



Transformación del mando y control naval en la era de la Inteligencia Artificial: Entre la autonomía táctica y los dilemas éticos.

Capitán de Corbeta (ARC) David Javier Torres Rivera

Capítulo de libro para optar al título profesional:
Magister en Seguridad y Defensa nacionales

Escuela Superior de Guerra "General Rafael Reyes Prieto"
Bogotá D.C., Colombia
2025

DATOS GENERALES	
Nombre del estudiante	: Capitán de Corbeta (ARC) David Javier Torres Rivera
Identificación	: 72.277.769
Programa académico	: Maestría en Seguridad y Defensa Nacionales
Tutor metodológico	: Omar Ferney Vanegas Rincón
Tutor temático	: Carlos Enrique Álvarez Calderón
Fecha de entrega	: 27 de agosto de 2024
Extensión	: 11.227 palabras

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD Y CESIÓN DE DERECHOS

El autor declara que este capítulo de libro 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 capítulo 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 capítulo sea publicado por el Sello Editorial ESDEG en su repositorio institucional y esté disponible bajo una modalidad de acceso abierto.

Transformación del mando y control naval en la era de la Inteligencia Artificial: Entre la autonomía táctica y los dilemas éticos.

Transformation of Naval Command and Control in the Age of Artificial Intelligence: Between Tactical Autonomy and Ethical Dilemmas.

David Javier Torres Rivera¹

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Resumen: La Inteligencia Artificial y la Ciencia de Datos integrada al Mando y Control Naval se analizó para contextualizar su evolución, capacidades, experiencias e implicaciones estratégicas. Seguidamente, se empleó un enfoque cualitativo deductivo mediante análisis documental y estudio de casos, usando fuentes académicas y gubernamentales públicas, donde se halló que buscar acelerar el ciclo Observar, Orientar, Decidir y Actuar para obtener la ventaja decisiva entre potencias globales a través de sus desarrollos afectó el mando y control convirtiéndola en fuente de poderío, brindando lecciones a la Armada de Colombia que demostró avances con varios ejemplos. No obstante, desafíos tecnológicos, ético-legales y operacionales surgieron por la responsabilidad en las decisiones tomadas con estas tecnologías. En conclusión, la integración de estas tecnologías potenciaba la toma de decisiones, los casos estudiados han posicionado a la Armada como referente regional. Finalmente, se recomendó robustecer normativas, desarrollar capacidades humanas e inversión.

Palabras clave: Mando y Control Naval, Inteligencia Artificial, Ciencia de Datos, conciencia situacional, Vehículos No Tripulados, Armada Nacional.

Abstract: Artificial Intelligence and Data Science integrated into Naval Command and Control were analyzed to contextualize their evolution, capabilities, operational experiences, and strategic implications. A qualitative-deductive approach was employed through document analysis and case

¹ Capitán de Corbeta de la Armada Nacional de Colombia. Candidato a magíster en seguridad y defensa nacionales, Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”, Colombia. Profesional en Ingeniería Mecánica, Universidad Autónoma del Caribe, Colombia. <https://orcid.org/0009-0002-2843-6490>- Contacto: david.torres@armada.mil.co.

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

studies, drawing on public academic and governmental sources. The study found that efforts to accelerate the Observe–Orient–Decide–Act loop to gain a decisive advantage among global powers have transformed command and control into a source of strategic strength. This process offers valuable lessons for the Colombian Navy, which has demonstrated notable progress through various initiatives. However, technological, ethical-legal, and operational challenges have also emerged, particularly regarding accountability in decision-making supported by these technologies. In conclusion, integrating these technologies enhances decision-making processes, and the cases examined have positioned the Navy as a regional benchmark. It is recommended to strengthen regulatory frameworks, develop human capabilities, and increase investment.

Keywords: Command and Control, Artificial Intelligence, Data Science, situational awareness, Unnamed Maritime Vehicles, Colombian Navy.

1 Introducción

La evolución del mando y control inicia con la llegada de los buques a vela en el siglo XVI, como desafío en las operaciones de control del mar, que implicaba otorgar poderes militares, diplomáticos y confiar en la iniciativa de los comandantes de dichas unidades, causando una evolución más allá de ser una formación similar a ejércitos terrestres.

En el siguiente siglo, el poder naval se había consolidado globalmente, con formaciones tácticas en línea de combate inglesas, la emisión de instrucciones en materia de navegación y combate francés bajo un mando centralizado que limitaba la iniciativa de los subordinados.

Para el siglo XVIII, las tendencias hacia la descentralización y las comunicaciones mediante señales se convirtieron en un estándar de la Armada Británica (Palmer, 2005), en el cual la Batalla de Trafalgar mostró un hito en la iniciativa debido al cambio de las escuadras atacantes a dos columnas, presentada como una nueva forma de mando tipo misión obteniendo la victoria (Virgamo, 2019). Para el siglo XIX la llegada de las embarcaciones blindadas y el telégrafo ocasionaron un control más efectivo a los comandantes distantes adoptando el mando descentralizado (Palmer, 2005).

Durante la Primera Guerra Mundial, equipos telefónicos y telegráficos se emplearon para comunicarse a largas distancias entre buques (Cruz & Piniella, 2017); lo que redujo los tiempos en la toma de decisiones descentralizadas gracias a la velocidad y alcance sin afectar el liderazgo (Palmer, 2005). Para la Segunda Guerra Mundial, los avances como el radar y la criptografía ayudaron a los EE.UU. en el Pacífico a conocer posiciones de aeronaves enemigas, creando una cultura de aprendizaje, adaptación y conocimiento aplicado que les

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

trajo la victoria (Cavanagh, 2015). Con la Guerra Fría los niveles superiores erosionaron la iniciativa tras la comunicación directa entre una unidad a flote y un presidente como una forma de microgestión (Palmer, 2005). Con la Operación Tormenta del Desierto, surge la guerra de comando y control como evolución del enfoque estratégico para afectar al mando y control enemigo protegiendo el propio al mismo tiempo, marcando una ventaja decisiva (Struble, 1995).

Actualmente, la aparición de tecnologías disruptivas ha adquirido una enorme importancia por la revolución en la capacidad de respuesta en todos los campos del quehacer humano. Entre ellas se encuentra la inteligencia artificial (IA), que IBM (2024) define como el uso de sistemas computacionales avanzados que emulan las capacidades cognitivas humanas con respuestas y soluciones a problemas. También, la ciencia de datos, que según Amazon (AWS, 2024), consiste en extraer información mediante la combinación de estadística e inteligencia artificial para responder preguntas basadas en evidencias.

En el ámbito naval estas aplicaciones abarcan desde el monitoreo del cable submarino que pasa por el mar Báltico por parte de la Fuerza Expedicionaria Conjunta para evitar actos de sabotaje (JEF, 2024); el submarino eléctrico no tripulado estadounidense Manta Ray con capacidades antisubmarinas (Pulver, 2025) hasta el caso colombiano, la Armada Nacional en su prospectiva para el año 2042 reconoce el auge de las disrupciones tecnológicas (Armada Nacional, 2021) generando la necesidad de mantenerse como referente regional para salvaguardar la vida en el mar y asegurar la confiabilidad del material.

El presente capítulo abordará la pregunta de investigación: ¿Cómo pueden la IA y la ciencia de datos optimizar el mando y control operacional en la Armada Nacional, y cuáles son los desafíos y condiciones necesarios para su implementación?

Para responderla, se empleará una metodología con enfoque deductivo a través de revisión documental sistemática de información disponible, con carácter no clasificado y proveniente de fuentes gubernamentales y académicas de nivel nacional e internacional. El objetivo general se centra en explicar la utilidad de la IA y la ciencia de datos en el mando y control en unidades a flote de la Armada Nacional, girando en torno a cuatro apartados principales.

En primer lugar, se contextualizará el concepto de mando y control naval junto a su evolución. Segundo, se presentarán las capacidades actuales de la IA y la ciencia de datos aplicadas a operaciones navales. Luego, se analizarán experiencias internacionales que ofrecen lecciones útiles para la Armada Nacional. Finalmente, se abordarán los desafíos tecnológicos, humanos y organizacionales para su implementación; así mismo, se evalúan sus implicaciones estratégicas. En este orden de ideas, se usará un lenguaje argumentativo y reflexivo para invitar al lector a analizar de manera crítica este tema de gran relevancia en la actualidad.

2 Aspectos fundamentales de la IA y ciencia de datos en el mando y control

El análisis se inicia con las teorías que explican cómo la IA y la ciencia de datos están modificando la adopción de nuevas formas de guerra, teniendo en cuenta que el mando y control (C2) como el conjunto de tareas y sistemas relacionados entre sí, le permiten al Comandante balancear el arte del mando y la ciencia del control para integrar las otras funciones de conducción de la guerra (Fuerzas Militares de Colombia, 2023).

2.1 El C2 en la transformación naval, desafíos y oportunidades en entornos digitalizados

Comprender el contexto del C2 permite contrastar perspectivas y evaluar si la IA puede contribuir a su fortalecimiento, puesto que en el mar, la disputa no se centra en ocupar un territorio, como en tierra, sino en imponer o negar el uso del espacio marítimo. Esta característica obliga a replantear cómo la IA puede modificar la generación de ventaja militar en un entorno que, por naturaleza, no es fortificado (Jordan et al., 2016).

Históricamente, el desarrollo del C2 ha tendido a organizarse en torno a dos enfoques principales: mando por negación y mando tipo misión, tradiciones que difieren en la manera de entender la autoridad y la autonomía. El primero parte del principio de otorgar libertad a los subordinados, constituyendo un hito en la evolución del mando por negación (Department of the Navy, 2010). Más que un estilo de liderazgo se trata de una filosofía orientada a la adaptabilidad en contextos de incertidumbre. En *Command at sea: Naval Command and Control since the sixteenth century*; Palmer (2005) muestra el caso de Horatio Nelson, que la

claridad en la intención estratégica resultaba más eficaz que la dependencia de medios de señalización. En Trafalgar, esa visión confirmó que la descentralización aseguraba la continuidad incluso en ausencia del comandante.

De manera semejante, la doctrina estadounidense institucionalizó la iniciativa del subordinado como principio central, reconociendo que la velocidad y complejidad de la guerra naval contemporánea no podían sostenerse únicamente en órdenes centralizadas. En consecuencia, la descentralización se consolidó como práctica común en distintas marinas desde la portuguesa en el Índico, el japonés Togo en la guerra ruso-japonesa o el británico en la Primera Guerra Mundial; confirmando que la unidad de esfuerzo se logra mediante la interiorización de objetivos estratégicos y no por el control detallado de la ejecución.

Este principio se mantiene en la literatura contemporánea. Para Hughes et al. (2018), en su *Fleet tactics and naval operations*, comunicar con claridad la intención del comandante y los objetivos generales constituye uno de los pilares de la conducción militar moderna. Al privilegiar la comprensión de la finalidad sobre la ejecución mecánica de órdenes, otorga a los subordinados un margen de libertad que potencia la iniciativa y la creatividad táctica, al tiempo que preserva la cohesión estratégica. En lugar de imponer una disciplina basada en la obediencia ciega, se cultiva lo que doctrinalmente se denomina *unidad de esfuerzo*, que es una convergencia de esfuerzos orientados hacia el mismo fin, aun cuando los medios para alcanzarlo varíen según las circunstancias del terreno o del combate.

Con el avance tecnológico a través de la Guerra Fría, Vietnam y Guerra de los Tanqueros, la microgestión se intensificó, en especial por el uso de la radio y enlaces directos desde centros políticos. Ello subordinó la lógica militar a intereses externos y comprometió

la eficacia operativa y el C2. La paradoja tecnológica se hizo evidente: más información no siempre significa mejor decisión.

Hoy, la inteligencia artificial en plataformas como el USS Zumwalt ilustra cómo los sistemas autónomos asumen funciones críticas, planteando nuevos dilemas éticos y estratégicos. La historia advierte que, sin doctrinas claras, la dependencia tecnológica puede replicar los errores del pasado, erosionando el juicio humano en decisiones militares clave (Lockheed Martin, 2023).

Del mismo modo que la intención clara del comandante permitió a Nelson descentralizar decisiones en Trafalgar, hoy la IA introduce una paradoja en la cual puede reforzar la descentralización al reducir la carga cognitiva del subordinado (apoyo en conciencia situacional), pero también puede incentivar la microgestión desde niveles superiores, replicando errores históricos de sobreinformación observados en la Guerra de Vietnam. De allí que el desafío contemporáneo sea integrar la IA como asistente, sin desplazar la iniciativa del comandante. Surge el interrogante si puede la IA convertirse en catalizador del mando tipo misión, liberando a los subordinados de cargas cognitivas, o corre el riesgo de centralizar aún más el poder decisorio en los niveles estratégicos.

