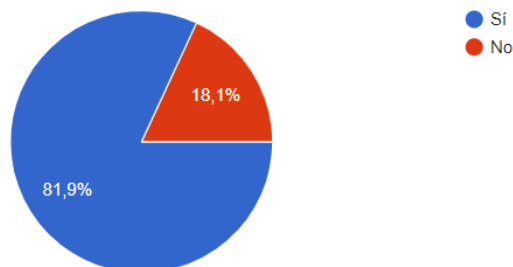
Pregunta 4: Siendo 1 nada seguro y 10 completamente seguro. ¿Cuánto de seguro crees que sería un barco autónomo?



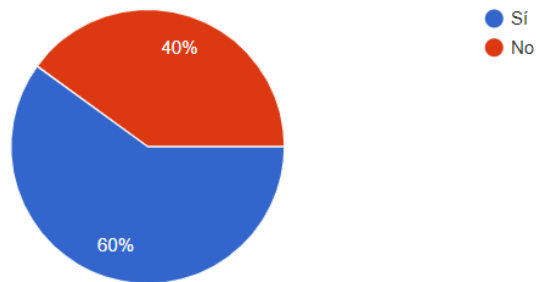
Pregunta 5: ¿Crees que un barco autónomo puede superar en seguridad a un barco convencional? Un barco convencional es lo que conocemos hoy en día como un barco con capitán, oficiales y toda su tripulación a bordo donde ellos toman las decisiones durante la travesía, algunos ejemplos son cruceros, petroleros, buques de carga de contenedores, quimiqueros, ferrys, catamaranes o cualquier otro tipo de barco.



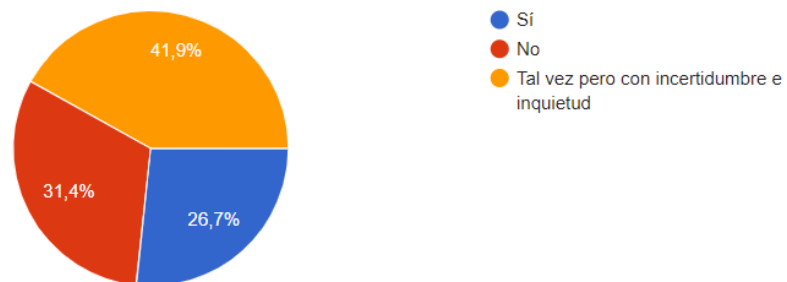
Pregunta 6: ¿Crees que un barco autónomo podría realizar un viaje navegando siempre cerca de la costa? Por ejemplo, un viaje entre islas.



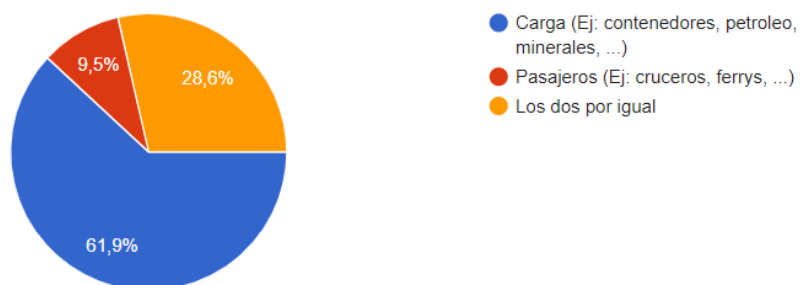
Pregunta 7: ¿Crees que un barco autónomo podría hacer un viaje largo? Es decir, cruzar por ejemplo el Océano Atlántico.



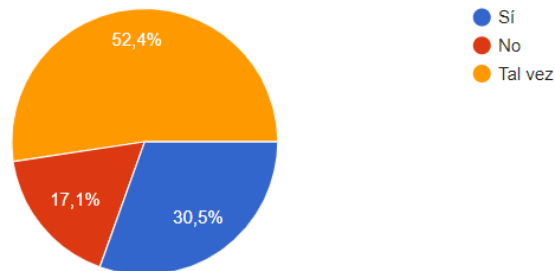
Pregunta 8: Eres un ciudadano que necesita desplazarse de un sitio a otro en barco, ¿te subirías a un barco autónomo? Es decir qué no tenga capitán ni oficiales a bordo y navegue por cuenta propia.



