



**Aplicación de la inteligencia artificial en el control de tráfico marítimo:
impacto en la seguridad integral marítima colombiana, caso de estudio
Coveñas.**

CCESP Julián Alejandro Salgado Mesa

Artículo para optar al título profesional:
Magister en Defensa y Seguridad Nacionales

DATOS GENERALES

Nombre del estudiante	:	CCESP Julián Alejandro Salgado Mesa
Identificación	:	94463480
Programa académico	:	Maestría en Seguridad y Defensa Nacionales
Tutor metodológico	:	TC ® Nicolas Antonio López Pulgarín
Tutor temático	:	Juan Camilo Urazán Chinchilla
Fecha de entrega	:	26 de agosto de 2025
Extensión	:	6608 palabras

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD Y CESIÓN DE DERECHOS

El autor declara que este artículo fue escrito de acuerdo con la normatividad de la Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto” (ESDEG) y no existe ningún potencial conflicto de interés relacionado con este. Las posturas y aseveraciones presentadas son resultado de un ejercicio académico e investigativo que no representan la posición oficial ni institucional de la ESDEG, las Fuerzas Militares de Colombia o el Ministerio de Defensa Nacional.

Este artículo es enteramente mi propio trabajo y no ha sido presentado para la obtención de un título en esta u otra Institución de Educación Superior. Se han referenciado todos los trabajos y puntos de vista de otros autores, así como los datos de otras fuentes utilizadas. No se emplearon herramientas de generación de contenido por Inteligencia Artificial para su elaboración.

El autor acepta ceder los derechos de publicación en favor de la ESDEG y su Sello Editorial de acuerdo con los términos de la licencia Creative Commons: [Reconocimiento-NoComercial-SinObrasDerivadas](#).

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

El autor autoriza que este artículo sea publicado por el Sello Editorial ESDEG en su repositorio institucional y esté disponible bajo una modalidad de [acceso abierto](#).

Aplicación de la inteligencia artificial en el control de tráfico marítimo: impacto en la seguridad integral marítima colombiana, caso de estudio Coveñas.

CCESP Julián Alejandro Salgado Mesa

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Nieto”

Resumen: en el presente trabajo se analiza como la inteligencia artificial puede contribuir al control del tráfico marítimo y aportar a la seguridad integral marítima. Usando para ello un enfoque descriptivo con elementos exploratorios, para ello se utilizaron estadísticas y documentos oficiales, recolección de información de campo de la Capitanía de Puerto de Coveñas que se identificó como punto estratégico para la exportación de hidrocarburos y tráfico de buques tanqueros de gran calado en Colombia. La caracterización de las capacidades expone limitaciones de procesamiento de información en tiempo real. La revisión científica permitió clasificar modelos de IA para la detección de anomalías y alerta temprana, con ventajas y retos éticos. Se concluye que la IA presenta alto potencial para optimizar la toma de decisiones en el control del tráfico marítimo, fortalecer la seguridad y cooperación internacional.

Palabras clave: Seguridad integral marítima, Securitización, poder marítimo, inteligencia artificial, DIMAR, Tráfico marítimo, amenazas emergentes.

Abstract: This paper analyzes how artificial intelligence can contribute to maritime traffic security. Using a descriptive approach with exploratory elements, used statistics and official documents, collecting field information from the Coveñas Port Authority, which was identified as a strategic exports and big vessel tankers traffic port in Colombia. The characterization of capabilities exposes limitations in real-time information processing. The

scientific review allowed us to classify AI models for anomaly detection and warnings, with ethical advantages and challenges. It is concluded that AI has great potential to optimize decision-making in maritime traffic control, strengthening security and international cooperation.

Keywords: maritime security, securitization, maritime power, artificial intelligence, DIMAR, maritime traffic, emerging threats.

1. Introducción

A lo largo de la historia, las grandes potencias han comprendido el uso estratégico del mar como medio para el desarrollo, la expansión comercial, el acceso a los recursos y la proyección del poder (Paine, 2014). Esta visión ha dado lugar a teorías geoestratégicas y doctrinas navales, siendo Alfred Thayer Mahan uno de los teóricos más influyentes. En “*The Influence of sea power upon History*” (Mahan, 1880) Él sostiene que el poder económico, político y militar de una nación depende de su capacidad para controlar el mar, enfatizando la importancia de las líneas de comunicación marítimas y la construcción de una marina poderosa (Jun, 2001; O'Lavin, 2009), identificando seis elementos fundamentales del poder marítimo, entre ellos la posición geográfica, la vocación marítima de la población y una política naval activa, destacando el caso británico como modelo de supremacía naval (Kennedy, 1974; Maurer, 2022; Kim, D. 2022; Zhao, 2023), sin embargo el escenario marítimo del siglo XXI nos lleva a reevaluar los postulados clásicos; las amenazas híbridas que combinan tácticas militares con ataques cibernéticos, desinformación y presión económica, han hecho mutar la esencia del poder naval (Bueger & Liebetrau, 2023). Casos recientes como las tensiones en el mar rojo (2024-2025) donde actores no estatales como los

Hutíes muestra que la supremacía marítima actualmente no depende únicamente de flotas navales poderosas (Rodríguez-Díaz , Alcaide, & García-Llave, 2024).

En contraste, Colombia ha mostrado históricamente una indiferencia hacia el mar como motor de desarrollo. Tras la independencia, la Armada Nacional fue desmantelada en 1830 por falta de recursos y apoyo político (Perez, 2023). Intentos posteriores de reorganización entre 1843 y 1886 fracasaron ante la inestabilidad política y las guerras civiles. La pérdida de Panamá en 1903 evidenció la ausencia de capacidades navales para ejercer soberanía y proteger los intereses nacionales (Crawford, 2013). La Armada solo fue restablecida de forma permanente en 1932 como respuesta a la guerra colombo – peruana (Ramírez-Cabrales et al., 2021).

No obstante, a partir de 2007 Colombia como estado evidencia un interés más definido por el mar, con la publicación de la Política Nacional del Océano y los Espacios Costeros (PNOEC), liderada por la Comisión Colombiana del Océano (González et al., 2021). Actualmente, el país avanza hacia una visión estratégica para considerarse como Potencia Bioceánica Sostenible al 2023, integrando desarrollo económico, sostenibilidad ambiental y seguridad nacional. Esta visión formalizada en la actualización de la PNOEC (Vicepresidencia de la República, 2018) y el documento CONPES 3990 de 2020 (Consejo Nacional de Política Económica y Social, 2020), los cuales estructuran los Intereses Marítimos Colombianos (IMC) como ejes de desarrollo.

La política marítima colombiana reconoce el valor geoestratégico del país, dada su condición bioceánica y su proximidad al Canal de Panamá (Jimenez, 1997). En este marco, se han definido once ejes estratégicos (Ramírez-Cabrales et al., 2021)

El impulso de estos ejes busca fortalecer actividades clave como el comercio internacional, la minería marina, la explotación de recursos energéticos costa afuera y la seguridad marítima, integrando la política marítima dentro del marco más amplio de la seguridad y defensa nacional, con el fin de proyectar a Colombia como actor regional desde el mar (Ramírez-Cabrales et al., 2021).

En ese sentido, el intercambio comercial por vía marítima es una actividad esencial para la economía global y representa la principal vía de exportación e importación para Colombia, con un aproximado del 98% de las exportaciones movilizadas en 2019 (DIAN, 2020). A pesar de su tradicional indiferencia al uso del mar, el país forma parte activa de los flujos logísticos internacionales, con puertos estratégicos como Cartagena, Buenaventura y Santa Marta. Por ejemplo, la Sociedad Portuaria de Cartagena, ha sido reconocida como una de las más eficientes de América Latina (Marulanda, 2025). El comercio marítimo colombiano promedia 135 millones de toneladas anuales, principalmente en petróleo y carbón, adicionalmente su aporte al PIB Nacional se aproxima a 13,6% (Ramírez-Cabrales et al., 2021).

Frente a amenazas como el narcotráfico, la piratería y el uso de buques con fines terroristas, potenciadas tras los atentados del 11 de septiembre de 2001, la Organización Marítima Internacional (OMI), adoptó en 2002 el Código Internacional para la Protección de los Buques y las Instalaciones Portuarias (PBIP) (Sosnowski et al., 2024). Este establece medidas obligatorias de seguridad, como planes de protección y designación de oficiales especializados, implementados en 174 para 2022 (OMI, 2022; de Larrucea, 2008).

La adopción global del PBIP es un caso ejemplar de securitización, concepto propuesto por la Escuela de Copenhague. Esta teoría formulada por Barry Buzan, Waever y Wilde, en el postulado sostienen que un asunto se convierte en un problema de seguridad cuando un actor legítimo lo declara una amenaza existencial y si es aceptada por una audiencia relevante, lo que habilita o justifica la adopción de medidas extraordinarias (Buzan et al., 1998; Otukoya, 2024). Esta perspectiva constructivista se aleja del modelo militar tradicional al ampliar el concepto de seguridad a otros sectores como el económico y el ambiental (Waever, 1995; Balzacq et al., 2015).

En Colombia, el control de las actividades marítimas está a cargo de la Dirección General Marítima (DIMAR), dependencia del Ministerio de Defensa que opera en coordinación con la Armada Nacional. DIMAR ejerce funciones como Estado Rector del Puerto, Estado de Abanderamiento y Estado Rivereno, según lo dispuesto en el decreto ley 2324 de 1984 (Presidencia de la Republica, 1984). DIMAR ha realizado inversiones importantes en tecnologías de señalización y monitoreo, alineadas con estándares internacionales como los de IALA (DIMAR, Plan Estratégico de Tecnologías de la Información , 2020), con ello incrementando el nivel de automatización en la vigilancia marítima.

Sin embargo, desafíos como el incremento del tamaño de los buques y el transporte de cargas peligrosas exigen reforzar las capacidades de seguridad integral marítima (Bonilla, 2015). En este sentido, la inteligencia artificial se presenta como una herramienta avanzada para optimizar la gestión de información mediante el análisis de variables normativas, estadísticas de siniestros, condiciones meteomarinas, zonas de alta sensibilidad ambiental, entre otras (Rodríguez, et al. 2016). Permitiendo apoyar la toma de decisiones en los canales

de navegación y líneas de tráfico marítimo, de esta forma aportando a la seguridad marítima nacional y a su vez a la seguridad nacional (Turedi & Ozer-Caylan, 2021).