La respuesta se desprende de lo dicho anteriormente y de una tensión creciente en la autonomía del comandante, antes apoyada en iniciativa humana, puede derivar en decisiones automatizadas con riesgos éticos y funcionales. Mitigar este dilema exige equilibrar control humano y automatización, sustentado en doctrina, entrenamiento y salvaguardas legales. Para la Armada de Colombia la cuestión radica en qué riesgos asumiría al ceder funciones críticas a una IA sin una adecuada supervisión humana. Esto se desarrollará en detalle en 4.3.

La conciencia situacional también enfrenta retos. Crear y comprender representaciones del entorno ya no depende solo de la experiencia, sino de traducir grandes volúmenes de información en modelos dinámicos dentro de marcos espaciotemporales limitados. Este proceso es decisivo para alcanzar el control marítimo, entendido como percibir, comprender y anticipar la evolución de la situación (Cordón et al., 2014), con el propósito de negar al adversario el dominio y uso del mar (Jordan et al., 2016). Hoy, la fusión con IA busca reducir la carga informativa del decisor y del combatiente para marcar superioridad (French et al., 2021).

Todo esto muestra un abanico de perspectivas doctrinales de C2 a nivel mundial. Alberts y Hayes (2006) señalan que Estados Unidos concibe el C2 como el ejercicio de la autoridad por un comandante designado para articular funciones de la guerra con un enfoque dinámico y respuesta rápida; la OTAN enfatiza la interoperabilidad y el intercambio de información. En Colombia, las Fuerzas Militares se alinean hacia la conjuntes (Fuerzas Militares de Colombia, 2023). En contraste, Rusia mantiene un enfoque jerárquico centralizado en el Estado Mayor General, con el reto de la automatización (Mcdermott & Bartles, 2020). China combina control centralizado del Partido con ejecución descentralizada, similar al mando tipo misión, dentro de su guerra inteligentizada, basada en IA y big data (Burke et al., 2020).

C2 e IA como arma decisional, un nuevo paradigma a la luz del ciclo OODA

El C2 ha entrado en un nuevo paradigma donde su carácter tecnológico redefine la forma de hacer la guerra aprovechando los avances en información, comunicaciones y sistemas de armas para lograr principalmente la afectación del proceso de toma de decisiones enemigo,

convirtiendo a la velocidad para la toma de decisiones en un arma adicional (Prats, 2001). En este marco, la gran influencia de Boyd en el pensamiento militar se aplica para el C2 de forma secuencial e iterativa a través de la observación, orientación, decisión y acción para adquirir la conciencia situacional para hacer al adversario incapaz de resistir (Jordan et al., 2016). Esto hace que en la actualidad la IA haya tomado una gran importancia en el proceso de toma de decisiones, ya que la inmediatez de los procesos comparado con la capacidad humana en el cumplimiento de tareas ha creado una brecha como se muestra en la Figura 1.

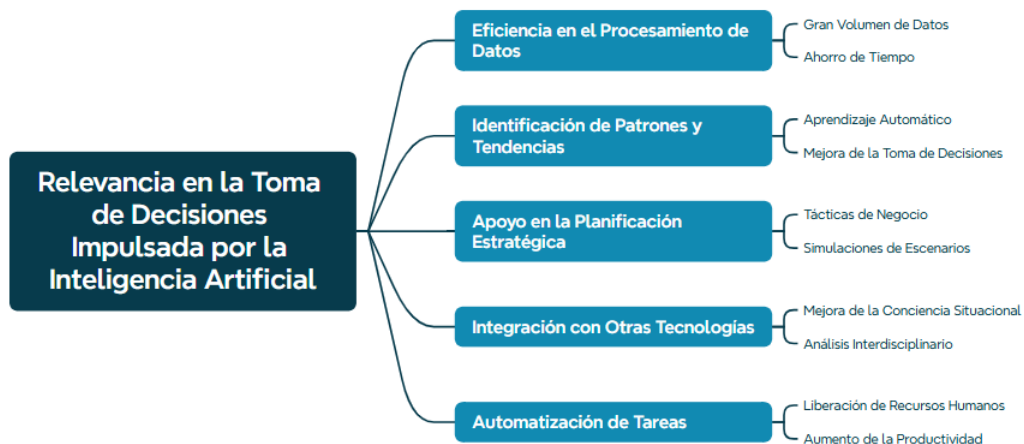


Figura 1. Relevancia en la toma de decisiones con IA. Fuente: de Gómez de Ágreda, Á. (2020). Usos militares de la IA, la automatización y la robótica (IAA&R).

El punto de inflexión entre victoria y derrota puede depender de este ciclo y de la inversión creciente en tecnologías relacionadas (Gómez de Ágreda, 2020), como se evidencia en la figura 2.

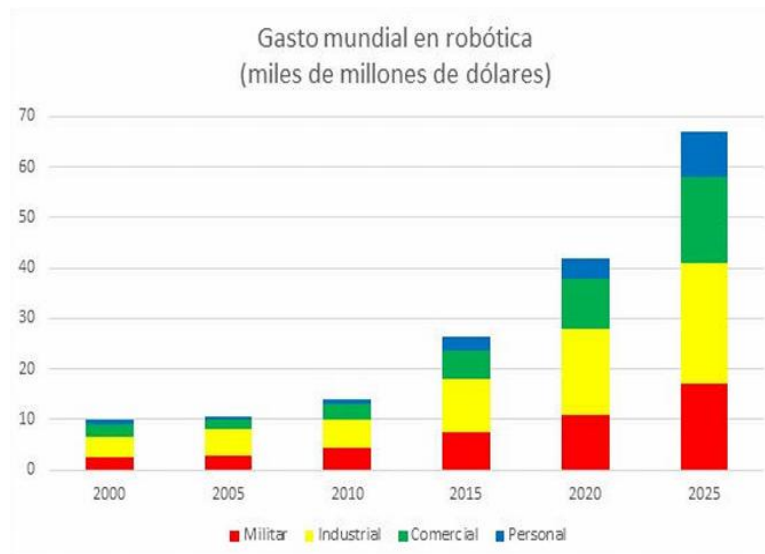


Figura 2. Gasto mundial en robótica. Fuente: Gómez de Ágreda, Á. (2020). Usos militares de la IA, la automatización y la robótica (IAA&R).

En el mismo sentido, la Network-Centric Warfare (NCW) busca traducir superioridad informativa en ventaja competitiva mediante un OODA acelerado y flujos de información continuos (Brander et al., 2007) a través de Sistemas Adaptativos Complejos (Holland, 2003), sostiene equilibrios dinámicos a través de bucles de retroalimentación que pueden conducir al colapso del adversario (Dekker, 2011). Para Allegri (2023) esto ofrece una oportunidad para entender conflictos de espectro complejo en guerra de información: el vínculo con IA permitiría a los comandantes enfatizar lo estratégico, reduciendo carga cognitiva, mientras la herramienta gestiona opciones para la ejecución (Espinel, 2020).

Simonetti y Tripodi (2020) sostienen que EE.UU. en su competencia por lograr la superioridad en la IA, ha adoptado un enfoque conservador anteponiendo capacidades humanas. China, en cambio, explota grandes volúmenes de datos para acelerar decisiones en su guerra inteligentizada. Así mismo, Allegri (2023) manifiesta que Rusia bloqueó el paso

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

de buques ucranianos en Crimea bajo un enfoque híbrido que controló flujos de información y logística esenciales del C2 para asegurar Sebastopol en 2014.

Si la NCW buscó traducir la superioridad informativa en ventaja operacional a través de ciclos OODA acelerados, la IA lleva este principio a un nuevo umbral. Mientras el comandante en NCW seguía siendo el nodo central, hoy la IA asume parte de la orientación y la decisión, creando el dilema de potenciar la velocidad sin sacrificar la comprensión estratégica humana, núcleo del debate sobre mando tipo misión apoyado por IA.

Los casos muestran que la IA puede extender el mando tipo misión o amenazar su esencia. En Zumwalt, la automatización reduce la tripulación y delega tareas críticas, lo que exige protocolos de control humano significativo para no erosionar la autoridad del comandante (Navy Lookout, 2025). En China, la inteligentización combina control centralizado con ejecución descentralizada, una hibridación entre NCW y mando tipo misión. En Crimea, el control de la información sustituyó fuerza naval tradicional, mostrando una NCW aplicada a operaciones híbridas, donde IA y operaciones cibernéticas refuerzan mando centralizado.

Además, se observa una tendencia hacia la complejidad de entornos multinivel y multidominio (Hughes et al., 2018), donde la guerra como sistema impredecible de comportamiento no lineal, debido a las interacciones de una compleja red de conexiones (US Marine Corps, 1996), involucra múltiples entidades con intereses superpuestos generando exigencias adicionales en el C2 (Alberts & Hayes, 2006). Entonces, surge la pregunta de si el mando tipo misión aprovecha la sinergia y las operaciones basadas en efectos (US Marine Corps, 1996), combinando tareas en diferentes dominios, plataformas y estructuras de mando (M. Horowitz, 2010).

Finalmente, la gestión de la información y el riesgo de microgerencia ha traído consigo la amenaza de socavar la jerarquía, sin diferenciar los niveles de guerra y aumentar la fragilidad de la fuerza por compartir información (Palmer, 2005).

2.2 Hacia un nuevo C2, de la Revolución en Asuntos Militares a la adaptación naval y la cooperación hombre-máquina

La RMA es un cambio en la forma de operar de los ejércitos, que puede tener consecuencias estratégicas cuando se integran y explotan nuevas tecnologías, tácticas, doctrinas, procedimientos o formas de organización (Colom, 2014), viéndose acelerada con tecnologías disruptivas. Estas hacen que la estructura de C2 sea más dinámica y adaptativa como se muestra en la figura 3. Ello se debe al uso de algoritmos de aprendizaje automático, procesamiento de datos, sistemas autónomos y simulaciones predictivas para potenciar las capacidades de todos los niveles ante amenazas híbridas y asimétricas (Simonetti & Tripodi, 2020).

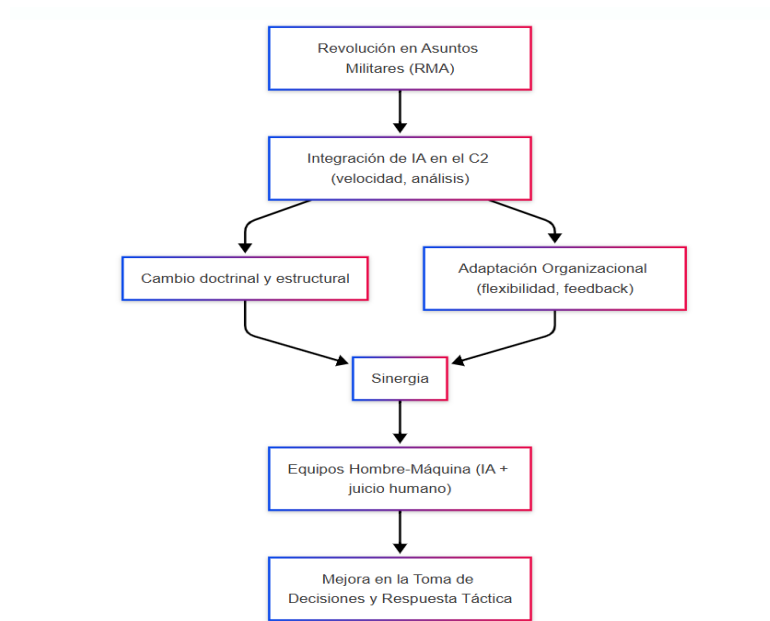


Figura 3. Revolución en asuntos militares. Adaptado de Simonetti, R., & Tripodi, P. (2020).

En paralelo, las instituciones navales enfrentan desafíos únicos al integrar IA y big data, por ejemplo, en mantenimiento predictivo. Este proceso exige una adaptación organizacional que equilibre innovación y estabilidad, con base en teorías relevantes y su aplicación en contextos militares, apoyada en fuentes doctrinales y estudios de caso. Todo ello se materializa en planes y políticas con capacidad proactiva y continua para asegurar supervivencia, estabilidad y éxito en un futuro incierto (Soffia, 2021). Según Hoffman (Bassoli, 2021), los pilares son liderazgo, cultura organizacional, mecanismos de aprendizaje y disseminación del conocimiento.