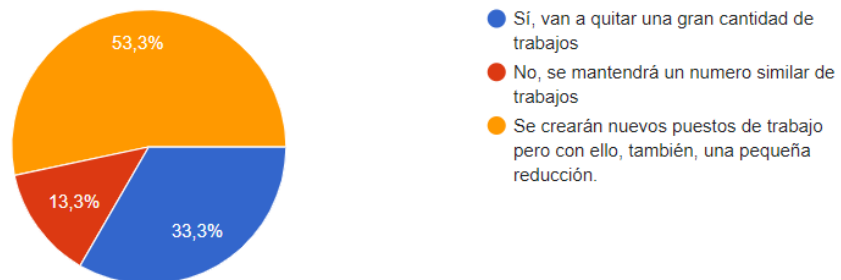
Pregunta 9: ¿Ves más viable un barco autónomo destinado a transportar carga o a pasajeros?



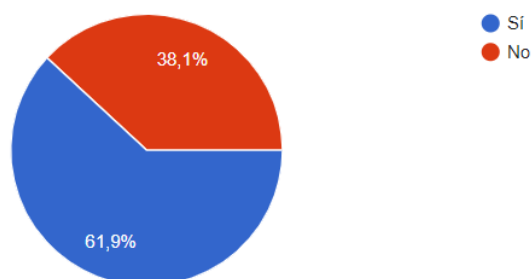
Pregunta 10: Las estadísticas dicen que en más de un 60% de los accidentes marítimos está presente el error humano y la toma de decisiones incorrecta de los oficiales/capitán. ¿Crees que un barco autónomo con inteligencia artificial y capaz de tomar decisiones por si solo puede reducir este porcentaje y evitar accidentes?



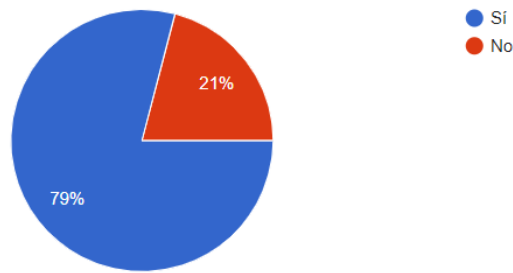
Pregunta 11: ¿Crees que los barcos autónomos van a quitar puestos de trabajo?



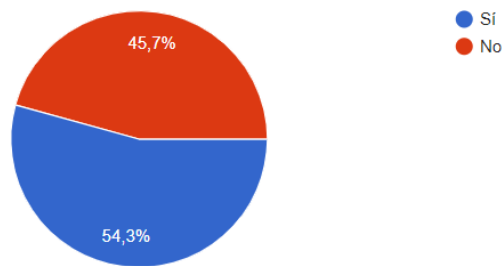
Pregunta 12: La piratería existe a día de hoy y es un gran problema en algunas zonas del mundo como en Somalia, donde se dan casos de robos de barcos a mano armada ¿Crees que un barco autónomo es más fácil de robar que un barco convencional?



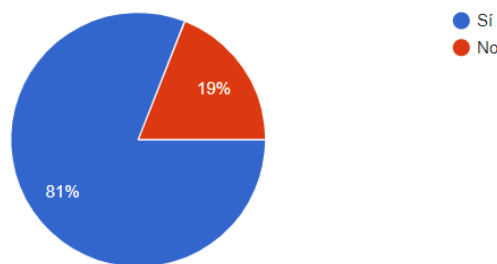
Pregunta 13: ¿Crees que los barcos autónomos presentan un mayor riesgo en cuanto a la ciberseguridad?



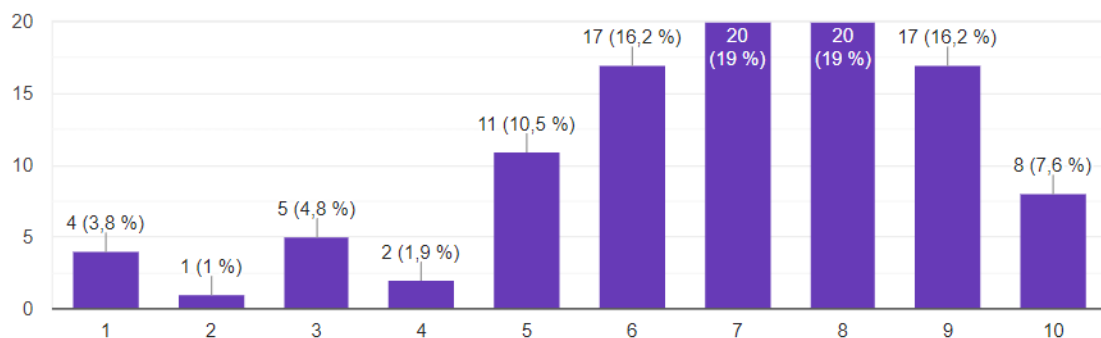
Pregunta 14: ¿Crees que tendrá un mayor gasto económico en puerto y en las infraestructuras en comparación con un barco convencional?