Para alcanzar este propósito, se han formulado tres objetivos específicos, los cuales se presentan a continuación:

En primera instancia, se identificará cuál de los puertos colombianos con categoría de capitania de primer nivel (Cartagena, Coveñas, Buenaventura o Santa Marta) concentra el mayor volumen de exportación de hidrocarburos y el más alto tráfico marítimo de buques tanqueros de gran calado (Panamax, Aframax, Suezmax y VLCC) con base en las estadísticas oficiales de los años 2020 a 2023.

Como segundo objetivo específico se caracterizarán los componentes tecnológicos, humanos e incidentes ocurridos en una estación de control de tráfico marítimo en Colombia (Buenaventura, Cartagena, Coveñas), tomando como caso de estudio una capitania de primer nivel con operación frecuente de buques tanqueros de más de 60.000 toneladas de peso muerto (TPM o DW por sus siglas en inglés).

El tercer objetivo específico está encaminado en analizar como las aplicaciones de la inteligencia artificial sirven como herramienta de apoyo para el fortalecimiento de la seguridad marítima integral, con énfasis en la vigilancia, el control del tráfico, y la detección de actividades ilícitas en las áreas marítimas colombianas.

2. Metodología

La presente investigación tiene un enfoque cualitativo metodológico de tipo descriptivo con elementos exploratorios con triangulación de datos cuantificativos

(estadísticas oficiales) y cualitativos expresado en los resultados del cuestionario estructurado. La naturaleza exploratoria es justificada por la limitada investigación previa sobre la aplicación de la IA en el control del tráfico marítimo en Colombia; según Henández Sampieri (2006) los diseños transversales consisten en recolectar datos en un único momento temporal, para el presente caso siendo el periodo de 2020 a 2023.

Inicialmente, se desarrolló una investigación documental para identificar dentro de los puertos colombianos cuál con categoría de primer nivel concentra el mayor volumen de exportación de hidrocarburos en la modalidad de granel líquido y mayor tránsito de buques tanqueros de gran calado, entendiendo como gran calado buques con capacidad de carga superior a 60.000 toneladas de peso muerto (DWT). Para ello, se consultaron fuentes oficiales y normativa, destacando los boletines estadísticos de tráfico portuario publicados por la superintendencia de transporte (2021-2022) y las estadísticas anuales de transporte marítimo en Colombia de la Dirección General Marítima (DIMAR, 2022, 2023), el decreto ley 2324 de 1984 (Presidencia de la Republica, 1984), lineamientos de la política pública contenidos en el CONPES 3990 de 2020 (Consejo Nacional de Política Económica y Social, 2020), la Política Nacional del Océano y los Espacios Costeros (PNOEC), documentos técnicos de la Organización Marítima Internacional (OMI) y de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). El análisis permitió confirmar al puerto de Coveñas como el nodo logístico más relevante en términos de exportación de hidrocarburos líquidos, esto justificó su elección para la segunda parte del proceso investigativo.

Posteriormente, se desarrolló un instrumento de recolección de datos mediante cuestionario estructurado dirigido a la Capitanía de Puerto de Coveñas. El diseño del cuestionario siguió las siguientes etapas metodológicas

El diseño consistió en 12 preguntas cerradas de formato estructurado en cuatro dominios, como primer dominio la frecuencia operacional, segundo dominio los incidentes de seguridad y protección marítima, tercer dominio capacidades tecnológicas y finalmente recursos humanos. La selección se fundamentó en revisión de estándares IALA para sistemas VTS (IALA I. N., 2022), funciones como Estado Rector del Puerto y Estado riveroño. Este enfoque de caso único limita la generalización estadística a otras capitanías debido a que se tomó como referencia la poseedora de las más altas variables mencionadas anteriormente, pero permite la profundización analítica del caso mas critico desde la perspectiva de la seguridad al tráfico marítimo y el potencial de afectación.

La información obtenida fue suministrada de forma oficial por la Dirección General Marítima mediante oficio de respuesta No 19202500715 MD-DIMAR-CP09-ARAP radicado el 22 de mayo de 2025. Validando de forma oficial la información suministrada.

Para desarrollar el tercer objetivo, se realizó una revisión de literatura técnica y científica para identificar como la inteligencia artificial puede ser aplicada en el control del tráfico marítimo colombiano como herramienta de apoyo. Se consultaron publicaciones académicas indexadas en bases de datos como Multidisciplinary digital publishing Institute (MDPI), ScienceDirect, Elsevier y IEEE Xplore, así como documentos de ética y técnicos de organizaciones internacionales como la Organización Marítima Internacional (OMI) y la UNESCO, la investigación permitió clasificar las principales aplicaciones tecnológicas de la inteligencia artificial al control del tráfico marítimo como sistemas vigilancia marítima basados en machine learning, sistemas de análisis de comportamiento anómalo en señales de AIS, sistemas de alerta temprana mediante plataformas predictivas, se identificaron también

requerimientos estructurales operacionales y humanos necesarios para la implementación en Colombia.

Finalizando el proceso metodológico es importante exponer que el mismo presenta limitaciones inherentes a su diseño, ello se considera importante para una interpretación apropiada de los hallazgos, ellas son las siguientes:

Limitaciones de diseño muestral y replicabilidad: la investigación intencional en un puerto con mayores valores en ciertas variables limita la generalización estadística a otras capitánías debido a las diferencias contextuales entre jurisdicciones, sin invalidar la utilidad exploratoria de la investigación.

3. Primer objetivo: Identificación del puerto colombiano de primera categoría que concentra la mayor exportación de hidrocarburos y tráfico marítimo de buques tanqueros de gran calado (panamax, aframax, suezmax y VLCC) basado en estadísticas oficiales de los años 2020 a 2023.

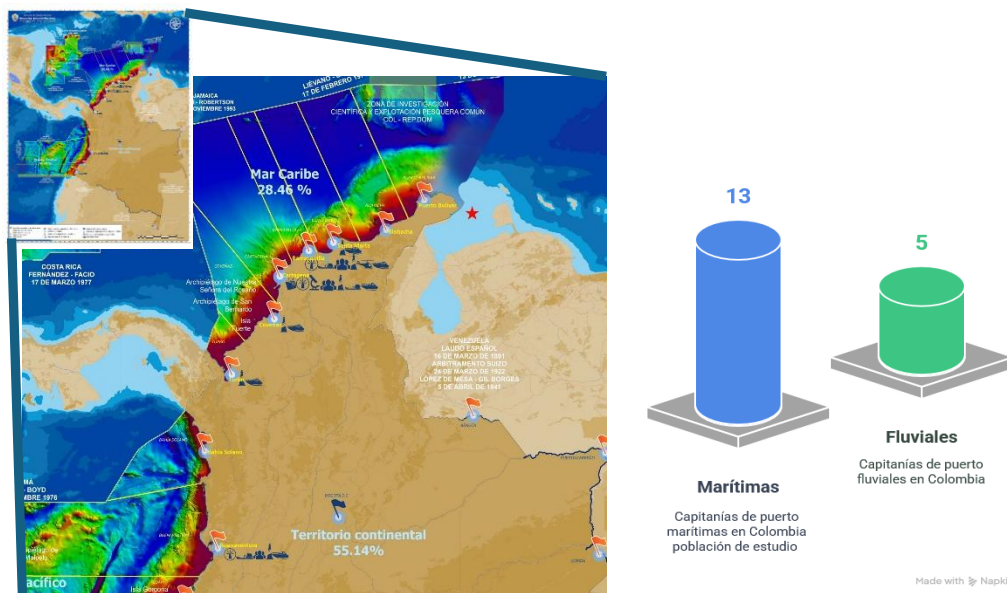
Desde la perspectiva de la Escuela de Copenhague y la securitización, la exportación de hidrocarburos en forma de granel líquido se aborda como una actividad estratégica de alta relevancia para la economía nacional (Flohr, 2025). Esta actividad representa una importante fuente de divisas para el país, por lo que cualquier afectación en la cadena de distribución tendría repercusiones significativas en los ingresos nacionales. En consecuencia, una interrupción en el sistema logístico o portuario de dicha actividad tendría un impacto considerable sobre la soberanía económica y financiera de la nación (UPME, 2015).

Igualmente, el arribo de buques tanqueros de gran calado representa un riesgo considerando las cantidades de hidrocarburos contenidas en buques tipo Panamax, Aframax, Suezmax y Very Large Crude Carrier (VLCC). Siendo que una sola contingencia tendría grandes consecuencias, no solamente desde la perspectiva económica sino ambiental (Bonilla, 2015), y en caso de ser causada por algún tipo de actor desestabilizador afectaría la imagen y confianza internacional de Colombia como un país con terminales confiables. En este sentido, identificar el puerto que concentra el mayor volumen de operación es una herramienta para la planificación y la gestión de los riesgos asociados. Este tipo de vulnerabilidad y condiciones se contextualizan dentro de las dinámicas geopolíticas contemporáneas, un ejemplo actual es el incremento de tensiones y amenazas a las rutas marítimas energéticas en el estrecho de Ormuz por donde transita el 21% del petróleo mundial con amenazas de cierre (Mazumdar, 2025), igualmente en el Mar Rojo se presentan ataques por actores no estatales que han causado cambios de rutas del 40% del tráfico en el sector desde 2023 (Yap & Yang, 2024).

3.1. Puerto con mayor exportación de hidrocarburos en granel líquido.

Para identificar el puerto colombiano con mayor volumen de exportación de hidrocarburos, se tomó como población de estudio el grupo de capitanías de puerto marítimas, considerando que las capitanías de puerto fluviales no registran movimientos relevantes de exportación de hidrocarburos, este enfoque nos permite analizar las jurisdicciones con litoral y puertos relevantes, cuya salida del crudo se realice hacia mercados internacionales.