Mientras la Marina de EE.UU. prioriza la experimentación interna a través de su Disruptive Technologies Lab (NSWC Carderock Division Public Affairs, 2016), como se muestra en la tabla 1; empresas como Thales integran la innovación bajo una lógica comercial y multinacional (Thales Group, 2018). Esta diferencia muestra cómo la IA se convierte en un campo de competencia no solo militar, sino también industrial:

Aspecto	Disruptive Technologies Lab (NSWC)	Thales
<i>Enfoque</i>	Innovación interna y rápida experimentación dentro de la Marina de EE. UU.	Aplicación de tecnologías digitales para mejorar la superioridad naval.
<i>Tecnologías destacadas</i>	Exoesqueletos, fuentes de energía desplegadas desde submarinos, detección óptica de periscopios, MMOWGLI.	IA, Big Data, conectividad, ciberseguridad, sensores avanzados.
<i>Objetivo principal</i>	Acelerar la innovación tecnológica y llevar soluciones desde la fase conceptual hasta su implementación en la flota.	Potenciar la superioridad naval mediante la transformación digital.
<i>Colaboración</i>	Enfoque interno con científicos e ingenieros de la Marina.	Colaboración con armadas y guardacostas de más de 50 países.
<i>Áreas de aplicación</i>	Desarrollo de tecnologías disruptivas específicas para operaciones navales.	Sistemas integrales de defensa naval, protección y vigilancia.

Tabla 1. Comparación de enfoques de innovación (NSWC vs. Thales). Elaboración del autor.

Estos procesos de innovación se vinculan con el concepto de equipos hombre-máquina (HMT), que busca combinar capacidades cognitivas humanas con la IA desde capacidades de procesamiento masivo, análisis predictivo y adaptación organizacional que impacte en el éxito, de acuerdo a propensión para confiar, confianza militar basada en la cognición, afecto y confiabilidad inicial. Para lograrlo, trabajar la confianza de las personas en sistemas remotos y automatizados como la comprensión mecánica, predictibilidad, familiaridad y contexto se hace necesario anticiparse a los desafíos y riesgos originados por los avances tecnológicos (Warren & Hillas, 2020).

2.3 Del big data a la teoría de juegos para la gestión de riesgos en las operaciones navales

El big data, como etapa previa y aliada de la ciencia de datos, analiza patrones para anticipar amenazas, que junto al modelado predictivo podría anticipar escenarios y optimizar las operaciones navales, que evitaría interrupciones operacionales por posibles fallas a través de datos suministrados por sensores; cuya sinergia va más allá de detectar objetivos, ya que habilita simulaciones que condicionan la toma de decisiones (Pérez & Martín, 2023), bajo el riesgo de que los comandantes confíen más en los algoritmos que en su propio criterio.

Seguidamente, al balancear estrategias de dos o más actores para maximizar beneficios (Zamora, 2015), con la teoría de juegos se vincula la toma de decisiones en condiciones de equilibrio, donde cambiar de estrategia reduce el beneficio (Monsalve, 2003). En el ámbito naval estadounidense, estos conceptos combinados muestran bondades en la gestión de batalla para apoyar la toma de decisiones tácticas y la planificación operativa (Johnson et al., 2022). Un ejemplo es el Wargaming Real-Time Artificial Intelligence

Decision Aid (WRAID) que emplea tecnologías disruptivas para mejorar la conciencia situacional, razonamiento y resolución de problemas con plazos de decisión más rápidos (Johnson et al., 2022); a lo que Sepúlveda C. (2021) anticipa que las futuras plataformas navales estarán dotadas con crecientes capacidades de IA para mejorar la toma de decisiones en todos los niveles. Por tanto,

Finalmente, para la Armada de Colombia implica considerar riesgos e incertidumbres del C2 impulsado por IA, ya que los desafíos que conlleva la revolución en la toma de decisiones han mostrado patrones que merecen ser analizados. Horowitz & Scharre (2021) proponen posibles riesgos e incertidumbres visualizados en la Figura 4 y sus medidas de mitigación en la figura 5.



Figura 4. Riesgos e incertidumbres por uso de la IA a nivel militar. Adaptado de Horowitz, M, & Scharre, P. (2021).

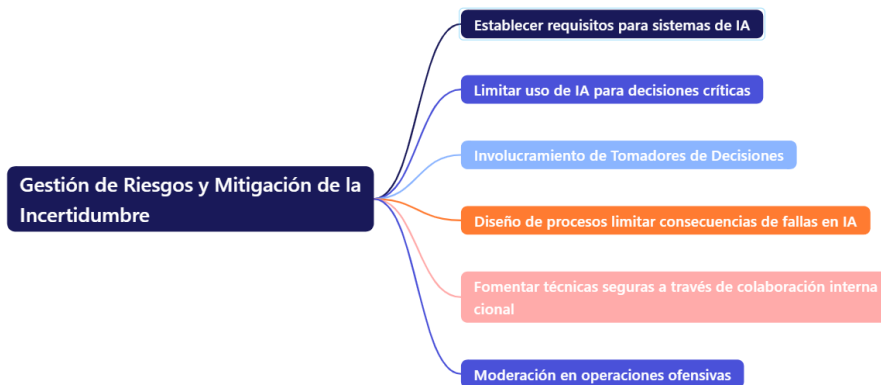


Figura 5. Gestión de riesgos e incertidumbre por uso de la IA. Adaptado de Horowitz, M, & Scharre, P. (2021).

3 IA y Ciencia de Datos: aplicaciones actuales y su impacto en operaciones navales

3.1 Avances e implicaciones del uso de tecnologías disruptivas

La integración de IA y ciencia de datos ha transformado las operaciones navales en distintos países. Estas experiencias permiten plantear una hipótesis central: su incorporación al C2 colombiano podría guiar una transformación estratégica. Para explorar esta idea, se analizan a continuación algunos casos relevantes por su utilidad para Colombia, teniendo en cuenta las implicaciones de la aplicación de la IA y la ciencia de datos, así:

- **Sistemas marítimos no tripulados.** Han permitido a armadas como la de EE.UU. y la UE replantear la seguridad de sus tripulaciones y optimizar recursos logísticos. Esto evidencia que la incorporación de sistemas no tripulados no solo responde a un interés tecnológico, sino que redefine la relación entre seguridad operacional y costo estratégico, lo que, para Colombia, abre la posibilidad de reducir riesgos humanos en áreas críticas como campos minados, al tiempo que replantea el balance costo–beneficio frente a buques tripulados (García, 2024).
- **Vehículos Submarinos No Tripulados (UUV).** Su introducción para mejorar la proyección de fuerza y la gestión del riesgo en condiciones meteomarineras complejas implica redefinir la distribución de tareas entre tecnología autónoma y supervisión humana. De allí la necesidad de parámetros claros para la toma de decisiones y la transferencia de autoridad operativa, con impacto directo en la gestión del riesgo

humano; ello requiere evaluar escenarios en los que la intervención humana siga siendo fundamental para evitar fallos sistémicos (Gómez de Ágreda, 2020).

Estas aplicaciones muestran el potencial de abrir un camino para que la innovación habilite tanto la ejecución de operaciones navales como el proceso creativo de fabricación de vehículos por parte de la industria nacional. Su incorporación, además, amplía las capacidades de las unidades a flote de la Armada Nacional. Según fuentes académicas y oficiales de carácter abierto, se trata de un derrotero institucional promisorio.

Adicionalmente, la necesidad de un nuevo enfoque más allá de la modernización tecnológica apunta a transformar la gestión operativa en digitalización y mantenimiento predictivo, alineado con lo estipulado en el Plan de Desarrollo Naval 2042. El piloto de Sistemas Integrados de Supervisión y Control, surgido desde la academia, ejemplifica cómo el uso de IA puede consolidar una plataforma única para propulsión, navegación y energía, facilitando el mantenimiento predictivo y la estandarización tecnológica (Pedraza & Guerrero, 2022).

Otro ejemplo es la incorporación de los V-BAT 128, véase la figura 6, que marca un punto de inflexión para la Armada de Colombia (Saumeth, 2025). Más que ampliar el horizonte de detección (Airforce Technology, 2021), introduce el reto de articular la IA embarcada en estas plataformas con las estructuras de C2 existentes (Armada de Colombia, 2024b). El desafío real es transformar un avance técnico en ventaja estratégica sostenida, apoyada en aprendizaje profundo y aprovechando el despliegue de operaciones desde buques en movimiento en entornos de guerra electrónica, con inteligencia, reconocimiento y vigilancia (ISR), con rapidez y precisión superiores a la visión humana (Shield AI, 2025).

Según lo analizado, este paso puede conducir a la optimización de recursos y al fortalecimiento de las operaciones de interdicción marítima, reafirmando la posición de Colombia como referente internacional.



Figura 6. V-Bat usado en la Aviación Naval. Fuente: Armada de Colombia. (2024). En el marco de los 80 años de la Aviación Naval y gracias a la cooperación internacional entre la Misión Naval de los Estados Unidos. Facebook. <https://www.facebook.com/photo/?fbid=814999697480097&set=pcb.814999874146746>

Por su parte, la Plataforma Estratégica de Superficie desarrollada por COTECMAR en alianza con DAMEN, como cúspide tecnológica colombiana, integra sistemas de gestión de combate y sensores avanzados (SAAB, 2025a), ilustrando cómo la industria naval nacional puede posicionarse regionalmente con base en la integración de IA y sistemas no tripulados (SAAB, 2025b); según fuentes abiertas, permite observar el uso de tecnologías disruptivas como se analiza en la tabla 2. Por consiguiente, la pregunta central es si este esfuerzo lleva a Colombia a ser un referente regional o si aún persisten limitaciones en su alcance tecnológico.

Tecnología	Capacidades directas en esta función
IA	Planificación, coordinación, optimización autónoma.
Machine Learning	Aprendizaje de rutas y mejoras de misión.
Ciencia de Datos	Análisis de variables para toma de decisiones.
Big Data	Gestión de flujos masivos de información sensorial en tiempo real.

Tabla 2. Aplicaciones del sistema de gestión de combate de la PES. Elaboración del autor.

Finalmente, la alianza estratégica para la innovación naval entre la Armada, la Universidad de los Andes y la empresa surcoreana Etinav Lig Nex1 busca fortalecer las capacidades de I+D+i mediante sistemas de gestión de información para operaciones militares. Esta cooperación refleja la necesidad de reducir dependencia tecnológica y generar capacidades propias en software y sistemas de combate (Armada de Colombia, 2024a).

3.2 Estudios de caso: IA en centros de comando y seguridad marítima.

La Armada de EE. UU. plantea Centros de Comando Naval para transformar el C2 mediante el uso de IA y busca certificar en 2027 a los Centros de Operaciones Marítimas que integren sensores y capacidades en estas tecnologías. El objetivo es claro: acelerar la toma de decisiones y consolidar ventaja en el ciclo OODA (Pomerleau, 2025), rompiendo paradigmas culturales y doctrinales, pues los comandantes deberán adaptarse a operar en entornos donde la conectividad y la automatización determinan el ritmo de la guerra (Jamison, 2025).

En 2023, los ejercicios multidominio desplegados por la Séptima Flota de EE.UU., revelaron cómo la integración temprana de vehículos no tripulados redefine la interoperabilidad regional entre la División de Buques de Superficie No Tripulados Uno (USVDIV-1) (Williams, 2022) y el portaviones USS Carl Vinson en el Indo-Pacífico como el que se observa en la figura 7 (U.S. 7th Fleet Public Affairs, 2023). Para Colombia, la lección no está en replicar el despliegue, sino en anticipar cómo su doctrina de C2 puede asimilar estas dinámicas en un entorno de menor escala pero de alta complejidad.



Figura 7. Buque de superficie no tripulado USS Sea Hunter perteneciente a USVDIV-1. Fuente: Williams, R. (2022). *Navy Increases Unmanned Capabilities with Newly Established Unmanned Surface Division*.