Pregunta 15: ¿Crees que un barco autónomo es más caro que un barco convencional?



Pregunta 16: Siendo 1 nada seguro y 10 un 100% seguro, ¿Como ves el futuro de los barcos autónomos? ¿Crees que se puede llevar a cabo un proyecto así? ¿Lo ves viable?



Pregunta 17: ¿Quieres añadir/discutir u opinar sobre los barcos autónomos? Puedes aportar cualquier información que consideres oportuna. Algunas respuestas interesantes se muestran a continuación.

“Es un tema novedoso pero es cierto que a veces el ser humano puede responder mejor ante ciertos imprevistos o circunstancias, por no decir la pérdida de puestos de trabajos debida a la automatización. Creo en un equilibrio hombre-máquina en la cual sea un balance que permita el mejor servicio y los resultados más eficientes.”

“Las tecnologías son creadas por humanos, por tanto, el riesgo de errores es el mismo.”

“Un autónomo será más interesante para rutas largas, lo complicado serán las fases de atraque y salida de puerto que supondrá (seguramente) una inversión económica a nivel tecnológico que por ejemplo, a Tenerife no le haría falta. Los barcos autónomos solo serán para grandes marcas como MAERSK o empresa con en ese estilo de barco.”

“La tecnología desplazará la mano de obra a bordo por la especialización de los servicios del transporte marítimo, ante la deficiencia profesional en algunas tripulaciones, lo cual abaratará más los gastos, fletes y mantenimientos de estos, habrá mayor rendimiento en el desarrollo de las operaciones portuarias y se incrementará la seguridad en las maniobras y en la navegación marítima, lo cual hará que hayan marinos con mayor idoneidad.”

“Creo que es una buena idea y más segura al manipular cargas.”

“Visto que los marinos actuales tienen dificultades para comprender manuales de procedimientos desde el punto de vista escrito y oral, confío más en un ordenador que en una persona a la hora de tomar decisiones, en el pasado ocurría lo contrario, las máquinas y sistemas electrónicos estaban menos perfeccionadas y los cerebros de los marinos por necesidades lógicas estaban más evolucionados.”

“Innovación estupenda, pero cierto es que rescindiría muchos puestos de trabajo. Y más seguros no lo veo claro, ya que no hay nada como tener dotación preparada a bordo que pueda atender las diferentes situaciones, ya sean: Pasajero en pánico, avería en algún sistema de propulsión, avería en sistemas de gobierno, emergencia por fuego.”

“En coste inicial un buque autónomo es más caro. El ahorro se producirá en salario y alimentación. Un barco completamente autónomo es bastante improbable en los supuestos de averías mecánicas, electrónicas, etc. El factor humano, aunque de otra forma, seguiría siendo primordial.”

14 CONCLUSIONES

14.1 Conclusión

Durante más de 10 capítulos se han tratado la mayoría de los puntos clave para entender qué es un buque autónomo, como funciona y que les deparará en un futuro. Los primeros capítulos se centran, en un modo muy general, a la definición de navegación y sus inicios, pasando por todas las transformaciones que han tenido los buques a lo largo de los años hasta llegar a la actualidad, por otro lado, a modo de introducción se plantea el mayor error que causan la mayoría de los accidentes como es el error humano. Tras esta introducción se plantea lo que un buque autónomo se refiere, junto con la tecnología que debe llevar a bordo y cómo funcionan “por dentro”, los algoritmos y sistemas necesarios para que funcionen de manera inequívoca y cómo funcionarían en diferentes escenarios de la navegación autónoma. Se define, también, la navegación autónoma como tal y que debe llevarse a cabo para que se convierta en una realidad, cuales son las partes necesarias, cómo funcionan y una de las partes más importantes, la tecnología sensorial. En la última parte de esta investigación se plantean los proyectos que se están llevando a cabo y los temas que más controversia causan tanto a nivel legislativo como laboral.