Figura1. Población inicial de estudio, Capitanías de Puerto en Colombia



Fuente <https://www.dimar.mil.co/transparencia/informacion-general/capitanias-de-puerto> modificación propia

Una vez establecida la población inicial, se establecen criterios de exclusión basados en la pertinencia operacional, así: capitanías sin registro de exportación de hidrocarburos en granel líquido entre 2020-2023 como el caso de Puerto Bolívar que presenta una dominancia de exportación de carbón y casi nula de hidrocarburos en granel líquido, capitanías con vocación exclusiva de cabotaje, tráfico de contenedores y/o movimiento de carga general.

Dicho grupo reducido se clasificó en capitanías según el volumen total exportado, en millones de toneladas y calcular su participación relativa sobre el total nacional, los resultados evidencian una alta concentración de exportación en el puerto de Coveñas con un 79% del total, seguido por Cartagena con un 12,7 %, Santa Marta 4,8% Barranquilla 2,2% y

Buenaventura 1,3% (SuperTransporte, 2021, 2022). Estas cinco capitanías concentran la totalidad de exportaciones marítimas de hidrocarburos en modalidad granel líquido en Colombia, siendo nodos de operación con implicaciones directas en la seguridad energética y economía nacional. A partir de este grupo se continuará con el análisis comparativo de tamaño de buques que transitan por los mismos.

Figura 2. Capitanías de puerto en Colombia con mayor registro de exportación de hidrocarburos en granel líquido.

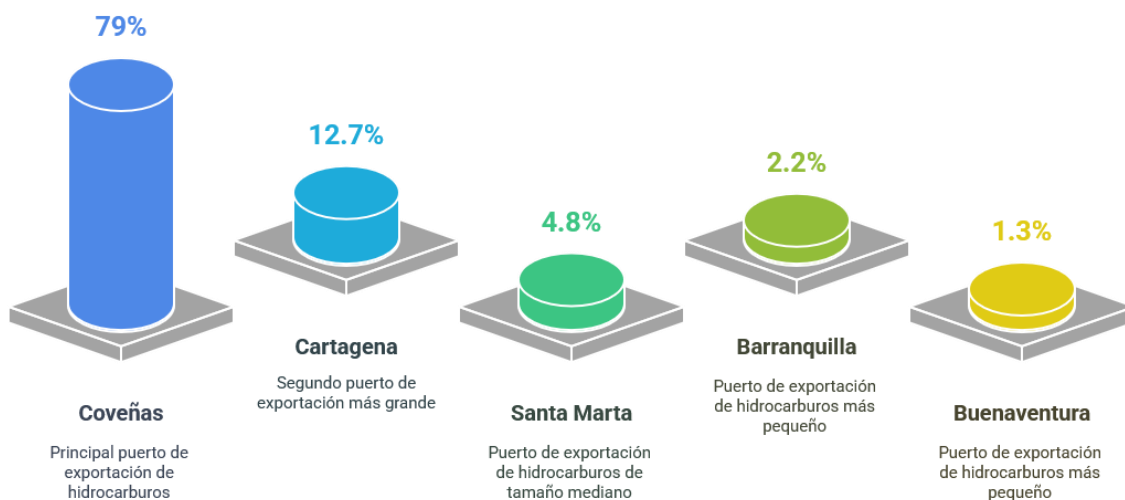


Imagen 2: elaboración propia. Fuente (Supertransporte 2021-2022)

3.2. Puerto con mayor tráfico marítimo de buques tanqueros de gran calado (superior a 60.000 DW)

Continuando con el desarrollo del segundo punto a desarrollar parte del primer objetivo, se abordó el comportamiento del tráfico marítimo relacionado con el flujo de tanqueros de gran calado, establecidos para el presente estudio como aquellos con una

capacidad mayor a 60.000 D.W, en los cinco puertos colombianos previamente identificados como principales sitios de exportación de hidrocarburos líquidos. En dicho grupo se analizó la frecuencia de tráfico de buques tipo Panamax, Suezmax, y VLCC (Very Large Crude Carrier), considerando que una sola afectación a este tipo de plataformas traería consecuencias graves al país y la logística del crudo debido a la alta capacidad de carga y eficiencia de costos en largas distancias.

A nivel mundial, existe una tendencia a la construcción de embarcaciones de mayor tamaño impulsado por factores como la economía y eficiencia de escala, igualmente por factores ambientales y logísticos. Según la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), la industria de construcción marítima y logística ha favorecido al gigantismo naval como estrategia para reducir costos por unidad de carga transportada. Acuerdo el documento de la CEPAL “desafíos portuarios que se mantienen” destaca que desde el año 2012 la flota mundial ha incrementado su capacidad nominal superior al crecimiento del comercio marítimo, reflejado en la oferta de buques más grandes y de puerto Hub como plataformas para la facilitación logística, esta tendencia también ha sido replicada en el uso de buques Suezmax, VLCC e incluso los Ultra Larga Crude Carrier (U.L.C.C) con una capacidad superior a los 320.000 DWT, con dimensiones de hasta 458 metros de eslora y 68 metros de manga y cuya maniobrabilidad es restringida en aguas poco profundas (González S et al., 2021).

El caso del tráfico marítimo en Colombia presenta extremos en este sector, pasando por capitánías con una vocación de cabotaje como una solución a una deficiente red vial, como es el pacífico colombiano y el otro extremo de grandes buques, como se manifiesta claramente en el puerto de Coveñas que lidera el número de operaciones de buques de gran

calado. Siendo así en 2022 se registraron 94 operaciones con buques Aframax, 94 Suezmax, y 16 VLCC, configurándose como el único puerto en Colombia en el que se registra arribos de buques VLCC para los años en estudio (DIMAR, 2023). Cartagena le sigue con un perfil más diverso en tipo de carga y buques que transitan, reportando arribo de 40 buques Aframax; cabe mencionar que los buques tanqueros de menor capacidad, es decir menores a 60.000 DWT, en Colombia, representan la predominancia del tráfico en este sector con un total de 56.2% manejando cifras de arribos principalmente en Santa Marta con 142, Cartagena 91, Barranquilla 87 y Buenaventura con 39 movimientos, representando volúmenes menores pero mayor frecuencia debido a la capacidad de carga total (DIMAR, 2022).

Figura 3. Capitanías de puerto con mayor tráfico de buques tanqueros de gran calado, datos por tipo de

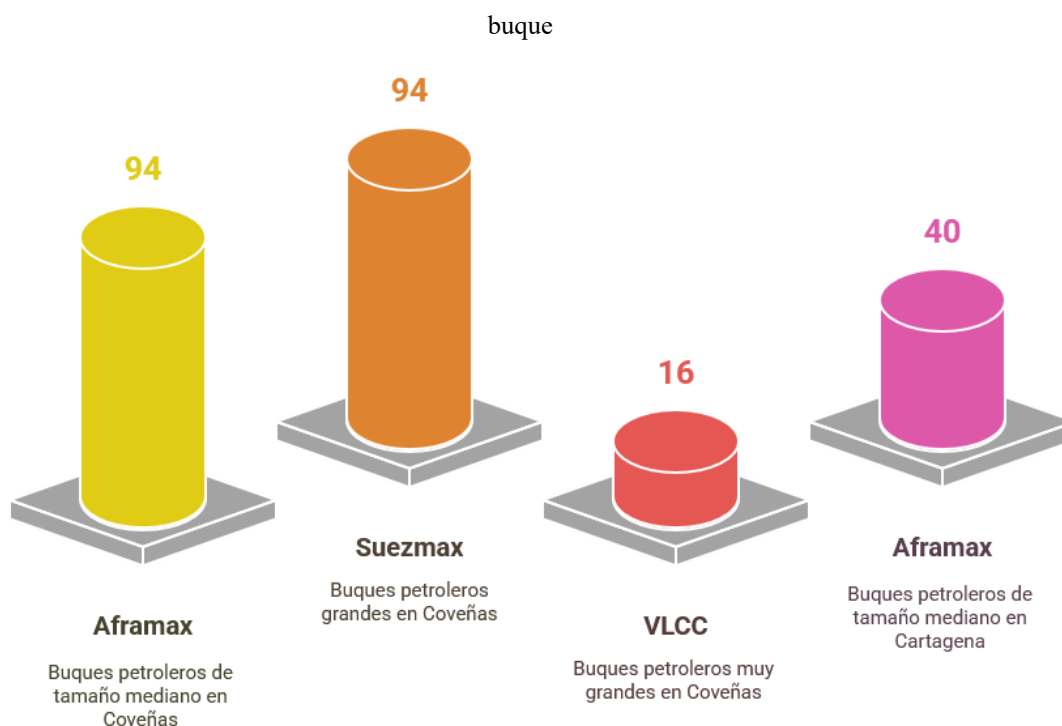


Imagen 3: fuente (Dimar, 2022) generado usando napkinIA

4. Segundo objetivo: caracterizar el componente, tecnológico, humano e incidentes de tráfico marítimo en la estación de control de tráfico marítimo en Coveñas.

Análisis de la situación actual del control del tráfico marítimo en la jurisdicción colombiana de Coveñas, identificando incidentes de seguridad marítima y portuaria en buques de gran calado (≥ 60.000 DWT) durante el periodo 2020-2023, para evidenciar oportunidades de mejora.

4.1. Situación actual del control de tráfico marítimo en Coveñas.

La Capitanía de Puerto de Coveñas, dependencia de la Dirección General Marítima (DIMAR), ejerce control sobre la principal zona de exportación de petróleo en forma de granel líquido en Colombia, donde el tráfico marítimo de buques de gran calado que transportan dicho material posee alta frecuencia. Según la información oficial suministrada en el cuestionario realizado, entre 2020 a 2023 arribaron en dicha jurisdicción un total de 902 motonaves de gran calado para operaciones de toma de dicho granel, lo que refleja el considerable tránsito con su potencial de riesgo asociado a la actividad del comercio del petróleo.

De acuerdo con lo informado en el cuestionario, durante dicho periodo no se registraron sucesos o incidentes de protección relevantes ni casos de deriva, pérdida de gobierno o detenciones preventivas por presentar riesgo para la navegación en buques de bandera extranjera. Misma forma, las verificaciones realizadas por el Estado Rector del Puerto Colombiano no arrojaron evidencia de situaciones o sistemas que presentaran peligro que debieran ser subsanados previo a zarpe del puerto en mención. Este tipo de gestión

evidencia una adecuada disciplina y cumplimiento de la normativa internacional vigente al arribar a la zona.