<https://www.surfpac.navy.mil/DesktopModules/ArticleCS/Print.aspx?PortalId=54&ModuleId=29618&ArticleId=3033092>

Los ejercicios Autonomous Warrior (AW2) en 2024 demostraron la madurez de sistemas ISR autónomos en dominios aéreos, terrestres y marítimos (The Royal Navy, 2024), incluyendo submarinos como el observado en la figura 8. Más allá de su valor técnico, revelan la importancia de diseñar doctrinas de interoperabilidad (Australian Government Defense, 2024) que permitan integrar múltiples plataformas no tripuladas, un desafío aún pendiente para la Armada de Colombia.



Figura 8. Ejercicios navales con Ghost Shark de la Marina Australiana. Fuente: Luck, A. (2024, 31 de octubre). Australia, United Kingdom, United States tout drone networks at Autonomous Warrior 2024. Naval

News. <https://www.navalnews.com/naval-news/2024/10/australia-united-kingdom-united-states-tout-drone-networks-at-autonomous-warrior-2024/>

En China, el potencial del análisis predictivo en seguridad marítima basado en big data y aprendizaje automático, se ha aplicado al tráfico del río Yangtsé (Mingyang et al., 2022). Al combinar registros con modelos estadísticos, se identificaron patrones dinámicos que permiten anticipar accidentes (Quandang et al., 2024). Más allá del caso chino, este enfoque evidencia cómo el análisis de datos puede redefinir la seguridad marítima y ofrecer lecciones aplicables a Colombia.

Los estudios de caso revisados sugieren que la Armada Nacional avanza en la dirección correcta en materia de C2. Sin embargo, la velocidad de transformación de las amenazas y del entorno operativo exige acelerar la adopción tecnológica y aprender con mayor rapidez de las experiencias internacionales, equilibrando siempre el riesgo de dependencia tecnológica con la necesidad de construir capacidades propias.

4 Los desafíos de integrar IA y Ciencia de Datos en el C2 naval.

La integración de IA y ciencia de datos en el C2 naval enfrenta retos tecnológicos, humanos, éticos y legales. Más allá de su adopción técnica, surge una cuestión estratégica en la que solo un marco ético sólido puede legitimar su empleo en la Armada de Colombia, el desafío no radica únicamente en superar la resistencia generacional, sino también en gestionar los riesgos que estas tecnologías plantean para la institución naval.

4.1 Limitaciones tecnológicas en la adopción de IA.

En materia de infraestructura, el principal requerimiento para normalizar datos provenientes de diversas fuentes (González, 2024), agilizar el C2 basado en la consciencia situacional ajustada en un sistema abierto y adaptable (Gómez de Ágreda, 2020), sería mitigar riesgos por información errada (Espinel, 2020), traducido en un hardware potente y robusto con una red confiable soportado en una alta inversión (Bossio, 2023); un referente es el proyecto ZEUS del Ejército de Tierra español cuyo fin busca la eficiencia operativa y la mejora en la toma de decisiones por unos 15 millones de euros (Carrasco, 2025).

En cuanto a ciberseguridad, la introducción de IA amplía tanto capacidades como vulnerabilidades: algoritmos maliciosos, accesos denegados o entornos adaptativos plantean un escenario en el que la defensa ya no se mide solo en poder de fuego (Concha, 2024), sino en resiliencia de datos y confianza en las redes (Gómez de Ágreda, 2020).

En materia de interoperabilidad, estas tecnologías acoplarían los esfuerzos de cada país a través de redes con sensores integrados (González, 2024), en el cual las unidades navales estén enlazadas y protegidas con sistemas de ciberseguridad (Espinel, 2020); todo ello demandaría una alta inversión y planificación (García, 2024).

4.2 El factor humano ante la disrupción tecnológica.

La resistencia inicial a la adopción de IA en distintos niveles de mando refleja un fenómeno natural frente a toda disrupción tecnológica (Espinel, 2020). Más que un obstáculo, esta resistencia revela brechas de habilidades que deben cerrarse mediante capacitación, simuladores y adaptación progresiva (González, 2024). Sin este proceso, el riesgo no es solo técnico, sino de dependencia excesiva de la máquina y pérdida de capacidades críticas de interpretación humana (Pérez & Martín, 2023)

La confianza en Sistemas Autónomos resulta atractiva debido a la capacidad de toma de decisiones rápidas con un margen de precisión que dependería de los datos disponibles, contribuyendo a un ciclo OODA, a la elaboración del panorama operacional y a una conciencia situacional más veloz (Concha, 2024). Por otra parte, crece el debate ético al que se suman las preocupaciones humanitarias y jurídicas (CICR, 2021), pues la ONU expresa desconfianza en el uso de sistemas con IA que no cumplan con requerimientos en materia de derechos humanos (DD.HH.), especialmente cuando el juicio humano es desplazado en decisiones que comprometen la seguridad de las personas o cuando se pretende sustituir soldados por robots para realizar ataques.

También, los sesgos en los datos y la programación inmersa en las tecnologías disruptivas pueden sobreestimar la posibilidad de eventos a evitar por ejemplo, prejuicios

raciales, de género y daños colaterales. A futuro, las capacidades de decisión humanas podrían verse sobrepasadas bajo el supuesto de que los algoritmos cometen menos errores (Concha, 2024).

4.3 Autonomía, responsabilidad, dilemas éticos y riesgos operacionales en el C2 asistido por IA.

La discusión sobre la autonomía en la guerra y sus implicaciones éticas no es reciente. El *Sanremo Handbook* (Cole et al., 2009) subraya que el control humano debe permanecer como prioridad en el uso de la fuerza, garantizando que las decisiones militares conserven un equilibrio entre la ventaja operativa y la protección de vidas civiles. Para ello, establece principios rectores (distinción, la proporcionalidad, la autorización explícita de acciones y el respeto a las Reglas de Enfrentamiento), contribuyen a limitar estrictamente los objetivos militares y la protección de embarcaciones, como los buques hospital y de rescate (IIHL, 1994).

Por otro lado, el debate multilateral sobre Sistemas de Armas Autónomos Letales (LAWS) en el marco de la Convención sobre Ciertas Armas Convencionales (CCW) ha puesto en el centro la necesidad de asegurar la toma de decisiones humanas significativas (meaningful human control), trazabilidad y rendición de cuentas (CCW/GGE, 2023). Organismos como el Comité Internacional de la Cruz Roja (CICR) subrayan riesgos de imprevisibilidad, sesgos de entrenamiento, vulnerabilidad a engaños algorítmicos y dificultades de atribución que podrían erosionar la responsabilidad del comandante y del Estado si no existen salvaguardas robustas (Horowitz & Scharre, 2021). Estas preocupaciones, ya identificadas en la literatura y ejercicios navales recientes, demandan

medidas técnico-doctrinales previas a la adopción masiva de IA en C2 (Arkin, 2009; Lin et al., 2008).

En la actualidad, la escalada de conflictos plantea nuevos retos para la toma de decisiones en el C2. El uso de sistemas de armas autónomas introduce riesgos en la identificación de objetivos y en la aplicación de principios humanitarios como la proporcionalidad o la responsabilidad moral, trasladando la carga de la decisión desde los comandantes hacia algoritmos cuya lógica no siempre resulta transparente. Estas preocupaciones, señaladas por el CICR (2021), evocan dilemas históricos como los surgidos durante la Guerra Fría con las armas nucleares (Sychev, 2018), donde la capacidad humana de decisión se veía condicionada por el riesgo de consecuencias irreversibles. Hoy, el debate se intensifica con la reducción progresiva de la intervención humana, poniendo en entredicho la necesidad de mantener una toma de decisiones humanas significativas en la conducción de operaciones letales.

La oposición internacional al despliegue de los denominados robots asesinos (killer bots) refleja la centralidad del principio de rendición de cuentas en este debate. Campañas lideradas por ONG ante la ONU (CCW/GGE, 2023) sostienen que permitir que sistemas autónomos sustituyan a los soldados sin un marco de supervisión humana socava tanto la legitimidad militar como la protección de los civiles (Concha, 2024). En este marco, los Estados se ven obligados a demostrar que la introducción de IA en operaciones militares se ajusta no solo al Derecho Internacional Humanitario (DIH) (Cole et al., 2009), sino también a exigencias éticas.

Frente a estas críticas, algunos autores plantean perspectivas alternativas. Arkin (2009) sostiene que los sistemas autónomos podrían llegar a ser más éticos que los humanos

al incorporar algoritmos basados en teorías morales, capaces de evaluar discriminación, proporcionalidad y las leyes de la guerra sin el sesgo de las emociones. De acuerdo con su propuesta, un sistema marítimo podría decidir con mayor rigor si lanzar o no un torpedo, evaluando en qué condiciones éticas hacerlo. En una línea similar, Lin et al. (2008) argumentan que los sistemas autónomos no solo reemplazarían a los humanos en misiones peligrosas, sino que también evitarían las influencias emocionales que afectan la toma de decisiones en combate.

No obstante, el CICR (2021) advierte que el cumplimiento del DIH enfrenta desafíos significativos con estas tecnologías. La responsabilidad jurídica del usuario, la imprevisibilidad de los sistemas, la posibilidad de hackeo y los efectos no previstos en objetivos desconocidos evidencian la insuficiencia de las normas actuales para regular estos desarrollos. En este sentido, se vuelve necesario establecer límites claros y mecanismos de control que garanticen tanto la protección de civiles como la legitimidad de la acción militar. Arkin (2009) reconoce que esta discusión se encuentra rezagada frente al vertiginoso avance tecnológico, mientras que Lin et al. (2008) alertan sobre riesgos adicionales como fallos catastróficos, comportamientos inesperados o incluso la negativa de los sistemas a ejecutar órdenes.

En el entorno marítimo, los riesgos se intensifican. La identificación de contactos en espacios congestionados (estrechos, rutas comerciales, zonas económicas exclusivas) expone a falsos positivos/negativos con consecuencias estratégicas como daños colaterales o incidentes con banderas neutrales (Gómez de Ágreda, 2020). Además, la microgestión electrónica puede crecer si el escalón político demanda telemetría y visualización continua, degradando la iniciativa del comandante; a la vez, una confianza excesiva en “cajas negras”

puede inducir sobre automatización en ventanas temporales críticas (defensa antimisil, interdicción), donde el juicio humano contextual sigue siendo insustituible (Concha, 2024).

También, Viveros (2024), en *Humanitarian Law & Policy* del CICR, advierte que en contextos militares los sistemas de IA pueden generar salidas erróneas o no verificables cuando operan con datos ruidosos, sesgados o incompletos, lo que puede conducir a incertidumbre informacional y a recomendaciones sesgadas. Por otro lado, Lin et al (2008) subrayan que la imprevisibilidad de los sistemas autónomos, dificultades para discriminar correctamente entre combatientes, no combatientes y objetivos militares ocasionarían una potencial escalada accidental junto a una afectación en el C2 por la aparición de contactos fantasmas y clasificaciones erróneas. En consecuencia, mantener el juicio humano efectivo en el ciclo decisorio es imprescindible en un C2 asistido por IA.

Para la Armada de Colombia, esta discusión no puede ser ajena, puesto que el priorizar una doctrina que respalde y blinde a los comandantes, evitaría la erosión de su rol y su responsabilidad; más aún cuando estos temas giran en torno a la legitimidad. La eventual incorporación de IA en sistemas navales nacionales exige asegurar que toda automatización esté acompañada de mecanismos de supervisión humana significativa y de marcos normativos que garanticen la responsabilidad y la rendición de cuentas en escenarios de conflicto.

A partir de la evidencia comparada y del marco de derecho internacional humanitario (DIH), se proponen lineamientos para armonizar innovación y legitimidad:

- Control humano significativo: toda decisión letal o de alto impacto debe conservar intervención, veto y revisión humanas, con umbrales de automatización definidos por misión y ambiente (M. Horowitz, 2010). En el marco de la Armada Nacional,

podría darse como requisito organizacional en el cual bajo condiciones determinadas durante entrenamiento pueda medirse la cantidad de intervenciones y la cantidad de simulaciones (porcentaje) para entrenar y, por ende, sería posible medir el entrenamiento de una cantidad de personal idóneo para estas labores, sin dejar atrás la experiencia y conocimiento del comportamiento de la IA. Su gran utilidad para el mando superior radicaría en conocer el nivel de entrenamiento y planear rotaciones acuerdo administración de personal, por ejemplo. Esto involucraría incluso diversos escalones del mando a través de la reducción de la incertidumbre en situaciones reales de crisis. La responsabilidad de esto recaería en el Comandante de la Unidad a Flote, pero aspectos de personal idóneo recaerían en el área específica de administración de personal del mando superior. Su implementación práctica iniciaría desde el mismo proceso de adquisición, en el cual el proceso de entrenamiento garantice a su vez, la transferencia de conocimiento.