Con este proyecto se ha examinado tanto su lado positivo como su lado negativo, intentando siempre expresarlo de la forma más neutral posible, a modo de investigación y recopilando la información más relevante y que más impacto está teniendo en este tema. Con esto no se pretende convencer, malinterpretar ni mucho menos oscurecer un tema que cada día se acerca más a ser una realidad, generando cierta desconfianza y polémica, pero teniendo siempre un objetivo en común con los buques convencionales, la seguridad y la vida humana en la mar.

Aunque es cierto que existen muchos vacíos, que se necesita una legislación nueva, que está en su fase inicial y que su futuro sigue siendo incierto. Los años y el futuro llegarán, tarde o temprano, la tecnología y la automatización llegará a los mares, al igual que ha llegado a nuestras casas y a nuestra vida cotidiana, y como dijo el escritor y científico Arthur C. Clarke: “Cualquier tecnología suficientemente avanzada es indistinguible de la magia” y aún queda mucha magia por ver surcando nuestros mares.

14.2 Conclusion

For more than 10 chapters, most of the key points to understand what an autonomous ship is, how it works and what it will hold in the future have been discussed. The first chapters focus, in a very general way, on the definition of navigation and its beginnings, going through all the transformations that ships have had over the years until the present, on the other hand, in a way of introduction, is discussed the biggest error that causes most accidents, the human error. After this introduction, present topics like what an autonomous ship is, the technology that it must carry on board and how they work "inside", the algorithms and systems necessary for them to work unequivocally and how they would work in different navigation scenarios. Autonomous navigation is also defined and what must be carried for it becomes a reality, what are the necessary parts, how they work and one of the most important parts, sensory technology. The last part of this investigation presents the projects that are being carried out and the issues that cause the most controversy, the legislation and labor impact.

With this project, the objective is always to examine the positive and negative sides, always trying to express it in the most neutral way possible, by way of research and collecting the most relevant information that is having the most impact on this issue. This is not intended to convince, misinterpret and much less obscure an issue that is getting closer to being a reality each day, but also it generate a certain distrust and controversy, but always having a common objective with conventional ships, safety and human life in the sea.

Although it is true that there are many gaps, like a new legislation is needed, that it is in initial phase and that the future is uncertain. The years and the future will come, sooner or later, technology and automation will reach the seas, in the same way that they reached our homes and our daily lives, and as the writer and scientist Arthur C. Clarke said: "Any technology sufficient advanced is indistinguishable from magic" and there is still much magic to see sailing our seas.

15 BIBLIOGRAFÍA

- [1] Navegación marítima. (2020). Recuperado 26 de junio de 2020, de Wikipedia website:
https://es.wikipedia.org/wiki/Navegaci%C3%B3n_mar%C3%ADtima#Navegaci%C3%B3n_ortodr%C3%B3mica&as_qdr=y15
- [2] Historia de las Primeras Canoas. (2015). Recuperado 26 de junio de 2020, de Casiopea website:
https://wiki.ead.pucv.cl/Historia_de_las_Primeras_Canoas#:~:text=Primeras%20Embarcaciones,-Desde%20los%20tiempos&text=El%20hombre%20del%20Paleol%C3%ADtico%20c%C3%ADa,dando%20nacimiento%20a%20la%20canoa.
- [3] De la Prehistoria a los fenicios. (2011). Recuperado 26 de junio de 2020, de Historia marítima blogspot website: <http://historia-maritima.blogspot.com/2011/01/de-la-prehistoria-los-fenicios.html>
- [4] Los primeros navegantes de la historia. (2017). Recuperado 26 de junio de 2020, de Fundación Aquae website: https://www.fundacionaquae.org/wiki-explora/23_navegantes/index.html
- [5] Historia de la navegación marítima. (2009). Recuperado 26 de junio de 2020, de Monografías website: <https://www.monografias.com/trabajos70/historia-navegacion-maritima/historia-navegacion-maritima.shtml>
- [6] Historia de los barcos. (2019). Recuperado 26 de junio de 2020, de Wikipedia website: https://es.wikipedia.org/wiki/Historia_de_los_barcos#barcos_medievales
- [7] Historia de la Navegación. (2016). Recuperado 26 de junio de 2020, de Ecured website: https://www.ecured.cu/Historia_de_la_Navegaci%C3%B3n#La_H.C3.A9lice
- [8] Informes oficiales sobre accidentes marítimos. (2009). Recuperado 3 de julio de 2020, de Ministerio de transportes, movilidad y agenda urbana. Gobierno de España website: <https://www.mitma.gob.es/marina-mercante/informes-oficiales-sobre-accidentes-maritimos/comision-permanente-de-investigacion-de-siniestros-maritimos>
- [9] Annual Overview of Marine Casualties and Incidents 2019. (2019). Recuperado 15 de julio de 2020, de EMSA Europea website: <http://www.emsa.europa.eu/news-a-press>