4.2. Riesgos potenciales en actividades marítimas.

Se reporta dos eventos menores, el primero el 10 de noviembre de 2020, cuando un buque de bandera liberiana durante una operación de desconexión de mangueras de la terminal de cargue en la TLU2 (Tanker Loading Unit), presentó una iridiscencia generada por la pérdida de contención de medio litro de residuo oleoso, el cual fue detectado y corregido de inmediato por buzos especializados, sin que generara afectaciones ambientales significativas. El segundo está asociado a un daño de infraestructura de muelle sin afectación a la dinámica económica o medio ambiental, por lo tanto, no es objeto del presente estudio.

Aunque los incidentes reportados no presentaron impacto relevante en el ecosistema o la economía nacional, es importante considerar el potencial destructivo que podría desencadenarse en caso de materializarse un siniestro de gran magnitud. Según la Organización Marítima Internacional, los buques tanqueros transportan grandes cantidades de hidrocarburos (OCIMF, 2018), que, en caso de un derrame, pueden generar efectos devastadores sobre ecosistemas marinos y costeros, afectando directamente la biodiversidad, la pesca y la seguridad alimentaria de las comunidades ribereñas (Kapila & Sidhu, 2021).

La literatura especializada destaca que el control del tráfico marítimo es una actividad crítica para la seguridad integral marítima, ya que permite supervisar, prevenir y mitigar incidentes que podría derivar en desastres ambientales, pérdidas humanas y daños a la infraestructura portuaria (Sluiman & de Koning, 2010). En puertos como Coveñas, donde la

operación de terminales petroleras es constante, la prevención cobra un alto valor, pues la zona representa un punto de estrangulamiento para la economía colombiana.

4.3. Herramientas y sistemas actuales de control y medidas preventivas.

Para el control del tráfico marítimo en la Capitanía de Puerto de Coveñas cuenta con una estación de control con un radar TERMA y un sistema de AIS SAAB adquiridos en 2017, así como radios VHF ESPECTRA y VHF TAIT para la comunicación con los buques y posee una señalización marítima con alto estándar tecnológico que cumple con los requisitos internacionales de la IALA (DIMAR, 2023), igualmente la estación de control de tráfico marítimo cuenta con 9 funcionarios capacitados en el manejo de los sistemas con un nivel de inglés que oscila entre el nivel A1 hasta C1, siendo un parámetro por mejorar considerando que las comunicaciones marítimas se realizan en dicho idioma, acuerdo lo respondido en el cuestionario planteado (DIMAR, 2025); aunque los equipos y capacitación del personal permiten tener una cobertura adecuada de las operaciones, presentan limitaciones para procesar la información generada en tiempo real, sobre todo en la identificación y correlación de variables que pueden representar riesgos, como cambios inesperados de rumbo, velocidad, perdidas transmisión en sistemas, alarmas o llamados de alerta repentinos.

5. Tercer objetivo: aplicar la inteligencia artificial como herramienta de apoyo para el fortalecimiento de la seguridad marítima integral marítima retos y potencial.

Mediante revisión documental realizada haciendo énfasis en casos con complejidades para la gestión del tráfico marítimo como zonas de estrangulamiento marítimo o canales con acceso complejo, se halló tres líneas importantes de aplicación para la gestión de este,

igualmente contrastando la información con el segundo objetivo se reconocieron retos para la implementación y potencial de aplicación.

5.1 Aplicaciones de la inteligencia artificial en control de tráfico marítimo

El tráfico marítimo y su gestión ha quedado en medio de tensiones geopolíticas, con la denominada “guerra arancelaria” el comercio marítimo ha sido impactado, esto sumado a los bloqueos y/o afectaciones provocadas por dichas tensiones, como en el caso del estrecho de Bab el- Mandeb, donde los buques de carga y tanqueros han sido objeto de ataques por parte de los rebeldes Hutíes, sumado a ataques piratas provenientes mayormente de Somalia (Rodríguez-Díaz, Alcaide, & García-Llave, 2024). Otro caso actual son las tensiones en el medio oriente, especialmente el conflicto entre Israel e Irán, el cual ha puesto en riesgo de bloqueo el tráfico marítimo en el estrecho de Ormuz que es catalogado por La Administración de Información Energética de Estados Unidos (EIA) como “el punto de estrangulamiento del tránsito de petróleo más importante del mundo”, esta situación ha representado un reto tanto para las navieras, como para los estados rivereños de la zona, en búsqueda que el tráfico marítimo en el sector sea seguro (Mazumdar, Cómo el conflicto Israel-Irán amenaza el estrecho de Ormuz, 2025); la implementación de IA en control de tráfico marítimo presenta implementación que ofrecen lecciones para Colombia, en Alemania, el proyecto LEAS (AI – based decision support for VTS) desarrollado entre 2019-2022 integró algoritmos de machine learning en VTS para detectar anomalías en tiempo real logrando reducir 23% la carga cognitiva de operadores y mejorar en 18 % el tiempo de respuesta ante situaciones críticas (Stach & Koch, 2025).

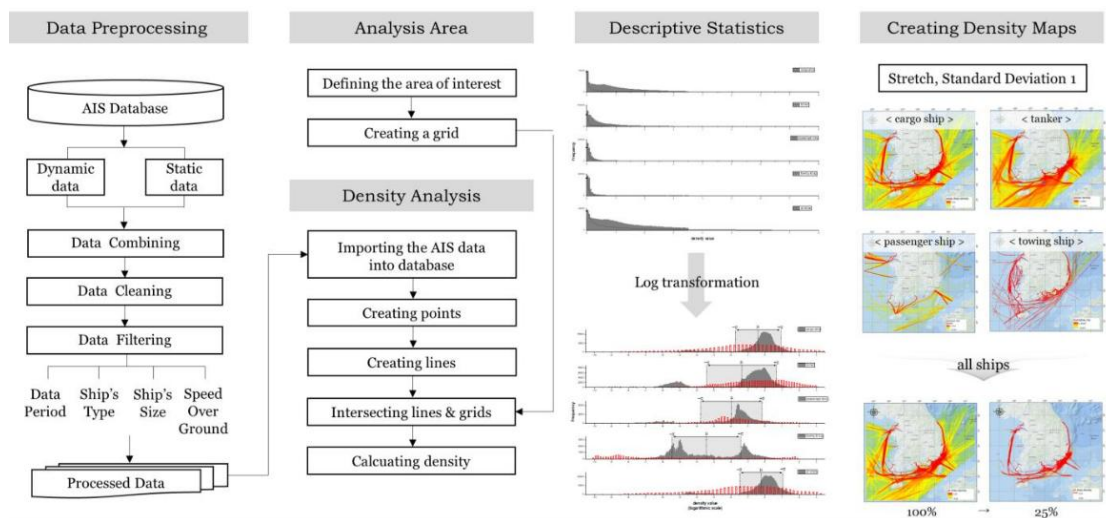
Los mencionados son casos en los que se enfoca la securitización y el desarrollo tecnológico para proteger la actividad de tráfico marítimo; a continuación, se exponen las líneas de uso de la inteligencia artificial para el control del tráfico marítimo.

5.1.1. Vigilancia y monitoreo

Las estaciones de tráfico marítimo son parte de la presencia y control efectivo que ejerce el estado en aguas interiores, mar territorial y zonas portuarias, acuerdo al derecho internacional (CONVEMAR, 1982, art 2 y 21). Actualmente los sistemas de vigilancia y monitoreo en Colombia están soportados en radares de vigilancia, sistema de AIS, comunicaciones radiales, sistemas de cartas electrónicas, información o avisos que se suministran parte de convenios internaciones, sistemas que son administrados y operados por personal controlador de tráfico marítimo, los cuales basan en su experticia y los sistemas a su disposición que información se procesa y cual se descarta. Como ya se ha mencionado a lo largo del presente documento, en este tipo de tareas es donde la inteligencia artificial muestra gran utilidad permitiendo automatizar la detección de anomalías como la vigilancia de zonas de fondeo, canales de acceso y pasos restringidos, y actividades o comportamientos anómalos en trayectoria de esta forma aligerando la carga cognitiva de los operadores, mejorando la seguridad debido al procesamiento de gran volumen de información, habitualmente las anomalías que se buscan detectar en el control del tráfico marítimo son: desviaciones cinemáticas, desviaciones de ruta, riesgos de colisión, ingresos a áreas restringidas y anomalías de datos (Stach et al., 2023); acuerdo la investigación realizada los VTS que poseen integrado el sistema de procesamiento de datos y fusión (IALA I. N., 2022), utilizan acuerdo (Stach et al., 2023) las siguientes técnicas para la detección de anomalías marítimas:

Estadística descriptiva: este proceso se basa en el análisis de datos como, posición, velocidad, rumbo, hora de envío, generando información del comportamiento de cada contacto, permitiendo el manejo de gran volumen de información, siendo útil para la detección de anomalías que se desvían significativamente de la media, utilizando para ello medidas como la desviación estándar y la distancia de la media, actualmente los VTS que utilizan este tipo de proceso alimentan el modelo de IA por medio de información AIS, alimentando algoritmos de predicción de trayectorias y detección de anomalías, este tipo de proceso posee limitaciones para detectar patrones complejos o no lineales, sin embargo es uno de los más usados debido a la fácil comprensión del producto final (Kim et al., 2022).

Figura 4. Flujograma del análisis de densidad del tráfico marítimo con fuente AIS, mediante estadística descriptiva



fuelle: (Kim et al., 2022).

Procesos estocásticos: estos procesos modelan el comportamiento del tráfico como procesos aleatorios permitiendo detectar desviaciones reversibles a una media esperada,

siendo útiles para manejar la incertidumbre, secuencialidad temporal y estabilidad de trayectorias, bajo este tipo de proceso los modelos más aplicados a VTS son

Modelo de Markov: describe un sistema cuya proyección depende del estado actual no de la historia o comportamiento previo, son aptos para el análisis de movilidad y predicción, aunque no modelan dependencia de largo plazo más allá de las variables del momento (Pallota et al., 2023).