- Reglas de Enfrentamiento (ROE) y cartillas IA: reglas de enfrentamiento específicas para IA, que expliciten cuándo y cómo puede recomendar, ejecutar o abortar acciones; logs auditables obligatorios para trazabilidad post-operación (CICR, 2021). Para el caso colombiano, este lineamiento puede traducirse en la elaboración de cartillas prácticas que acompañen tanto a comandantes como a operadores, cuya elaboración serían responsabilidad del asesor jurídico operacional y en DIH, junto a personal de doctrina a nivel institucional o quien se le asigne, yendo más allá del simple documento hasta pistas en el cual se aplique lo ahí descrito; contribuyendo al análisis de variables como cantidad de personal

instruido y entrenado y desempeño en pruebas. La implementación debe iniciarse durante el proceso de entrenamiento, adquisición de estos sistemas para generar el entrenamiento, documentación y la sensibilidad en el personal, siguiendo con el paso del tiempo, incluyendo personal que no es de la tripulación e interviene en estos procesos como por ejemplo, personal aeronaval.

- Arquitecturas auditables: preferir modelos explicables en funciones críticas; exigir registros de entrenamiento y validación operacional en condiciones degradadas (Lin et al., 2008). En la práctica traería una gran ayuda a nivel institucional, mostrando en tiempo real el comportamiento de estos sistemas, aunque se aclara que el personal encargado a bordo se encargaría de capacidades de nivel operativo o usuario. Por tanto, desde la respectiva Flotilla de Superficie o Fuerza Naval a la que haga parte la Unidad debe llegar esta información para poder revisar de forma independiente y obligatoria que incluya aspectos como algoritmos que tengan que ver con DIH o ROE y luego tengan alguna revisión de carácter jurídico-operacional, cuya responsabilidad podría recaer en una dependencia que debería crearse perteneciendo quizás al respectivo departamento de operaciones. Por consiguiente, un indicador recomendable abarcaría aspectos como tiempos de detección y corrección de novedades ocurridas computándose de forma individual y mediante una razón o porcentaje. Su implementación requeriría personal idóneo que se supone debe ser entrenado por el fabricante y pueda crear dependencias en los niveles superiores descritos para que funjan su función.

- Pruebas y red teaming: escenarios de estrés ético (contactos ambiguos, daños colaterales, blancos protegidos) en ejercicios y wargaming; verificación independiente antes del despliegue (Arkin, 2009).
- Doctrina de mando: reforzar Mission Command / Command by Negation para evitar microgestión y sostener la responsabilidad del comandante en estructuras IA-centradas (Palmer, 2005).
- Ciberresiliencia y escalada: controles anti-manipulación de datos y interruptores de corte (o kill-switches); protocolos de gestión de escalada cuando la IA detecte patrones adversarios ambiguos o desinformación (Gómez de Ágreda, 2020).
- Formación ética y jurídica: capacitación obligatoria en DIH/DDHH, responsabilidad de mando y límites de la automatización para comandantes, operadores y equipos de análisis (CICR, 2021).

En síntesis, la tensión entre las posturas del CICR y Sanremo, que defienden la primacía del juicio humano, frente a las visiones más optimistas de Arkin y Lin, revela un debate polarizado. Mientras unos insisten en que la responsabilidad y la rendición de cuentas dependen de preservar el papel central del comandante, otros sugieren que la IA podría superar las limitaciones cognitivas y los sesgos humanos. Esta divergencia obliga a replantear el marco normativo internacional y a formular nuevas regulaciones que respondan al reto de cómo garantizar la toma de decisiones humanas significativas, en un entorno donde los sistemas autónomos adquieren cada vez mayor protagonismo, como garantizar la toma de decisiones humanas significativas en un entorno de creciente autonomía y como asumirlo en el contexto colombiano.

En este mismo sentido la ventaja decisional que promete la IA solo es estratégicamente sostenible si es jurídicamente defendible. Integrar salvaguardas éticas desde el diseño y la doctrina preserva la iniciativa del comandante, la confianza pública y la legitimidad internacional del empleo del poder naval colombiano.

Sumado a ello, los riesgos operacionales de la IA en el C2 no solo derivan de fallas técnicas. Entre ellos destacan la dificultad de prever efectos en entornos dinámicos debido a faltas en la identificación de objetivos, la reducción de la intervención humana en decisiones críticas y la vulnerabilidad frente a engaños algorítmicos, reducción de la capacidad de intervención humana ante el eventual caso de que no se rindan cuentas por afectaciones ocasionadas (CICR, 2021). Así mismo, la falta de cualidades humanas como emociones, conciencia, intuición y experiencia (Concha, 2024), lo que incrementa el riesgo de una confianza excesiva en la máquina.(Gómez de Ágreda, 2020).

Además, la IA puede ser usada como herramienta del oponente como amenaza directa ya que el uso malicioso para provocar la desestabilización a actores estatales o no estatales, la manipulación de datos de forma adaptativa para negar el acceso en sistemas propios, acciones de desinformación por bots y perfiles falsos. Todo esto puede agravarse aún más si se conjugan con afectaciones a sistemas de armas, vehículos no tripulados, identificación un atacante impredecible en el ciberespacio y sofisticado dentro de la zona gris (Gómez de Ágreda, 2020).

5 Estudios de caso: lecciones globales de la IA en operaciones navales

Los casos internacionales muestran cómo distintas marinas están incorporando la IA y la ciencia de datos, desde pruebas reales hasta proyecciones estratégicas propias de la Revolución en Asuntos Militares. Analizar estas experiencias permite contrastar la trayectoria de la Armada de Colombia con las lecciones que ofrecen las potencias navales.

5.1 De la IA en el combate a la logística naval en EE.UU.

En el caso del USS Jack Lucas, que en 2024 logró interceptar un misil balístico gracias a algoritmos de IA (Lockheed Martin, 2024), se refleja un cambio doctrinal en la reducción del tiempo de decisión en escenarios de alta amenaza integrando capacidades como lo muestra la figura 9 (Biehn, 2021). Para Colombia, este ejemplo abre la discusión sobre hasta qué punto la automatización puede complementar o desplazar la autoridad del comandante en contextos de defensa en el mar Caribe.

En el ámbito logístico, se adjudicó en 2022 una plataforma de Inteligencia de Negocios para el mantenimiento de buques del NAVSEA basada en IA, big data y machine learning, cuya arquitectura se muestra en la figura 10. La iniciativa busca integrar datos dispersos y ofrecer análisis en tiempo real con el fin de anticipar fallas y asegurar la disponibilidad de la flota. Más que una mejora administrativa, este enfoque muestra cómo la IA se está convirtiendo en un habilitador de sostenibilidad operativa y preparación estratégica (QlikTech International AB, 2022).

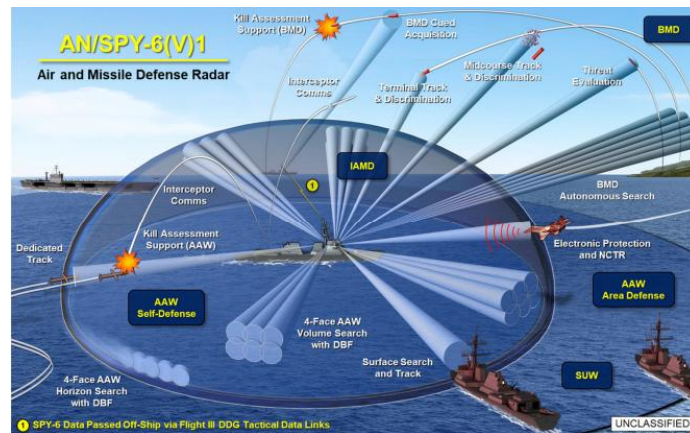


Figura 9. Capacidades del sistema de armas del sistema de combate BL10 del USS J. Lucas. Fuente: Biehn, A. (2021). Baseline 10 and SPY-6 Integration & Path to Navy Operational Architecture (NOA). https://www.navsea.navy.mil/Portals/103/Documents/Exhibits/SAS2021/SAS2021-AEGIS_and_Forge.pdf

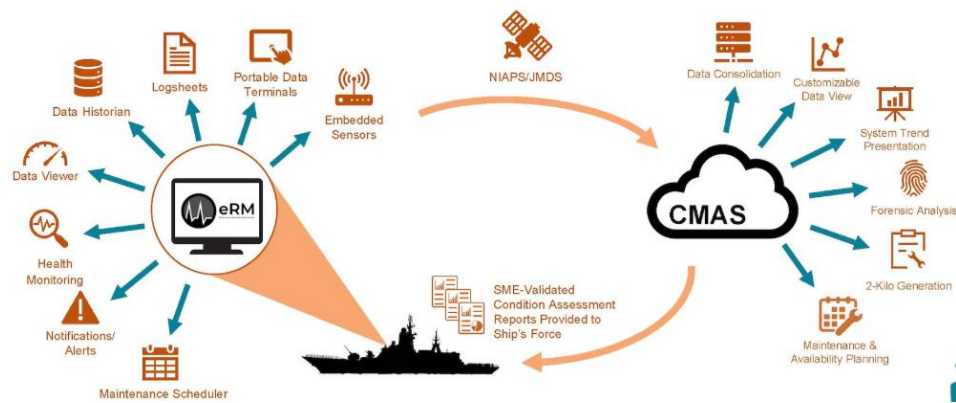


Figura 10. Arquitectura del programa de mantenimiento basado en condición de la Armada de EE.UU. Fuente: Eil, G. (2023). NSWCPD Engineers Spearheading Condition Based Maintenance (CBM) Program for U.S. Navy. Naval Sea Systems Command. <https://www.navsea.navy.mil/Media/News/Article-View/Article/3590550/nswcpd-engineers-spearheading-condition-based-maintenance-cbm-program-for-us-na/>

El Centro de Guerra Naval de Superficie (NSWCPD) viene aplicando desde 2019 machine learning para desarrollar gemelos digitales que permiten detectar anomalías en tiempo real en sistemas eléctricos, mecánicos y estructurales de los buques (Eil, 2023). Esta

transición, que sustituye a un sistema vigente desde 1990, no solo moderniza la supervisión técnica, sino que redefine la relación entre mantenimiento y disponibilidad operativa, abriendo un campo clave de reflexión para marinas que, como la colombiana, buscan prolongar la vida útil de sus unidades con presupuestos limitados mediante la migración hacia la automatización junto al uso de plataformas de inteligencia de negocios.

5.2 Reino Unido y su vigilancia marítima con sistemas autónomos.

Con el vehículo aéreo no tripulado (UAV) Peregrine mostrado en la figura 11, la Royal Navy explora la vigilancia marítima asistida por IA (Schiebel Aircraft, 2023). Más allá de su autonomía de vuelo o sensores, su verdadero aporte radica en integrar la información recogida al sistema de combate del buque nodriza y distribuirla entre múltiples usuarios (Royal Navy, 2023). Esto multiplica la cobertura sin comprometer aeronaves tripuladas y optimiza la asignación de recursos en escenarios de contrabando y terrorismo en el golfo de Omán y de Adén (Royal Navy, 2025).



Figura 11. UAV Peregrine de la Real Armada Británica. Fuente: Royal Navy. (2025). Royal Navy's mini-helicopter debuts on operations in Gulf. *Royal Navy News*.

<https://www.royalnavy.mod.uk/news/2025/february/21/20250221-royal-navys-mini-helicopter-debuts-on-operations-in-gulf>

5.3 La estrategia naval china como fusión de IA con sistemas no tripulados.



Figura 12. Buque no tripulado “Orca” de PLAN. Fuente: Rahmat, R. (2024). Airshow China 2024_ China debuts 500 tonne unmanned surface vessel. JANES. <https://www.janes.com/osint-insights/defence-news/security/airshow-china-2024-china-debuts-500-tonne-unmanned-surface-vessel>

China proyectó desde 1990 la modernización de sus Fuerzas Armadas para, principalmente, abordar militarmente la situación con Taiwán y defender sus líneas de comunicación (O’Rourke, 2024). Por ende, la Armada del Ejército de Liberación Nacional Chino ha proyectado su transformación hacia la llamada ‘guerra inteligentizada’, donde IA, machine learning y computación cuántica convergen en C2 con comunicaciones, computadoras, cibernética e ISR (Sullivan, 2024). El buque no tripulado Orca, un trimarán de 500 toneladas, como se puede observar en la figura 12, encarna esa ambición de autonomía de combate, lanzamiento de misiles y capacidad para operar con helicópteros y submarinos no tripulados (Rahmat, 2024). Más que una plataforma, simboliza el intento chino de integrar la autonomía como núcleo de su proyección marítima.