centre/external-news/item/3734-annual-overview-of-marine-casualties-and-incidents-2019.html

[10] LOS MASS: LOS BUQUES INTELIGENTES Y AUTÓNOMOS DEL FUTURO. (2018). Recuperado 30 de junio de 2020, de Ministerio de Defensa. Gobierno de España website: <https://armada.defensa.gob.es/archivo/rgm/2018/08/rgm080918cap13.pdf>

[11] Design Code for Unmanned Marine Systems. (2017). Recuperado 30 de junio de 2020, de Lloyd's Register Org website: <https://www.cdinfo.lr.org/information/documents/ShipRight/Design%20and%20Construction/Additional%20Design%20Procedures/Design%20Code%20for%20Unmanned%20Marine%20Systems/Design%20Code%20for%20Unmanned%20Marine%20Systems,%20February%202017.pdf>

[12] Punto de mira Buques autónomos. (2019). Recuperado 30 de junio de 2020, de OMI Organización Marítima Internacional website: <http://www.imo.org/es/MediaCentre/HotTopics/Paginas/Autonomous-shipping.aspx>

[13] Reglamento Internacional para Prevenir los Abordajes (1972). (2006). Recuperado 30 de junio de 2020, de Cameintram website: http://www.cameintram.org/documentos/convenciones/REGLAMENTO_INTERNACIONAL_PARA_PREVENIR_LOS_ABORDAJES.pdf

[14] Remote and Autonomous Ships. The next steps. (2016). Recuperado 14 de julio de 2020, de Rolls-Royce website: <https://www.rolls-royce.com/~media/Files/R/Rolls-Royce/documents/customers/marine/ship-intel/aawa-whitepaper-210616.pdf>

[15] SmartPort by Trelleborg. (2018). Recuperado 29 de julio de 2020, de Trelleborg website: <https://www.trelleborg.com/en/marine-and-infrastructure/products--solutions--and--services/marine/smartport>

[16] Smart Ports ¿Qué son? ¿Cómo mejoran el transporte marítimo? (2020). Recuperado 29 de julio de 2020, de Transeop website: <https://www.transeop.com/blog/smart-ports/369/>

[17] What is a Smart Port? (2019). Recuperado 29 de julio de 2020, de Porttechnology Org website: <https://www.porttechnology.org/news/what-is-a-smart-port/>

[18] Smart Ports: Increasing Efficiency and Cutting Costs. (2019). Recuperado 29 de julio de 2020, de TPK Koja website: <http://www.tpkkoja.co.id/smart-ports-increasing-efficiency-and-cutting-costs/>

[19] AUTONOMOUS SHIPS EQUIPMENT / PRODUCTS / SYSTEMS. (2020). Recuperado 10 de agosto de 2020, de KONGSBERG website: <https://www.kongsberg.com/es/maritime/solutions/ship-types/autonomous-ships/>

[20] Global positioning system (GPS). (2011). Recuperado 10 de agosto de 2020, de Queensland Government website: https://www.msq.qld.gov.au/-/media/MSQInternet/MSQFiles/Home/Safety/GPS-verification-marks/what_is_gps.pdf?la=en#:~:text=GPS%20is%20a%20satellite%20Disabled,in%20cars%20and%20on%20boats.