Modelos Bayesianos: estos modelos emplean el modelo de Bayes para actualizar la probabilidad de eventos, interactuando la información nueva con la preexistente, teniendo como ventaja la integración de información de múltiples fuentes como AIS, radas, sensores optrónicos, etc. Con ello permitiendo una evaluación continua de la incertidumbre integrando múltiples fuentes de datos (lo cual incluye normativa), este tipo de modelo facilita capas para la toma de decisiones desde lo táctico, operacional, hasta estratégico requiriendo el manejo intensivo de datos (Yu et al., 2021).

Modelos Ornstein-Uhlenbeck (OU): se trata de un modelo estocástico continuo de tipo gaussiano y markoviano reversión a la media, siendo usado en aplicaciones al tráfico marítimo, para predecir posiciones de embarcaciones en rutas recurrentes y detectar cambios en la media de largo plazo; permitiendo la detección de cambios anómalos en velocidad y dirección, presentando debilidad en la detección de cambios abruptos o no gaussianos (Coscia et al., 2018).

Clustering o agrupamiento: este tipo de proceso que agrupa datos similares ya sea en tipo de buque, trayectorias y velocidades identificando patrones regulares y las anomalías se detectan en datos que no pertenezcan a los grupos, siendo muy útil para identificar rutas o

zonas no supervisadas habitualmente (Mou et al., 2024), en la investigación se hallaron 5 metodologías de clustering, a saber:

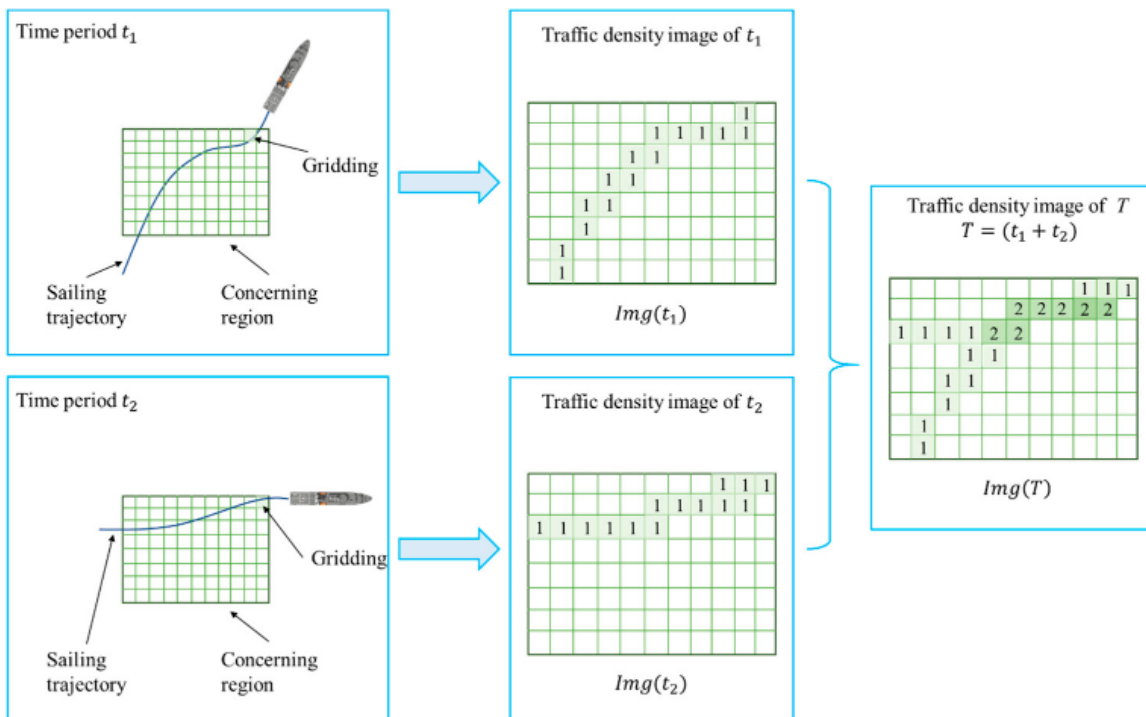
DBSCAN: esta metodología incorpora la distancia de Mahalanobis, permitiendo considerar correlaciones entre puntos de trayectoria. Automatizando la selección de parámetros como MinPts y Eps, mostrando mejoría en la detección de rutas y anomalías en información suministrada por AIS (Han, Armenakis, & Jadidi, 2021).

Clustering espacial y de trayectorias: esta metodología desarrolla un enfoque para identificar las rutas repetitivas, combinando modelos basados en distancia y estimación de similitud (Abuella et al., 2024).

Extracción de rutas estándar mediante clustering iterativo: esta metodología extrae rutas marítimas desde la información de AIS basado en densidad, agrupando trayectorias según puertos de origen y destino (Corvino et al., 2024).

Clustering vía imágenes de densidad de tráfico: básicamente transforma los datos AIS o de otro tipo de fuente en imágenes que reflejan densidad, extrayendo regiones de alta densidad, este método resulta útil para la toma de decisiones de carácter estratégico y operacional (Mou et al., 2024).

Figura 5 Ilustración de la construcción de una imagen de densidad de tráfico marítimo mediante clustering



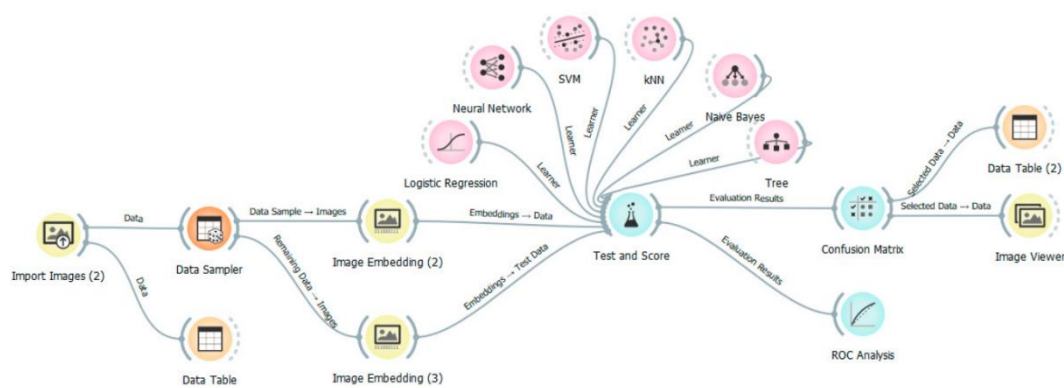
Fuente: (Mou et al., 2024).

Clustering en línea adaptativo: este método tiene como característica el reconocimiento de patrones en línea que comprime, particiona y agrupa datos AIS en tiempo real. Este sistema adapta los patrones antiguos y genera nuevos conforme cambia el entorno del operacional, La combinación de clustering con técnicas de IA ofrece soluciones robustas para supervisión en tiempo real (Zhang & LI, 2022).

Machine Learning supervisado: se trata del uso de modelos basados en algoritmos los cuales son entrenados para distinguir entre un comportamiento normal y anómalo, los algoritmos usados son: arboles de decisión, Random Forest, K-NN, Support Vector Machine (SVM), el hecho que tengan la capacidad de ser entrenados les da adaptabilidad a muchos

tipos de ambientes, pero requieren que sean etiquetados, permitiendo entrenar los modelos para evaluar nuevos casos en tiempo real (Karna et al., 2025), estos sistemas pueden ser alimentados por varias fuentes como radares, sensores optrónicos, permitiendo detección automática y explicación de eventos atípicos (Stach et al., 2023), permitiendo automatizar la vigilancia y detección de incidentes, reduciendo la carga operativa en zonas críticas y con alta densidad de información como canales, estrechos (Kumar & Heymann, 2020).

Figura 6. Flujo de trabajo asociado a la comparación entre diferentes algoritmos de machine learning, generado con “Orange data mining tool”



Fuente (Karna et al., 2025)

Redes Neuronales (NN): estas incluyen redes neuronales recurrentes, especialmente las Long Short Term Memory (LSTM), las cuales son diseñadas para trabajar con datos secuenciales y poseen la ventaja de detectar patrones complejos, no lineales y procesar secuencias de datos AIS, sin embargo, requieren mucha capacidad computacional (Gan et al., 2025).

Sistemas basados en reglas: este tipo de proceso funciona mediante hechos y reglas lógicas las cuales se extraen y operacionalizan desde la normativa vigente como el reglamento internacional para prevenir abordajes en el mar (COLREG) o la normativa

marítima nacional vigente siempre y cuando sea bien parametrizados, transformando prescripciones humanas en variables evaluables (Constapel & Koch, 2022), este tipo de aplicación de la IA monitorea reglas, genera puntos de ruta conformes y control trayectorias con control predictivo, logrando alta seguridad y cumplimiento normativo (Krasowski et al., 2025), sin embargo para este tipo de proceso modelar la incertidumbre aun es un desafío (Constapel & Koch, 2022).

Técnicas híbridas y otras: son sistemas que combinan diversas fuentes de datos como AIS, video y sensores oprónicos con diversos algoritmos de aprendizaje automático e inteligencia de datos, soportando la toma de decisiones en tiempo real (Stach et al., 2023); este tipo de arquitecturas permite la integración de sistemas como el Graph Neural Networks (GNN), modelos de fusión multimodal y modelos híbridos de asistencia de riesgo (Balas & Balas, 2025), permitiendo al operador identificar comportamientos inusuales, anticipar trayectorias y emitir alertas en tiempo real (Stach & Koch, 2025).

5.1.1.1. Casos comparativos de implementación internacional

La eficiencia de las técnicas de IA mencionadas depende del contexto operacional, a continuación, se mencionan, áreas marítimas, tipo de modelo usado y resultados obtenidos:

En zona costera del Norte de Europa, específicamente en el Mar del Norte entre Alemania y países Bajos fue puesto a prueba modelo basado en redes neuronales artificiales (ANN), en búsqueda de detectar apagados intencionales de AIS y fallos de transmisión, con una precisión del 99,9%, con detección en un periodo de microsegundos las anomalías (Kumar & Heymann, 2020).

En el mar del Norte y Báltico, específicamente en Dinamarca se empleó modelo basado en red neuronal recurrente LSTM por parte de la Autoridad Marítima de Dinamarca (DMA), el modelo ayudo a incrementar la precisión de trayectorias hasta en 3 horas frente a modelos clásicos, aportando a la mejora de la seguridad y soporte a las decisiones VTS y reducción de colisiones por maniobras inesperadas (Capobianco et al., 2021).