De la misma forma, sistemas no tripulados (SS-UAV) con capacidad para transporte de docenas de enjambre de drones y apoyo logístico en entornos complejos con alta autonomía (Kadidal, 2024) librarían misiones en el campo de batalla en apoyo a otras unidades (Xuanzun et al., 2024), teniendo en cuenta las capacidades mostradas en la figura 13.



Figura 13. Configuración del vehículo no tripulado para enjambre de drones chino. Fuente: Kadidal, A. (2024). Airshow China 2024: AVIC reveals new modular payload-capable UAV. JANES.

<https://www.janes.com/osint-insights/defence-news/defence/airshow-china-2024-avic-reveals-new-modular-payload-capable-uav>

Por tanto, en la tabla 4 se observa que, aunque cada país avanza con ritmos y prioridades distintas, coincidiendo todos en integrar IA y sistemas autónomos al C2, con lecciones que pueden ser útiles para Colombia:

País	Uso / Aplicación	Tecnología utilizada	Aplicación táctica	Lecciones para Colombia
EE.UU.	Toma de decisiones de combate	IA, Machine Learning	El sistema de combate Aegis Baseline 10 ha permitido que la toma de decisiones en escenarios de defensa aérea, superficie y	Avanzar hacia integración modular y de arquitecturas abiertas para incorporar progresivamente la IA al

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”
Bogotá D.C., Colombia

			antisubmarina se ejecute con rapidez y altos márgenes de confianza. Del mismo modo, se ha fortalecido la interoperabilidad y la seguridad en el C2 directo, configurando un ecosistema donde la tecnología acelera de manera decisiva el ciclo OODA.	C2, acelerando la toma de decisiones en múltiples dominios mejorando la gestión de activos. Asimismo, impulsar doctrinas que incorporen el uso de sistemas no tripulados.
	Optimización logística y mantenimiento	IA, Machine Learning, Big Data, análisis de datos	El empleo de IA y análisis de datos permite optimizar los programas de mantenimiento de buques mediante el monitoreo remoto en tiempo real de sistemas críticos, detección temprana de anomalías en maquinaria y casco facilitando una gestión más eficiente de la disponibilidad operacional.	Robustecer los esquemas de mantenimiento predictivo, con el fin de garantizar una mayor disponibilidad de unidades navales y optimizar el uso de recursos técnicos y humanos.
Reino Unido	Vigilancia marítima asistida por UAV	IA, Machine Learning	Avances significativos en ISR, la detección de contactos móviles en el mar y en la flexibilidad del C2 al compartir información entre múltiples usuarios libera a las unidades tripuladas para asumir misiones de mayor prioridad.	Diseñar sistemas ISR flexibles e interoperables que optimicen los recursos disponibles aplicando capacidades en operaciones de interdicción y seguridad marítima.
	Estrategia de guerra inteligentizada	IA, Machine Learning, Computación cuántica	Transformación hacia una fuerza basada en guerra inteligentizada para 2035 basado en la llamada guerra inteligentizada para operar unidades con tripulaciones reducidas, generando eficiencia estratégica y táctica.	Diseñar planes de modernización que integren progresivamente tecnologías de IA y que contemplen no solo el equipamiento, sino también la preparación doctrinal y organizacional que estas transformaciones requieren.
China	Desarrollo de sistemas no tripulados autónomos y enjambres de drones	IA, Machine Learning, Computación cuántica	El desarrollo de sistemas no tripulados abarca operaciones de combate autónomas, el uso de helicópteros y submarinos no tripulados, la guerra antisubmarina, el transporte y empleo de enjambres de drones, así como el apoyo a la conciencia situacional bajo un modelo de proyección marítima altamente autónomo y disruptivo.	Priorizar integración IA-C2 desde el diseño de plataforma. Impulsar autonomía en proyección marítima y preparar doctrinas para la integración de enjambres y sistemas autónomos. considerar contramedidas a enjambres y resiliencia C2.

Tabla 3. Análisis casos de estudio de potencias en materia de IA en C2. Elaboración del autor.

5.4 Implicaciones estratégicas para la Armada Nacional.

La modernización tecnológica aparece como un imperativo estratégico (O’Rourke, 2024). En esa línea, la experiencia china muestra la importancia de planificar a futuro, haciendo menester ajustar la implementación de estos sistemas a las estrategias y al Plan de Desarrollo Naval que le siga al 2042 para visualizar el camino hacia la modernización; mientras que el Reino Unido evidencia la necesidad de sistemas flexibles e interoperables, teniendo en cuenta que esta misma carrera la están realizando otras fuerzas, como la aeroespacial con su proceso de adquisición de nuevos aviones de combate y sus vehículos pilotados remotamente. Al mismo tiempo, la lección estadounidense confirma que la integración de IA en C2 acelera el ciclo OODA (Astaburuaga, 2018), lo que en Colombia podría reforzar la conciencia situacional y optimizar recursos en operaciones marítimas como se ha previsto con el sistema de gestión de combate de la PES (SAAB, 2025b). Sin embargo, estas oportunidades no están exentas de riesgos: desde la dependencia tecnológica hasta las implicaciones éticas del empleo de sistemas autónomos (CICR, 2021), lo que obligaría a fortalecer marcos legales y de formación en la Armada de Colombia.

6 Implicaciones estratégicas y operativas para la Armada Nacional

Dado que la Armada Nacional está avanzando hacia la vanguardia tecnológica, visualizando las implicaciones políticas y de requerimientos para su desarrollo, se citarán varias recomendaciones desde el enfoque investigativo para que su derrotero continúe por el mar de la legitimidad.

6.1 Mejora de la conciencia situacional y del tiempo de respuesta usando IA

El potencial que proponen estas tecnologías a la Armada de Colombia responde este interrogante consistente en el cómo mejorar la identificación de patrones en entornos complejos, lo que está transformando la manera en que los comandantes construyen y actualizan su conciencia situacional (Gómez de Ágreda, 2020). Al integrarse al C2 no solo permite contribuir a la conciencia situacional (French et al., 2021) sino que también desplaza la interpretación humana hacia la automatización, lo que plantea la reflexión sobre si el análisis predictivo capaz de anticipar escenarios futuros, como menciona García (2024) y reducir la carga de información en todos los niveles de la guerra (Jordan et al., 2016).

Respecto al tiempo de respuesta, los casos revisados sugieren que la brecha entre la inmediatez de los procesos de la IA comparada con la capacidad humana (Gómez de Ágreda, 2020) puede acelerar el ciclo OODA propio para obtener ventaja e incapacitar al adversario (Prats, 2001). También, los sistemas de gestión de batalla (que identifican y atacan amenazas), mejorados por IA (Johnson et al., 2022) liberarían al humano para suplir actividades con mayor juicio (Gómez de Ágreda, 2020).

En este sentido, la Armada Nacional ha integrado tecnologías disruptivas para mitigar la niebla, vulnerabilidad y complejidad en el C2 a través del apoyo a las decisiones del comandante. La PES es un claro ejemplo de la inclusión de un sistema de gestión de combate que posiblemente emplee IA para la planificación, coordinación y optimización autónoma en tiempo real.

Sobre la optimización de las estructuras de comando a través del aprendizaje automático y la automatización se observa que no se constituye una excepción dentro de las múltiples bondades que la inteligencia artificial puede ofrecer a Colombia. Su incorporación al C2 permitiría gestionar grandes volúmenes de datos en tiempo real, priorizar información crítica y reducir de manera significativa la carga cognitiva de los operadores. Este potencial no se limita al alivio de tareas: se traduce en mejoras sustantivas de la toma de decisiones gracias a sistemas automatizados de gestión de batalla, simulaciones y enfoques operacionales que proporcionan escenarios prospectivos más precisos.

Del mismo modo, la automatización de la guerra abre la posibilidad de planificar y ejecutar operaciones con un grado mínimo de intervención humana, configurando una ventaja asimétrica frente a actores que no cuenten con dichas capacidades (Simonetti & Tripodi, 2020). Sin embargo, más que reemplazar al ser humano, la IA se proyecta como un agente de colaboración, capaz de complementar las fortalezas humanas en contextos complejos y dinámicos mediante un análisis situacional más integral (Warren & Hillas, 2020). En este sentido, la Revolución en Asuntos Militares aceleraría la adquisición de ventajas competitivas en conflictos modernos caracterizados por la adaptabilidad, la velocidad y la incertidumbre (Simonetti & Tripodi, 2020).

En síntesis ejemplos internacionales muestran enfoques desde el aumento de capacidades humanas hasta acelerar la decisiones con IA. No obstante, para Colombia la implementación de estas tecnologías se ha convertido en pasos hacia la optimización de sus estructuras de mando y operaciones.

6.2 Recomendaciones para la formulación de políticas en la integración de IA en sistemas C2 navales

Definir estándares y requisitos claros para los sistemas de IA utilizados en la toma de decisiones militares, incluyendo métricas de confianza y salvaguardas ayudaría a detectar situaciones emergentes inesperadas (Horowitz & Scharre, 2021), en las que el DIH no dé respuestas completas a las acciones de equipos autónomos. De ahí, la necesidad de implementar nuevas formas y límites teniendo en cuenta los riesgos humanitarios y éticos (CICR, 2021).

Por otra parte, la gestión de riesgos y la mitigación de la incertidumbre exigen evaluar la exclusión de la IA en áreas de alto riesgo y responsabilidad, reservando al juicio humano la interpretación de intenciones. Esto obliga al diseño de procesos para limitar posibles fallas de la IA. Asimismo, mitigar las vulnerabilidades de ciberseguridad de los sistemas de IA en condiciones no ideales o de interferencias para evitar ser engañados o intervenidos por el adversario (Horowitz & Scharre, 2021) es clave para evitar derivar en escaladas accidentales (González, 2024).

En materia de capital humano y cultura organizacional, involucrar a tomadores de decisiones de alto nivel en el desarrollo, la prueba y la evaluación de sistemas, así como

formarlos para identificar fallas (Horowitz & Scharre, 2021) contribuiría a que las brechas de habilidades, capacitación, experiencia y participación entre comandante y usuarios se reduzcan e impacten positivamente en la adaptabilidad.

De otra manera, el reconocer la necesidad de una alta infraestructura que soporte el manejo, protección y procesamiento de grandes volúmenes de datos, requiere de sistemas integrados para normalizar datos de diversas fuentes (Carrasco, 2025). Así mismo, planificar la alta inversión para lograr la interoperabilidad entre buques, submarinos, vehículos no tripulados y unidades aeronavales, enlazados y protegidos con ciberseguridad (García, 2024).

En otro sentido, fomentar la colaboración internacional para desarrollar técnicas seguras y mejores prácticas mutuamente beneficiosas para reducir el riesgo de fallas catastróficas de la IA (González, 2024) se hace necesario para comprometerse para mitigar situaciones donde haya riesgos significativos de escalada (Horowitz & Scharre, 2021).

Finalmente, la Armada Nacional se encuentra bajo la posibilidad de mantenerse a la vanguardia mediante la implementación de tecnologías mejorando el C2 y la interoperabilidad, lo que implica una adaptación organizacional a través de políticas que promuevan una cultura de innovación, mecanismos de aprendizaje y disseminación del conocimiento de forma ética (Soffia, 2021); o bien, se puede observar que la ventaja estratégica se haría diferencial para Colombia si se sustenta de manera sólida en aspectos éticos y humanos.

7 Conclusiones y perspectivas futuras

A través del hilo conductor se ha abordado con argumentos dilemas actuales que permitan al lector observar que Colombia no ha sido ajeno al experimentar el cambio del carácter de la guerra, y por ende, al C2, exigiendo a los comandantes una mayor apertura mental bajo la premisa de enriquecer su arte operacional ante las actuales amenazas y escenarios prospectivos. En definitiva, la IA y la ciencia de datos se consolidan como ejes transformadores del C2 naval, configurando un escenario en el que la velocidad, adaptabilidad y legitimidad serán los verdaderos diferenciadores estratégicos.