[21] ¿Cómo funciona un radar de barco? (2019). Recuperado 13 de agosto de 2020, de ON Nautic website: <https://onnautic.com/blog/como-funciona-un-radar-de-barco/#:~:text=El%20radar%20n%C3%A1utico%20funciona%20emitiendo,y%20rebotar%20contra%20un%20objeto.&text=Adem%C3%A1s%20el%20radar%20de%20una,rastrear%20tormentas%20durante%20la%20noche>

[22] ECDIS para buque. (2017). Recuperado 13 de agosto de 2020, de Nautic expo website: [https://www.nauticexpo.es/prod/transas-marine-international/product-22918-415585.html#:~:text=Un%20sistema%20ECDIS%20muestra%20la,de%20identificaci%C3%B3n%20autom%C3%A1tica%20\(AIS\).](https://www.nauticexpo.es/prod/transas-marine-international/product-22918-415585.html#:~:text=Un%20sistema%20ECDIS%20muestra%20la,de%20identificaci%C3%B3n%20autom%C3%A1tica%20(AIS).)

[23] Yara Birkeland: Primer buque totalmente autónomo puesto en espera indefinida. (2020). Recuperado 2 de septiembre de 2020, de MasContainer website: <https://www.mascontainer.com/yara-birkeland-primer-buque-totalmente-autonomo-puesto-en-espera-indefinida/>

[24] YARA Birkeland Autonomous Container Vessel. (2017). Recuperado 2 de septiembre de 2020, de ShipTechnology website: <https://www.ship-technology.com/projects/yara-birkeland-autonomous-container-vessel/>

[25] Así será el buque Yara Birkeland, el 'Tesla de los mares'. (2017). Recuperado 2 de septiembre de 2020, de LAINFORMACIÓN website: https://www.lainformacion.com/mundo/Birkeland-tesla-mares-barcos-drone-UAV_0_1047796020.html

- [26] MV Yara Birkeland. (2019). Recuperado 2 de septiembre de 2020, de Wikipedia website: https://en.wikipedia.org/wiki/MV_Yara_Birkeland
- [27] Yara Birkeland: El bálsamo de los mares nórdicos. (2018). Recuperado 2 de septiembre de 2020, de Exelencias del motor website: <https://www.excelenciasdelmotor.com/otras-secciones/maritimo/yara-birkeland-el-balsamo-de-los-mares-nordicos>
- [28] Fully-Autonomous Ferry Demonstrated in Northern Europe. (2018). Recuperado 3 de septiembre de 2020, de gCaptain website: <https://gcaptain.com/another-fully-autonomous-ferry-demonstrated-in-northern-europe/>
- [29] Falco Information. (2018). Recuperado 3 de septiembre de 2020, de VeselFinder website: <https://www.vesselfinder.com/es/vessels/FALCO-IMO-8685741-MMSI-230987390>
- [30] Rolls-Royce and Finferries launch the world's first autonomous ferry. (2018). Recuperado 3 de septiembre de 2020, de Allianz Partners website: <https://allianzpartners-bi.com/news/rolls-royce-and-finferries-launch-the-worlds-first-autonomous-ferry-0cf0-333d4.html>
- [31] ReVolt Is an Unmanned, Battery-Powered Vessel of the Future. (2014). Recuperado 3 de septiembre de 2020, de autoevolution website: <https://www.autoevolution.com/news/revolt-is-an-unmanned-battery-powered-vessel-of-the-future-video-86515.html>
- [32] REVOLT. (2017). Recuperado 3 de septiembre de 2020, de Autonomous Ships HQ website: <https://www.autonomousshipshq.com/revolt/#prettyPhoto>
- [33] Wärtsilä Conducts Autonomous Ferry Voyage and Docking. (2018). Recuperado 3 de septiembre de 2020, de The Maritime Executive website: <https://www.maritime-executive.com/article/waertsilae-conducts-autonomous-ferry-voyage-and-docking>
- [34] Wärtsilä achieves notable advances in automated shipping with latest successful tests. (2018). Recuperado 3 de septiembre de 2020, de WÄRTSILÄ website: <https://www.wartsila.com/media/news/28-11-2018-wartsila-achieves-notable-advances-in-automated-shipping-with-latest-successful-tests-2332144>