En el Canal del Suez en 2024 se utilizo un modelo de dos etapas, la primera con imágenes satelitales y la segunda etapa con redes neuronales recurrentes LSTM realizando análisis del comportamiento del tráfico marítimo en tres tramos del canal (stretch 1, 2 y 3 en un tramo de 85 km) y comparándolo con otros modelos hubo una reducción de estimación del trafico en un 21% respecto a métodos estadísticos (Budiman, 2024)

5.1.2. Sistemas de alerta temprana.

Acuerdo los guías de la International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities (IALA), los VTS se consideran como un sistema de alerta en casos como la prevención de colisiones, varaduras, derivas en fondeo, ingreso no autorizado a zonas protegidas, condiciones meteorológicas adversas, detección de anomalías como rutas anormales, comportamientos irregulares, perdida de señal AIS (IALA, 2022). Especificando en sus guías que la fusión y seguimiento de datos deben permitir predecir comportamientos futuros y advertir de riesgos antes que sucedan (IALA, 2022).

Cada uno de los escenarios mencionados presentan un prisma de aplicaciones que pueden ser enfocadas al objetivo deseado, el caso de la prevención de colisiones por condiciones adversas requiere datos de alta calidad, y pueden ser usados sistemas predictivos

que combinen información de radar, AIS GPS e imágenes satelitales (Fujitsu Limited ; Japan Coast Guard, 2021).

La identificación de fondeo ilegal en áreas ambientalmente protegidas o de acceso restringido y la pérdida de gobierno, pueden requerir de la integración de sensores optrónicos, imágenes satelitales u otros medios de detección para integrar la información, debido a que suele ocurrir que este tipo de conductas son realizadas en embarcaciones pequeñas, este proceso requiere articulación con Guardacostas o Armada Nacional (Raynor et al., 2025).

La conducta de apagar, manipular, suplantar el AIS para realizar transbordos no declarados o desviar rutas se denomina “dark shipping”, este tipo de actividades erosionan la seguridad marítima, el comercio legal y debilita el ejercicio de autoridad (Stach et al., 2023), el seguimiento y mejora en la detección de estas conductas son posibles de realizar con un manejo robusto de datos de trayectorias, eventos, datos de AIS, radar y sensores satelitales (Wolsing et al., 2022), en este caso Wolsing propone una arquitectura de técnicas de capas y flujos, pasando por capa de adquisición, verificación de calidad de datos, capa analítica, capa de fusión de sensores y capa de decisión; siendo actualmente de las técnicas más eficientes para la detección, aunque se encuentra en proceso de mejoras y calibración (Galdelli et al., 2021).

5.2. Potencial de aplicación operacional y cooperación internacional.

La literatura actual demuestra con hallazgos que la IA está impactando positivamente la vigilancia, predicción de eventos y sistemas de alerta temprana marítima, siendo optimas estas herramientas ante el creciente tráfico tanto en frecuencia como en tamaño de los buques lo cual incrementa el riesgo, aprovechar las ventajas que ofrece al IA con el manejo de datos

optimiza la productividad de los operarios de tráfico marítimo a bordo de los VTS (Riga et al., 2020), cuya función internacionalmente está enmarcada en el capítulo V, del convenio SOLAS, regla 12, siendo un esfuerzo del Estado Ribereño para la seguridad de la vida humana en el mar y la eficiencia de la navegación dentro del mar territorial. Este ejercicio de Estado hace parte de la soberanía impactando positivamente el componente del dominio marítimo del estado, para el caso de la optimización operacional el componente de la información manejada en los VTS podría representar una capa importante de información, de un sistema de información mayor de carácter de seguridad nacional (Okafor-Yarwood et al., 2024).

Por el ámbito diplomático, poseer una plataforma robusta de manejo de datos marítimos apoyaría la cooperación internacional en el intercambio o suministro de datos a países de la región preservando la confidencialidad de datos, fortaleciendo la gobernanza y optimizando los esfuerzos estatales para tener mares seguros en la región (Okafor-Yarwood et al., 2024).

5.3. Retos para la implementación de herramientas basadas en IA para los VTS

5.3.1. Optimización.

la implementación de sistemas de VTS soportados por IA promete impactar positivamente la conciencia situacional, acelerando tiempos de respuesta, manejo de la información, sin embargo, para una implementación existen dos componentes tanto importantes como críticos, la estandarización de la información suministrada por los sensores y la formación del componente humano (IALA, 2022).

En el componente de optimización y estandarización de datos, pasan por la arquitectura de sensores, requiriendo que la información y la cadena de procesamiento estén ajustados a condiciones locales como batimetrías, información meteorológica, corrientes, mareas, configuración del área; igualmente a la calidad del dataset que alimentaría la IA, el proyecto alemán LEAS entre 2019-2022 enfrentó incompatibilidad entre radares y procesadores de datos, necesitando 14 meses y 2.3 millones de euros adicionales para integrar la información a un middleware de integración, siendo necesario un trabajo detallado de interoperatividad pre-adquisición (Motz, 2022). Igualmente se encuentra la vulnerabilidad de jamming, la seguridad y ciberseguridad, al igual que la fatiga por alertas, siendo necesario determinar jerarquías entre las alertas de situación, para ello IALA recomienda establecer umbrales configurables, para evitar notificaciones excesivas evitando la falla del operador de tráfico, cuya información o alerta debe ser validada por el operador (Wu et al., 2023).

por el componente humano IALA en su guía G1110, establece que el soporte del operador de tráfico no es sustituible por la IA, pero si los amplifica, siempre y cuando posean competencias técnicas de VTS y de manipulación e interpretación de la información suministrada por la IA, igualmente la gestión de la fatiga y una formación ética integral debido a la sensibilidad de la información (Dzindolet et al., 2022).

5.3.2. Consideraciones éticas.

El sistema internacional en cabeza de la UNESCO ha emitido el documento *recomendación sobre la ética de la inteligencia artificial 2021*. Estableciendo un marco normativo que busca promover el uso responsable de la IA bajo los principios de protección de los derechos humanos, la transparencia y la rendición de cuentas, los cuales son

completamente aplicables a VTS por ser un sistema perteneciente a los estados y sus funciones (UNESCO, 2021). Este marco normativo busca entre otros proteger la privacidad de los individuos, debido al uso de sistemas pueden obtener información personal o sensible de tripulaciones, cargamentos o patrones de navegación, según IALA (2022), esto se mitiga con protocolos de seguridad cibernética robustos. Igualmente se puede presentar sesgos algorítmicos con el riesgo del trato desigual o sesgado a ciertos tipos de buques o banderas, este fenómeno ha sido documentado en otros contextos de IA (Mehrabi et al., 2021).

Lo expuesto nos lleva a la reflexión en que la transparencia es esencial para generar confianza, legitimidad y peso probatorio a la información que suministra la IA, enfatizando en el principio de la explicabilidad, como respaldo de la toma de decisiones que pueden llevar a consecuencias legales y por el contrario siendo un soporte técnico ante dichas situaciones, esto tiene implicaciones en derechos como la libertad de navegación, presunción de inocencia entre otros, por eso modelos de IA con alta tasa de falsos positivos puede traer consigo el entorpecimiento de las operaciones o la puesta en duda de la legitimidad de la autoridad (Jobin, Lenca, & Vayena, 2019).

6. Conclusiones.

El control del tráfico marítimo en el mar territorial y la zona contigua constituye una manifestación del ejercicio de soberanía, siendo un eslabón importante en la seguridad económica del país por garantizar la protección de las líneas de comercio marítimo, indispensables para el intercambio comercial, dinamizando la económica nacional, a continuación, se enlista las conclusiones del presente trabajo:

6.1. Concentración estratégica de recursos energéticos para su exportación en Coveñas.

La concentración de la exportación de hidrocarburos en Coveñas representa una decisión estratégica que está acorde con la tendencia al crecimiento del tamaño de los buques que transportan dicho recurso, además que articula la seguridad estratégica nacional con la proyección comercial del país, actuando como nodo logístico crítico donde convergen las líneas de transporte de hidrocarburos provenientes de los campos de extracción hacia el sistema de exportación marítima.

6.2. Securitización del control del tráfico marítimo

Colombia ha securitizado la gestión del tráfico marítimo al centralizar las competencias en la Armada Nacional y la Dirección General Marítima, ambas orgánicas del Ministerio de Defensa Nacional. Este modelo responde al enfoque de seguridad integral marítima, donde el control del tráfico marítimo no se limita a la regulación náutica, sino que se proyecta como un instrumento del ejercicio de soberanía en las aguas colombianas, siendo un instrumento de protección, disuasión estratégica y control de actividades ilícitas en el mar territorial y la zona contigua.

6.3. Ecosistema funcional y eficiente enfocado en el control no predictivo

el sistema colombiano de control del tráfico marítimo VTS está caracterizado por ser eficiente operativamente, realizando control, supervisión, administración y cumplimiento normativo contando para ello con infraestructura, sistemas y procedimientos interoperables, sin embargo, actualmente no posee un enfoque predictivo, IALA recomienda la adopción de

Decision Support Tools (DST) y modelos de detección de anomalías que permitan transitar a un control predictivo. Implementar este tipo de sistema implica incorporar algoritmos capaces de detectar desviaciones de trayectorias, comportamientos inusuales, apagados de AIS deliberados, integración de otros sistemas alternos y riesgos de colisión antes que se materialicen, potenciando el protagonismo del VTS como un sistema de alerta temprana ante incidentes, actividades ilícitas o sospechosas.

6.4. Potencial para anticipar y mitigar amenazas en el dominio marítimo

Diversos modelos de IA como las redes neuronales LSTM, algoritmos de clustering espacio temporal, análisis estadístico de patrones AIS, han demostrado eficiencia en predicción de trayectorias y detección temprana de anomalías en el tráfico marítimo. Sin embargo, la implementación y que modelo se adapte a los requerimientos depende directamente del contexto operacional de la zona o el interés, la calidad y diversidad de los sensores a información que va a alimentar el modelo.