No obstante, para la Armada de Colombia, el reto no radica únicamente en incorporar tecnologías disruptivas, sino en integrarlas desde una perspectiva ética a todos los niveles de la guerra, en el cual se preserve el protagonismo del comandante, fortaleciendo la interoperabilidad y garantizando el cumplimiento del DIH y los DDHH soportado en una infraestructura robusta, inversión sostenida, capacitación de capital humano y marcos normativos claros. De esta manera, la integración de la IA y la ciencia de datos en el C2 naval no solo potenciará la capacidad operativa de la Armada Nacional, sino que, al sustentarse en la legitimidad y el liderazgo humano, proyectará a Colombia como un referente regional de innovación tecnológica y responsabilidad ética a nivel naval.

Como hallazgos clave se identifica que, en su evolución histórica, el C2 siempre ha sido relevante, mostrando al humano en el centro de la RAM, demostrando los avances en materia de adaptabilidad organizacional, equipos autónomos y avances en equipos hombre máquina, que de una u otra forma obligan a que el comandante tenga que visualizar que su

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

mando traspasará del tratar a sus subalternos hasta un vehículo autónomo con IA, sin dejar de ser el protagonista. Es decir, se observa una transformación de la autoridad del comandante bajo una perspectiva crítica, ya que está migrando a asumir roles que anteriormente no tenía.

Esto representa una RAM centrada en el C2, que a futuro, podría crear un sistema independiente considerado como la “mano derecha” del comandante, programado con estándares éticos y de subordinación robustos que no sobrepasen la capacidad del decisor humano. Todo esto sin olvidar que, el comandante seguirá siendo el protagonista del arte y diseño operacional, lidiando con el nuevo cambio en el carácter de la guerra.

Para la Armada de Colombia proyectos como la digitalización, mantenimiento predictivo, la incorporación de Vehículos No Tripulados y la integración de sistemas de gestión de combate con tecnologías disruptivas en la PES, demuestra un gran avance que la hace un referente regional y, por qué no, mundial.

Potencias globales brindan oportunidades de enseñar lecciones para que Colombia cumpla su prospectiva, resaltando el acelerar el ciclo OODA desde un centro de operaciones estadounidense, al tener un sistema flexible interoperable británico, junto al término de guerra inteligentizada de China que emerge como un nuevo paradigma, todos con sistemas de combate más sofisticados con una mínima presencia humana, soportados en una base económica notable, que a la larga afrontará desafíos significativos en materia ética, resistencia a la adopción y generación de confianza.

Todo lo dicho muestra que el futuro de la IA y la ciencia de datos en la guerra naval se ha convertido en una tendencia hacia la integración profunda de estas tecnologías en todos los niveles del C2, lo que hará que los sistemas a los que hace parte adopten tareas entre

peligrosas y rutinarias, representando una ventaja asimétrica clave para afectar el ciclo OODA del adversario (French et al., 2021).

Sin embargo, esto está causando desafíos identificados como la carrera por la superioridad con IA por parte de las superpotencias en su intento de disminuir los riesgos de escalada accidental o deliberada, la necesidad de proteger sistemas críticos; considerando aspectos legales y éticos sobre la toma de decisiones dentro de un debate y desarrollo normativo continuo y profundo donde la confianza en estos sistemas dependerá de un factor humano y operacional crítico (Pérez & Martín, 2023). Para Colombia, también son aspectos considerables en un momento en el cual su adopción busca optimizar las operaciones navales dentro del Rango de las Operaciones Militares en el cual la sencillez, el ámbito de control, la integridad de la Unidad e interoperabilidad se armonicen con la legitimidad que da el cumplimiento de los DDHH y DIH.

Para futuras investigaciones y desarrollo de políticas se recomienda indagar profundamente sobre el impacto de la IA en las operaciones navales, que sin necesidad de acceder a información clasificada, se muestre la capacidad disuasiva a través de resultados operacionales respecto a la influencia en la Armada de Colombia de los nuevos avances entre potencias.

De igual modo, en materia de desarrollo de políticas, se recomienda aprovechar avances en las discusiones del CICR, San Remo y actores tecnológicos influyentes sobre DIH, DDHH y ética enfocada en la responsabilidad y autonomía enfocadas en estas tecnologías, contemplando la experiencia de países para que las políticas obtengan resultados eficaces y efectivos conjugado con la legitimidad y bajos daños colaterales. En este marco,

la exigencia de preservar un control humano significativo se convierte en el principio rector que debe armonizar la innovación tecnológica con la responsabilidad ética en el C2 naval.

Seguidamente, en cuanto a investigación y desarrollo tecnológico se ha notado un avance contundente entre potencias, a lo cual Colombia está motivada para seguir investigando y desarrollando en estas tecnologías para obtener resultados confiables en entornos no ideales y ante cambios inesperados o interferencias, demostrando exploraciones en múltiples aplicaciones para cumplir fines institucionales, lo cual se recomienda siga así.

Desde la perspectiva del desarrollo de capital humano y adaptación organizacional, no puede olvidarse el papel principal que cumple el hombre, se recomienda confrontar las innovaciones tecnológicas dentro de la estructura naval respecto a las brechas de habilidades mediante capacitación y experiencia del personal para que los tripulantes con especialidades afines como inteligencia, electrónica, o bien, nuevas especialidades aborden labores específicas relacionadas con el diseño, prueba, evaluación y educación de los sistemas de IA, sin dejar de lado a los comandantes. No obstante, las instituciones navales de nivel mundial deben investigar y mitigar los riesgos asociados aceptar sin cuestionar las evaluaciones de la IA, la interacción hombre-máquina y la generación de un exceso de confianza en los sistemas autónomos.

En igual sentido, la colaboración y relaciones internacionales investigados y citados en el presente trabajo demuestran que son claves para la seguridad de las naciones, sobre todo para disuadir. Por consiguiente, el fomentar la colaboración internacional para desarrollar técnicas seguras y mejores prácticas para reducir el riesgos. También, esto obliga a comprometerse a moderar el uso de capacidades habilitadas por IA en situaciones con riesgos significativos de escalada.

En definitiva, la inteligencia artificial y la ciencia de datos se consolidan como ejes transformadores del C2 naval, configurando un escenario en el que la velocidad, adaptabilidad y legitimidad serán los verdaderos diferenciadores estratégicos. Para la Armada de Colombia, el reto no radica únicamente en incorporar tecnologías, sino en integrarlas desde una perspectiva ética a todos los niveles de la guerra, en el cual se preserve el protagonismo del comandante, fortaleciendo la interoperabilidad y garantizando el cumplimiento del DIH y los DDHH. De lograrse, Colombia no solo optimizará su capacidad de respuesta, sino que se proyectará automáticamente como un referente regional en la aplicación legítima e innovadora del C2 asistido por IA.

Referencias

- Airforce Technology. (2021). Sistema de aeronave no tripulada (UAS) VTOL V-BAT 128, EE. UU. *Airforce Technology*. <https://www.airforce-technology.com/projects/v-bat-128/?cf-view&cf-closed>
- Alberts, D. S., & Hayes, R. E. (2006). *Understanding Command and Control*. www.dodccrp.org
- Allegrì, R. (2023). Russian Full Spectrum Conflicts and information warfare as Complex Adaptive Systems: The 2014 Crimean case study. *Comparative Strategy*, 42(4), 528–555. <https://doi.org/10.1080/01495933.2023.2219193>
- Arkin, R. (2009). *Governing Lethal Behavior in Autonomous Robots*.
- Armada de Colombia. (2024a). Armada de Colombia firmó alianza estratégica con LIG NEX1 y la Universidad de los Andes. *Armada de Colombia*. <https://www.armada.mil.co/es/node/65191>
- Armada de Colombia. (2024b). En el marco de los 80 años de la Aviación Naval y gracias a la cooperación internacional entre la Misión Naval de los Estados Unidos. *Facebook*. <https://www.facebook.com/photo/?fbid=814999697480097&set=pcb.814999874146746>
- Armada Nacional. (2021). *Plan de Desarrollo Naval 2042*.
- Astaburuaga, G. J. (2018). ¿Necesitamos ingenieros navales informáticos? *Revista de Marina N° 965*, 965, 62–68. <https://revistamarina.cl/revistas/2018/4/gjordana.pdf>
- Australian Government Defense. (2024). El Pilar II de AUKUS en acción en el Ejercicio Autonomous Warrior 2024 _ Ministros de Defensa. *Australian Government Defense*. <https://www.minister.defence.gov.au/media-releases/2024-10-25/aucus-pillar-ii-action-exercise-autonomous-warrior-2024>
- AWS. (2024). ¿Qué es la ciencia de datos? <https://aws.amazon.com/es/what-is/data-science/>
- Bassoli, A. (2021). Mars adapting. Military change during war. *Journal of Military and Strategic Studies*, 21(4).
- Biehn, A. (2021). *Baseline 10 and SPY-6 Integration & Path to Navy Operational Architecture (NOA)*. https://www.navsea.navy.mil/Portals/103/Documents/Exhibits/SAS2021/SAS2021-AEGIS_and_Forge.pdf
- Bossio, V. (2023). La Inteligencia Artificial en el Ámbito Militar: Una herramienta relevante y útil. *Seguridad y Poder Terrestre*, 2. <https://doi.org/https://doi.org/10.56221/spt.v2i3.33>
- Brander, J., Zegers, R., & Marchessi, Á. (2007). *Network centric warfare* (Vol. 5).
- Burke, E. J., Gunness, K., Cooper III, C. A., & Cozad, M. (2020). *People’s Liberation Army operational concepts*.
- Carrasco, B. (2025). Así es Zeus, el novedoso proyecto que transformará por completo al Ejército de Tierra. *La Razón*. https://www.larazon.es/espana/defensa/asi-zeus-novedoso-proyecto-que-transformara-completo-ejercito-tierra_2025033067e9792a6990370001fd9d28.html

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

- Cavanagh, C. (2015). The key to Midway. Coral sea and culture of learning. *Naval War College Review*, 68, 119–127.
- CCW/GGE. (2023). Informe del período de sesiones de 2023 del Grupo de Expertos Gubernamentales sobre las Tecnologías Emergentes en el Ámbito de los Sistemas de Armas Autónomos Letales. *CCW/GGE.1/2023/2*. [https://docs-library.unoda.org/Convention_on_Certain_Conventional_Weapons_Group_of_Governmental_Experts_on_Lethal_Autonomous_Weapons_Systems_\(2023\)/CCW-GGE.1-2023-2_English.pdf](https://docs-library.unoda.org/Convention_on_Certain_Conventional_Weapons_Group_of_Governmental_Experts_on_Lethal_Autonomous_Weapons_Systems_(2023)/CCW-GGE.1-2023-2_English.pdf)
- CICR. (2021). *Posición del CICR sobre los sistemas de armas autónomos*. https://www.icrc.org/sites/default/files/document_new/file_list/4550_003-ebook.pdf
- Cole, A., Drew, P., McLaughlin, & Mandsager, D. (2009). *Sanremo handbook on rules of engagement*. <https://iihl.org/wp-content/uploads/2022/12/ROE-HANDBOOK-ENGLISH.pdf>
- Colom, P. (2014). *El desarrollo conceptual de la revolución en los asuntos militares*. <https://let.iiec.unam.mx/sites/let.iiec.unam.mx/files/DesarrolloConceptualdeLaRAM.pdf>
- Concha, I. (2024). La inteligencia artificial y las decisiones operacionales. *Revista de Marina*, 142(1003). <https://revistamarina.cl/es/articulo/la-inteligencia-artificial-y-las-decisiones-operacionales>
- Cordón, J. R., Olivier, P. R., García Sedeño, M. A., & Martín, J. W. (2014). Diseño y validación de una prueba de selección para controladores de tráfico marítimo basada en la medida de la conciencia situacional. *Revista de Psicología Del Trabajo y de Las Organizaciones*, 30(2), 83–93. <https://doi.org/10.1016/j.rpto.2014.06.002>
- Dekker, S. (2011). *Drift into failure. From hunting broken components to understanding complex systems*.
- Department of the Navy. (2010). Composite Warfare Doctrine NWP 3-56. *Navy Warfare Publication*. https://studylib.net/doc/26041719/nwp-3-56-sep-2010-cwc-1#google_vignette
- Ell, G. (2023). NSWCPD Engineers Spearheading Condition Based Maintenance (CBM) Program for U.S. Navy. *Naval Sea Systems Command*. <https://www.navsea.navy.mil/Media/News/Article-View/Article/3590550/nswcpd-engineers-spearheading-condition-based-maintenance-cbm-program-for-us-na/>
- Espinel, J. (2020). *Prospectiva de las operaciones navales*. <https://esdeglibros.edu.co/index.php/editorial/catalog/download/75/114/1023?inline=1>
- French, R. ;, Fukumae, W. Y. ;, Hun, K. S. ;, Matuga, O. ;, & O’shaughnessy, C. R. (2021). *Data management for Artificial Intelligence Machine Learning implementation across the Department of the Navy*. <http://hdl.handle.net/10945/67715>
- Fuerzas Militares de Colombia. (2023). *Manual Fundamental Conjunto 3-0 Operaciones Conjuntas*.
- García, J. (2024). Tendencias y perspectivas futuras de la IA en el ámbito militar. *Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto.”*