- [35] Hronn Autonomous Offshore Support Vessel. (2017). Recuperado 4 de septiembre de 2020, de ShipTechnology website: <https://www.ship-technology.com/projects/hronn-autonomous-offshore-support-vessel/>
- [36] Hrönn: World's first unmanned and fully-automated ship. (2016). Recuperado 4 de septiembre de 2020, de ybw website: <https://www.ybw.com/news-from-yachting-boating-world/hronn-worlds-first-unmanned-and-fully-automated-ship-44035>
- [37] Saildrone sensor suite. (2019). Recuperado 4 de septiembre de 2020, de PMEL website: <https://www.pmel.noaa.gov/co2/file/Saildrone+sensor+suite>
- [38] Wind-Powered Ocean Drones. (2019). Recuperado 4 de septiembre de 2020, de SAILDRONE website: <https://www.saildrone.com/technology>
- [39] Atlantic to Med: An Historic 5,000+ Nautical Mile Voyage for Science. (2020). Recuperado 4 de septiembre de 2020, de SAILDRONE website: <https://www.saildrone.com/news/saildrone-completes-atlantic-mediterranean-mission>
- [40] LA ROYAL NAVY RECIBE LA EMBARCACIÓN AUTÓNOMA MAST 13. (2019). Recuperado 5 de septiembre de 2020, de HispaDrones website: <https://www.hispadrones.com/noticias/europa/royal-navy-embarcacion-autonoma-mast-13/>
- [41] British MoD unveils MAST-13 unmanned system to protect vessels. (2019). Recuperado 5 de septiembre de 2020, de NavalTechnology website: <https://www.naval-technology.com/news/uk-mod-unveils-mast-13-unmanned-system-to-protect-naval-ships/>
- [42] Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar. (2001). Recuperado 6 de septiembre de 2020, website: https://www.un.org/Depts/los/convention_agreements/texts/unclos/convemar_es.pdf
- [43] SOLAS Edición refundida Versión 2.0 (2002). Recuperado 6 de septiembre de 2020, de <http://www.bioscafire.com/upfiles/normativa/solas.pdf>
- [44] BUQUES AUTÓNOMOS. EVOLUCIÓN TÉCNICA Y RETOS A SUPERAR PARA ALCANZAR LA NAVEGACIÓN AUTÓNOMA. (2018). Recuperado 6 de septiembre de 2020, de UDC website:

https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/21198/PortelaFolgar_Sara_TFG_2018.pdf.pdf?sequence=2&isAllowed=y

[45] MLC, 2006: ¿Qué es y qué hace? (2013). Recuperado 7 de septiembre de 2020, de OIT website: <https://www.ilo.org/global/standards/maritime-labour-convention/what-it-does/lang--es/index.htm>

[46] CONVENIO SOBRE EL TRABAJO MARÍTIMO, 2006. (2006). Recuperado 7 de septiembre de 2020, de BOE website: <https://www.boe.es/boe/dias/2013/01/22/pdfs/BOE-A-2013-577.pdf>

[47] Legal aspects and liability issues concerning autonomous shipping. (2018). Recuperado 7 de septiembre de 2020, de Finnish Transport Agency website: <https://www.iala-aism.org/content/uploads/2018/01/12.40-Matti-Eronen-Legal-aspects-and-liability-issues-concerning-autonomous-shipping.pdf>

[48] ¿Qué trabajos no están en riesgo debido a la automatización? (2018). Recuperado 8 de septiembre de 2020, de TriangleSolutions website: <https://www.trianglerrrh.es/que-trabajos-no-automatizacion/>

[49] The Human Element and Autonomous Ships . (2016). Recuperado 8 de septiembre de 2020, de TransNav website: <https://www.transnav.eu/files/The+Human+Element+and+Autonomous+Ships,675.pdf>

[50] HOW WILL AUTONOMOUS SHIPPING AFFECT THE MARITIME INDUSTRY? (2017). Recuperado 9 de septiembre de 2020, de THE KRIST LAW FIRM P.C website: <https://www.houstoninjurylawyer.com/will-autonomous-shipping-affect-maritime-industry/>

[51] Autonomous cargo ship. (2019). Recuperado 9 de septiembre de 2020, de Wikipedia website: https://en.wikipedia.org/wiki/Autonomous_cargo_ship

[52] MARINELINK SMART. (2017). Recuperado 9 de septiembre de 2020, de AUSTAL website: <https://www.austal.com/marinelinksmart>

[53] Fred Olsen y Austal desarrollan la tecnología de última generación de Marine Link. (2019). Recuperado 9 de septiembre de 2020, de ANAVE website: <https://www.anave.es/prensa/ultimas-noticias/2160-fred-olsen-y-austal-desarrollan-la-tecnologia-de-ultima-generacion-de-marine-link>