La presencia de amenazas transnacionales como el contrabando, la pesca ilegal, el narcotráfico, la trata de personas, tensiones diplomáticas regionales, actividades que emplean el entorno marítimo ya sea para transitar, camuflarse o como medio de presión, plantea la necesidad de implementar tecnologías que permitan detectar, anticipar y mitigar riesgos. En este contexto la IA aplicada al control del tráfico marítimo represente una oportunidad para fortalecer la seguridad integral marítima. Su adopción se alinea con estándares IALA; aportando al ecosistema tecnológico de defensa marítima, capaz de responder de manera anticipada y ética a las amenazas que comprometen la soberanía, la economía y la seguridad integral marítima del país.

Referencias

- Abuella, M., Atoui, M., Nowaczyk, S., Johansson, S., & Faghani, E. (2024). Spatial Clustering Approach for Vessel Path Identification. *IEEE Vol 12*.
doi:<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3399116>
- Balas, E., & Balas, C. (2025). Maritime Risk Assessment: A Cutting-Edge Hybrid Model Integrating Automated Machine Learning and Deep Learning with Hydrodynamic and Monte Carlo Simulations. *Journal Marine Science Engeneering* .
doi:<https://doi.org/10.3390/jmse13050939>
- Balzacq, T., Léonard, S., & Ruzicka, J. (august de 2015). "securitization" revisited: theory and cases . doi:<https://doi.org/10.1177/0047117815596590>
- Bonilla, A. (2015). Vertido de hidrocarburos . *Universidad de la laguna* . Obtenido de <http://riull.ull.es/xmlui/handle/915/860>
- Budiman, J. (02 de 2024). *MIT libraries*. Obtenido de <https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/153995>
- Bueger, C., & Liebetrau, T. (2023). Critical maritime infrastructure protection: What's the trouble? *ELVEVIER*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.marpol.2023.105772>
- Buzan, B., Waever, O., & de Wolde, J. (1998). *SECURITY. a new framework for analysis*. London: Lynne Rienner Publishers.

- Capobianco, S., Millefiori, L., Forti, N., Braca, P., & Willett, P. (2021). Deep Learning Methods for Vessel Trajectory Prediction based on Recurrent Neural Networks. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 57,. doi:doi:10.1109/TAES.2021.3096873
- Consejo Nacional de Política Económica y Social. (31 de march de 2020). Documento CONPES 3990. Bogotá D.C. Obtenido de <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3990.pdf>
- Constapel, M., & Koch, P. (2022). On the implementation of a rule-based system to perform assessment of COLREGs onboard maritime autonomous surface ships. *Journal of Physics Conference Series*. doi:DOI:10.1088/1742-6596/2311/1/012033
- CONVEMAR. (1982). *Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar*. Obtenido de https://www.un.org/Depts/los/convention_agreements/texts/unclos/convemar_es.pdf
- Corvino, M., Daffina, F., Francalanci, C., Giacomazzi, P., Magliani, M., Ravanelli, P., & Stahl, T. (2024). *A Methodology to extract Geo-Referenced Standard Routes from AIS Data*. ITADATA2024: the 3rd Italian conference on Big Data and Data Science. Obtenido de <https://arxiv.org/html/2503.22734v1>
- Coscia, P., Braca, P., Millefiori, L., Palmieri, F., & Willett, P. (2018). Unsupervised Maritime Traffic Graph Learning with Mean-Reverting Stochastic Processes. *NATO-STO Centre for Maritime Research and Experimentation (CMRE)*. Obtenido de <https://piurilabs.di.unimi.it/Papers/fusion2018.pdf>

Crawford, S. (2013). Panama Fever: Colombian fears of secession on San Andrés and Providencia Islands, 1903-1913. *the Global South* , 15-38.

doi:<https://doi.org/10.2979/GLOBALSOUTH.6.2.15>.

de Larrucea, J. R. (2008). International ship and port facility security and port facility assessment (ISPS code) . doi:<https://doi.org/10.1080/09733150903122057>

DIAN, D. d. (2020). Estadísticas de carga de las importaciones y exportaciones en Colombia enero-diciembre 2018/2019. Obtenido de <https://www.dian.gov.co/dian/cifras/CargaImpExp/Estad%C3%ADsticas%20de%20Carga%20de%20las%20Importaciones%20y%20Exportaciones%20en%20Colombia%20Enero%20-%20Dic%202019.pdf>

DIMAR, D. (2020). Plan Estratégico de Tecnologías de la Información . Bogotá . Obtenido de https://www.dimar.mil.co/sites/default/files/informes/Plan%20Estrat%C3%A9gico%20de%20Tecnolog%C3%ADas%20de%20la%20Informaci%C3%B3n%20_Dimar_31_01_20%20v0.pdf

DIMAR, D. (2022). Estadísticas Anuales de transporte marítimo en Colombia 2020-2021. Obtenido de <https://www.dimar.mil.co/sites/default/files/informes/PDFA%20Estad%C3%ADstica%20Anuales%20de%20Transporte%20Mar%C3%ADtimo%20en%20Colombia.pdf>

DIMAR, D. (2023). *Estadísticas anuales de transporte marítimo en Colombia 2021-2022*.

Bogotá D.C. Obtenido de

<https://www.dimar.mil.co/sites/default/files/noticias/PDFA%20Estad%C3%ADstica%20Anuales%20de%20Transporte%20Mar%C3%ADtimo%20en%20Colombia%202022.pdf>

DIMAR, D. (2023). La señalización marítima: el sistema que soporta el comercio

internacional de Colombia . Obtenido de <https://www.dimar.mil.co/la-senalizacion-maritima-el-sistema-que-soporta-el-comercio-internacional-de-colombia>

Dzindolet, M., Pierce, L., Beck, H., & Dawe, L. (2022). The Perceived Utility of Human and Automated Aids in a Visual Detection Task.

doi:<https://doi.org/10.1518/0018720024494856>

Flohr, M. (2025). Key concept: Securitization (Copenhagen School). *CLT*. Obtenido de

https://criticallegalthinking.com/2025/03/31/key-concept-securitization-copenhagen-school/?utm_source=chatgpt.com

Fujitsu Limited ; Japan Coast Guard ;. (2021). Fujitsu Introduces AI technology Enabling

Highly Accurate Prediction of Vessel Collision Risks on Complex Maritime Routes.

Obtenido de <https://www.fujitsu.com/global/about/resources/news/press-releases/2021/0928-01.html>

Galdelli, A., Mancini, A., Ferra, C., & Tassetti, N. (2021). A Synergic Integration of AIS

Data and SAR Imagery to Monitor Fisheries and Detect Suspicious Activities.

Sensors. doi:<https://doi.org/10.3390/s21082756>

- Gan, L., Gao, Z., Zhang, X., Xu, W., Cai, Y., & Song, L. (2025). Maritime vessel trajectory prediction based on sequential long short-term memory and U-Net architectures. *Ocean Engineering*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2025.121598>
- González, S., Marín, I., Verano, C., Castro, A., & Vargas, L. (2021). *Planificación Espacial Marina en Colombia: Avances y Retos de Cara a la Implementación de Decenio de las Ciencias Oceánicas para el Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas*. *Revista Costas*. doi:doi: 10.26359/costas.e0221
- González, S., Marín, I., verano, C., Castro, A., & Vargas, L. (march de 2021). Planificación Espacial Marina en Colombia: Avances y retos de cara a la implementación del Decenio de las Ciencias Oceánicas para el Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas. *COSTAS* . doi:<https://doi.org/10.26359/costas.e0221>.
- Han, X., Armenakis, C., & Jadidi, M. (2021). Modeling Vessel Behaviours by Clustering AIS Data Using Optimized DBSCAN. *Geomatics Engineering, lassoonde School of Engineering* . doi:<https://doi.org/10.3390/su13158162>
- Henández Sampieri , R., Fernández-Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2006). *Metodología de la investigación* . Mc Graw Hill.
- IALA, I. N. (2022). *G1110 Use of Decision Support Tools for VTS Personnel*. Obtenido de <https://www.iala.int/product/g1110/>
- IALA, I. N. (2022). G1111-1 Producing requirements for cores VTS Systems and Equipment. Obtenido de <https://www.iala.int/product/g1111-1/>

- Jimenez, J. (june de 1997). Maritime Power in Colombia, analysis and proposal of strategy. *Naval Postgraduate School*. Obtenido de <https://ia600203.us.archive.org/24/items/maritimepowerinc00jime/maritimepowerinc00jime.pdf>
- Jobin, A., Lenca, M., & Vayena, E. (2019). The global landscape of AI ethics guidelines. *Nature Machine Intelligence*. doi:<https://doi.org/10.1038/s42256-019-0088-2>
- Jun, J. (2001). The boost motor of US Navy's rise, comment on Mahan's sea power theory. *Journal of Liaoning Normal University*.
- Kapila, J., & Sidhu, H. K. (2021). Effect of Oil Spills on MARine life. *Reserach & Reviews: Journal of Ecology* . doi:<https://doi.org/10.37591/rrjoe.v10i3.3210>
- Karna, H., Braovic, M., Gudelj, A., & Bulicic, K. (2025). Artificial Intelligence-Based Prediction Model for Maritime Vessel Type Identification. *Journal Information*. doi:<https://doi.org/10.3390/info16050367>
- Kennedy, P. (8 de january de 1974). doi:<https://doi.org/10.1524/mgzs.1974.16.2.39>
- Kim, Y.-J., Lee, J.-S., Pititto, A., Falco, L., & Lee, M.-S. (2022). Maritime traffic evaluation Using Sapatial-Temporal Density Analysis Based on Big AIS Data . doi:<https://doi.org/10.3390/app122111246>
- Krasowski, H., Schardinger, S., Arcak, M., & Althoff, M. (2025). ntelligent Sailing Model for Open Sea Navigation. Obtenido de <https://arxiv.org/pdf/2501.04988>

Kumar, s., & Heymann, F. (2020). Machine Learning-Assisted Anomaly Detection in Maritime Navigation Using AIS Data. *Electrical Engineering and system Science* .

Obtenido de <https://arxiv.org/abs/2002.05013>

Mahan , A. T. (1980). *The Influence of sea upon History*.