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

<https://www.esdegrepositorio.edu.co/bitstream/handle/20.500.14205/11258/TRABAJO%20FINAL%20ARTICULO%20VERSION%20FINAL%20-%2030%20SEPTIEMBRE%20%20FINAL%20FINAL%20OK%20ESTE%20ES%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Gómez de Ágreda, Á. (2020). *Usos militares de la inteligencia artificial, la automatización y la robótica (IAA&R)*.
- González, G. (2024). *Propuesta de un modelo conceptual de Big Data para la inteligencia militar*. <https://revistaensayosmilitares.cl/index.php/acague/article/view/458/284>
- Holland, J. (2003). *Sistemas Adaptativos Complejos* (A. Pazos & A. Rivas, Trans.). https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/9449/CC_019_art_10.pdf
- Horowitz, M. (2010). *The Diffusion of Military Power*.
- Horowitz, M. C., & Scharre, P. (2021). *AI and International Stability Risks and Confidence-Building Measures*. <https://s3.us-east-1.amazonaws.com/files.cnas.org/documents/AI-and-International-Stability-Risks-and-Confidence-Building-Measures.pdf>
- Hughes, W., Girrier, R., & Richardson, J. (2018). *Fleet tactics and naval operations*.
- IBM. (2024). *¿Qué es la Inteligencia Artificial (IA)?* La inteligencia artificial, o IA, es tecnología que permite que las computadoras simulen la inteligencia humana y las capacidades humanas de resolución de problemas.
- IIHL. (1994). *San Remo Manual on international law applicable to armed conflicts at sea*.
- Jamison, Mi. (2025). Navy to Use AI for Information Warfare. *ExecutiveGov*. <https://executivegov.com/2025/01/navy-artificial-intelligence-information-warfare/>
- JEF. (2024). NORDIC WARDEN enhances protection of critical undersea infrastructure. *Joint Expeditionary Force (JEF)*. <https://jefnations.org/2024/06/10/nordic-warden-enhances-protection-of-critical-undersea-infrast>
- Johnson, B., Miller, S., Green, J. M., Godin, A., Nagy, B., Lee, B., Badalyan, R., Nixt, M., Graham, A., & Sanchez, J.-E. (2022). *Game theory and prescriptive analytics for naval wargaming battle management aids*. <https://apps.dtic.mil/sti/trecms/pdf/AD1202054.pdf>
- Jordan, D., Kiras, J. D., Lonsdale, D. J., Speller, I., Tuck, C., & Dale Walton, C. (2016). *Understanding modern warfare*.
- Kadidal, A. (2024). Airshow China 2024: AVIC reveals new modular payload-capable UAV. *JANES*. <https://www.janes.com/osint-insights/defence-news/defence/airshow-china-2024-avic-reveals-new-modular-payload-capable-uav>
- Lin, P. G., Bekey, K., & Abney, M. A. (2008). *Autonomous military robotics: Risk, ethics, and design*.

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

- Lockheed Martin. (2023). *A Hypersonics First: Integration on a Navy Stealth Destroyer*.
https://www.lockheedmartin.com/en-us/news/features/2023/a-hypersonics-first--integration-on-a-navy-stealth-destroyer.html?utm_source=chatgpt.com
- Lockheed Martin. (2024). *Aegis Combat System Intercepts Missile in Latest Successful Flight Test*.
<https://news.lockheedmartin.com/2024-03-29-Aegis-Combat-System-Intercepts-Missile-in-Latest-Successful-Flight-Test>
- Mcdermott, R. N., & Bartles, C. K. (2020). The Russian military decision-making process & automated Command and Control. *German Institute for Defence and Strategic Studies*.
<http://dnb.dnb.de>
- Mingyang, Z., Di, Z., Shanshan, F., Pentti, Kujala, & Spyros, H. (2022). A predictive analytics method for maritime traffic flow complexity estimation in inland waterways. *Reliability Engineering and System Safety*, 220. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ress.2021.108317>
- Monsalve, S. (2003). *John Nash y la teoría de juegos*.
- Navy Lookout. (2025). *Repurposing the US Navy's Zumwalt-class destroyers with hypersonic strike capability*. *Navy Lookout*. <https://www.navylookout.com/repurposing-the-us-navys-zumwalt-class-destroyers-with-hypersonic-strike-capability/>
- NSWC Carderock Division Public Affairs. (2016). Inside NSWC Carderock Division's Disruptive Technologies Lab. *Naval Sea Systems Command*.
- O'Rourke, R. (2024). *Navy Large Unmanned Surface and Undersea Vehicles: Background and Issues for Congress*. <https://crsreports.congress.gov>
- Palmer, M. A. . (2005). *Command at sea : naval command and control since the sixteenth century*. Harvard University Press.
- Pedraza, A., & Guerrero, J. (2022). *Arquitectura de operación tecnológica de referencia para el piloto del Sistema Integrado de Supervisión y Control de Plataforma Colombiano (SISCP-C)*. https://intellectum.unisabana.edu.co/bitstream/handle/10818/53119/TdG_Guerrero_Pedraza.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Pérez, F., & Martín, L. (2023). *El impacto del Big Data en las operaciones militares*.
<https://www.acami.es/wp-content/uploads/2023/05/El-impacto-del-Big-Data-en-las-operaciones-militares-web.pdf>
- Pomerleau, M. (2025). Navy looking to fuse data and sensors to fight better from maritime operations centers. *DefenseScoop*. <https://defensescoop.com/2025/01/30/navy-moc-fuse-data-sensors-fight-from-maritime-operations-centers/>
- Prats, J. (2001). *La guerra del mando y control y la teoría del OODA Loop*.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4604097>
- Pulver, M. (2025). *Beneath the Surface*. *Northrop Grumman*.
<https://www.northropgrumman.com/what-we-do/sea/manta-ray/beneath-the-surface>

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

- QlikTech International AB. (2022). *Qlik Data Integration, Data Quality, and Analytics Solutions*.
<https://www.qlik.com/us/news/company/press-room/press-releases/qlik-and-grey-matters-support-navsea-through-five-year-46m-contract>
- Quandang, M., Huan, T., Cong, L., Mingyang, Z., Dingze, Z., & Zhao, L. (2024). A big data analytics method for the evaluation of maritime traffic safety using automatic identification system data. *Ocean and Coastal Management*, 251.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2024.107077>
- Rahmat, R. (2024). Airshow China 2024_ China debuts 500 tonne unmanned surface vessel. *JANES*. <https://www.janes.com/osint-insights/defence-news/security/airshow-china-2024-china-debuts-500-tonne-unmanned-surface-vessel>
- Royal Navy. (2023). Royal Navy to get new ‘eye in the sky’ to find and track threats at sea. *Royal Navy News*. https://www.royalnavy.mod.uk/news/2023/february/10/20230210-royal-navy-to-get-new-eye-in-the-sky-to-find-and-track-threats-at-sea?utm_source=chatgpt.com
- Royal Navy. (2025). Royal Navy’s mini-helicopter debuts on operations in Gulf. *Royal Navy News*. <https://www.royalnavy.mod.uk/news/2025/february/21/20250221-royal-navys-mini-helicopter-debuts-on-operations-in-gulf>
- SAAB. (2025a). Saab firma contrato para proveer el Sistema de Combate de la nueva fragata de la Armada de Colombia. *SAAB*. <https://www.saab.com/es/markets/colombia/contenido-editorial/noticias-y-comunicados-de-prensa/2025/saab-firma-contrato-para-proveer-el-sistema-de-combate-de-la-nueva--fragata-de-la-armada-de-colombia>
- SAAB. (2025b). *Striking performance 9LV Naval Combat System*.
<https://www.saab.com/products/9lv-cs>
- Saumeth, E. (2025). Colombia despliega sus drones V-BAT en la costa pacífica. *Infodefensa.Com*.
<https://www.infodefensa.com/texto-diario/mostrar/5202284/035-colombia-colombia-despliega-drones-v-bat-costa-pacific>
- Schiebel Aircraft. (2023). *Schiebel Camcopter S-100*. https://schiebel.net/wp-content/uploads/downloadBrochures/CAMCOPTER_S-100_Brochure_Spain/index.html#page=22
- Sepúlveda, C. (2021). Data Science: ¿Por qué lo necesitamos. *Revista de Marina*, 138(948).
<https://revistamarina.cl/es/articulo/data-science-por-que-lo-necesitamos>
- Shield AI. (2025). *V-BAT (ISR + targeting)*. <https://shield.ai/v-bat/>
- Simonetti, R., & Tripodi, P. (2020). Automation and the Future of Command and Control. *Journal of Advanced Military Studies*, 11. <https://doi.org/https://doi.org/10.21140/mcu.2020110106>
- Soffia, J. (2021). Adaptación al cambio y resiliencia organizacional, ¡antes de que sea tarde! *Revista de Marina*. <https://revistamarina.cl/es/articulo/adaptacion-al-cambio-y-resiliencia-organizacional-antes-de-que-sea-tarde>
- Struble, D. (1995). *What Is Command and Control Warfare?* <https://digital-commons.usnwc.edu/nwc-review>

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

- Sullivan, I. M. (2024). *Tres fechas, tres ventanas y todo el DOTMLPF-P: Cómo el Ejército Popular de Liberación supone un desafío para todo el Ejército.*
- Sychev, V. (2018). La amenaza de los robots asesinos. *The UNESCO Courier*.
<https://courier.unesco.org/es/articulos/la-amenaza-de-los-robots-asesinos>
- Thales Group. (2018). *Cómo la transformación digital está potenciando la superioridad naval.*
<https://www.thalesgroup.com/es/el-mundo/defence/magazine/como-transformacion-digital-esta-potenciando-superioridad-naval>
- The Royal Navy. (2024). Australian exercise puts Royal Navy autonomous systems through their paces. *The Royal Navy*. <https://www.royalnavy.mod.uk/news/2024/october/28/20241028-australian-exercise-puts-royal-navy-autonomous-systems-through-their-paces>
- U.S. 7th Fleet Public Affairs. (2023). Unmanned Surface Vessel Division One Makes Its First Port Visit in Yokosuka, Japan. *America's Navy*. <https://www.navy.mil/Press-Office/News-Stories/Article/3533103/unmanned-surface-vessel-division-one-makes-its-first-port-visit-in-yokosuka-jap/>
- US Marine Corps. (1996). *Command and Control. MCDP 6.*
- Virgamo, J. (2019). *Doctrinal shortfalls in navy mission command.*
<https://apps.dtic.mil/sti/trecms/pdf/AD1177410.pdf>
- Viveros, J. (2024). The risks and inefficacies of AI systems in military targeting support. *Humanitarian Law & Policy*. https://blogs.icrc.org/law-and-policy/2024/09/04/the-risks-and-inefficacies-of-ai-systems-in-military-targeting-support/?utm_source=chatgpt.com
- Warren, A., & Hillas, A. (2020). Friend or frenemy? The role of trust in human-machine teaming and lethal autonomous weapons systems. *Small Wars and Insurgencies*, 31(4), 822–850.
<https://doi.org/10.1080/09592318.2020.1743485>
- Williams, R. (2022). *Navy Increases Unmanned Capabilities with Newly Established Unmanned Surface Division.*
<https://www.surfpac.navy.mil/DesktopModules/ArticleCS/Print.aspx?PortalId=54&ModuleId=29618&Article=3033092>
- Xuanzun, L., Wei, F., & Jun, M. (2024). China unveils heavy “swarm carrier” UAV at airshow - People's Daily Online. *People's Daily Online*. <https://en.people.cn/n3/2024/1118/c90000-20243416.html>
- Zamora, A. (2015). *La Teoría de Juegos en la toma de decisiones militares.*
<https://zaguan.unizar.es/record/94996/files/TAZ-TFG-2015-344.pdf?version=1>

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”
Bogotá D.C., Colombia