Marulanda, S. (04 de april de 2025). El puerto de Cartagena: líder en conectividad y

movimiento de carga en latinoamérica. *legiscomex*. Obtenido de

<https://www.legiscomex.com/puerto-cartagena-lider-conectividad-latinoamerica>

Maurer, J. (21 de march de 2022). Obtenido de [https://engelsbergideas.com/essays/the-](https://engelsbergideas.com/essays/the-geopolitics-and-grand-strategy-of-alfred-thayer-mahan/)

[geopolitics-and-grand-strategy-of-alfred-thayer-mahan/](https://engelsbergideas.com/essays/the-geopolitics-and-grand-strategy-of-alfred-thayer-mahan/)

Mazumdaru, S. (2025). Cómo el conflicto Israel-Irán amenaza el estrecho de Ormuz.

Obtenido de <https://www.dw.com/es/c%C3%B3mo-el-conflicto-israel-ir%C3%A1n-amenaza-el-crucial-estrecho-de-ormuz/a-72966598>

Mazumdaru, S. (18 de 06 de 2025). *Deutsche Welle*. Obtenido de

<https://www.dw.com/es/c%C3%B3mo-el-conflicto-israel-ir%C3%A1n-amenaza-el-crucial-estrecho-de-ormuz/a-72966598>

Mehrabi, N., Morstatter, F., Saxena, N., Lerman, K., & Galstyan, A. (2021). A Survey on

Bias and Fairness in Machine Learning. *ACM Computing Surveys*.

doi:<https://doi.org/10.1145/3457607>

- Motz, F. (2022). *AI support for greater safety in coastal shipping traffic*. Fraunhofer-Institut für Kommunikation. Obtenido de <https://nachrichten.idw-online.de/2022/02/24/ai-support-for-greater-safety-in-coastal-shipping-traffic>
- Mou, F., Fan, Z., Li, X., & Li, X. (2024). A Method for Clustering and Analyzing Vessel Sailing Routes Efficiently from AIS Data Using Traffic Density Images . *Journal marine and Science engineering*. doi:<https://doi.org/10.3390/jmse12010075>
- Mou, F., Fan, Z., Li, X., Wang, L., & Li, X. (2024). A Method for Clustering and Analyzing Vessel Sailing Routes Efficiently from AIS Data Using Traffic Density Images. *Journal of marine Science Engeneering*. doi:<https://doi.org/10.3390/jmse12010075>
- OCIMF, O. (2018). A guide to best practice for navigational assessments and audits. Obtenido de <https://www.ocimf.org/document-library/88-a-guide-to-best-practice-for-navigational-assessments-and-audits/file>
- Okafor-Yarwood, I., Eastwood, O., Chikowore, N., & de Oliveira Paes, L. (2024). Technology and maritime security in Africa: Opportunities and challenges in Gulf of Guinea. *Marine Policy*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.marpol.2023.105976>
- O'Lavin, B. (2009). doi:Mahan and Corbett on Maritime Strategy
- OMI, O. (2022). *Global Maritime Security Programme, Annual Report 2022*. Obtenido de <https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Security/Documents/IMO%20Global%20Security%202022%20Annual%20Report.pdf>.

- Otukoya, T. (2024). The securitization theory . *International journal of Science and research archive*. doi:<https://doi.org/10.30574/ijsra.2024.11.1.0225>
- Paine, L. P. (2014). *The sea an civilization: a maritime history of the word*. Obtenido de https://archive.org/details/seacivilizationm0000pain_j7z0/page/n8/mode/1up
- Pallota , G., Horn, S., Braca, P., & Bryan , K. (2023). Context-Enhanced Vessel Prediction Based On Ornstein-Uhlenbeck Processes Using Historical AIS Traffic Patterns: Real-World Experimental Results. *NATO-STO Centre for Maritime Research and Experimentation (CMRE)*. Obtenido de https://s3.amazonaws.com/confcats_isif/ISIF/Proceedings/2014Proceedings/papers/fusion2014_submission_170/paper170.pdf
- Perez, S. L. (2023). The accounting actions of the libertator in the face of the economic crisis if the republican project of the Great Colombia (1827-1830). *Universidad Simón Bolívar*. doi: <https://doi.org/10.33423/jaf.v23i6.6684>
- Presidencia de la Republica. (1984). *Decreto ley 2324 de 1984. Por el cual se reorganiza la Dirección General Marítima y Portuaria*. Bogotá. Obtenido de <https://www.dimar.mil.co/sites/default/files/normatividad/pdfaDECRETO%202324%20DE%201984.pdf>
- Ramírez-Cabrales, F., Pedroza , W. T., & Forero Hauzeur, J. C. (2021). *Intereses Marítimos Colombianos*. (V. d.-C.-A. Colombia, Ed.) Bogotá D.C: serie Publicaciones Especiales CCO.

Raynor , J., Orofino, S., Costello, C., Mcdonald, G., Mayorga, J., & Sala, E. (2025). Little-to-no industrial fishing occurs in fully and highly protected marine areas. doi:DOI: 10.1126/science.adt9009

Riga, M., Kontopoulos, E., Ioannidis, K., Kintzios, S., Vrochidis, S., & Kompatsiaris, I. (2020). EUCISE-OWL: An Ontology-based Representation of the Common Information Sharing Environment (CISE) for the Maritime Domain. Obtenido de <https://www.semantic-web-journal.net/system/files/swj2373.pdf>

Rodríguez, H. M., Osorio, L. H., Uribe, S., & Chávez, L. E. (2016). *Seguridad Marítima: retos y amenazas*. Bogotá: Escuela Superior de Guerra.

Rodriguez-Díaz , E., Alcaide, J., & García-Llave, R. (2024). Challenges and Security Risks in the Red Sea: Impact of Houthi attacks on Maritime Traffic. *Journal of Marine Science an Engineering*. doi:<https://doi.org/10.3390/jmse12111900>

Rodriguez-Diaz, E., Alcaide, J., & Garcia-Llave, R. (2024). Challenges and Security Risks in the Red Sea: Impact of Houthi Attacks on Maritime Traffic. *Maritime Studies College, Universidad de Cadiz* . doi:<https://doi.org/10.3390/jmse12111900>

Sluiman, F., & de Koning, H. (2010). Naval Vessel Traffic Services . *Naval War College Review* . Obtenido de <https://digital-commons.usnwc.edu/nwc-review/vol63/iss3/9>

Sosnowski, M., Petrossian, G., Nunphonhg, T., & Piza , E. (2024). Crimes at Sea: Exploring the nexus of maritime crimes across global EEZs. *166*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.marpol.2024.106161>

Stach, T., & Koch, P. (2025). LEAS: An AI-based Demonstrator as Decision Support Tool for Traffic Monitoring at VTS Centers. *International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation* . doi:DOI: 10.12716/1001.19.01.35

Stach, T., Kinkel, Y., Constapel, M., & Burmeister, H.-C. (2023). Maritime Anomaly Detection for Vessel Traffic Services: A Survey. *Journal of Marine Science engineering*. doi: <https://doi.org/10.3390/jmse11061174>

Stach, T., Kinkel, Y., Constapel, M., & Burmeister, H.-C. (2023). Maritime Anomaly Dtection for vessel Traffic Services: A Survey. *Journak of marine science Engineering*. doi:<https://doi.org/10.3390/jmse11061174>

SuperTransporte. (2021). *Bpletín estadístico de tráfico portuario en colombia año 2021*.
Obtenido de
https://www.supertransporte.gov.co/documentos/2022/Febrero/Puertos_10/BOLETIN-TRAFICO-PORTUARIO-ANO2021.pdf

SuperTransporte. (2022). *Boletín estadístico de tráfico portuario en Colombia año 2022*.
Obtenido de
https://www.supertransporte.gov.co/documentos/2023/Febrero/Puertos_28/BOLETIN-TRAFICO-PORTUARIO-2022.pdf

Turedi, O., & Ozer-Caylan, D. (2021). Developing a griunded theory of national maritime policies based on safety, security and enviroment. *Journal of International Maritime safety, Enviromental Affairs, and Shipping*.
doi:<https://doi.org/10.1080/25725084.2021.1939642>

- UNESCO, O. d. (2021). *Recomendación sobre la Ética de la Inteligencia Artificial*.
Obtenido de https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000380455_spa
- UPME, U. (2015). *Evaluación de la contribución económica del sector de hidrocarburos colombiano frente a diversos escenarios de producción*. Bogotá D.C. Obtenido de https://www1.upme.gov.co/Hidrocarburos/Estudios%202014-2016/resumen_fedesarrollo_mme_final.pdf
- Vicepresidencia de la República. (2018). *Política Nacional del Océano y de los Espacios Costeros PNOEC*. Bogotá D.C.
- Waever, O. (1995). 3. Securitization and desecuritization. En R. D. Lipschutz, *On Security*.
Obtenido de https://dl1.cuni.cz/pluginfile.php/872615/mod_resource/content/1/Waever.pdf
- Wolsing , K., Roepert, L., Bauer, J., & Wehrle, K. (2022). Anomaly Detection in Maritime AIS Tracks: A Review of Recent Approaches. *Journal of Marine Science engineering* . doi:<https://doi.org/10.3390/jmse10010112>
- Wu, C., Wu, Q., Ma, F., & Wang, S. (2023). A Heterogeneous Information Fusion Method for Maritime Radar and AIS Based on D-S Evidence Theory. *Engineering*. doi:10.4236/eng.2023.1512058.
- Yap, W., & Yang , D. (2024). Geopolitical tension and shipping network disruption: analysis of the Red Sea crisis on container port calls. *Journal of transport geography*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2024.104004>

Yu, Q., Palos Teixeira, A., Liu, k., Rong, H., & Guedes Soares, C. (2021). An integrated dynamic ship risk model based on Bayesian Networks and Evidential Reasoning.

Reliability Engineering & System Safety.

doi:<https://doi.org/10.1016/j.ress.2021.107993>

Zhang, Y., & LI, W. (2022). Dynamic Maritime Traffic Pattern Recognition with Online

Cleaning, Compression, Partition, and Clustering of AIS Data. *Sensors* .

doi:<https://doi.org/10.3390/s22166307>

Zhao, P. W. (2023). *European Journal of East Asian Studies*.

doi:<https://doi.org/10.1163/15700615-02202005>.