



Universidad del Desarrollo
Facultad de Ingeniería

VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS DE DESPEGUE Y ATERRIZAJE VERTICAL: UNA NUEVA TECNOLOGÍA PARA LA ARMADA DE CHILE

JORGE HARTUNG ENRÍQUEZ

PROFESOR GUÍA: HÉCTOR VALDÉS GONZÁLEZ, PhD

PROYECTO DE GRADO PRESENTADO A LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA
UNIVERSIDAD DEL DESARROLLO PARA OPTAR AL GRADO ACADÉMICO DE
MAGÍSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL Y DE SISTEMAS

SANTIAGO – CHILE
2024



Universidad del Desarrollo
Facultad de Ingeniería

VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS DE DESPEGUE Y ATERRIZAJE VERTICAL: UNA NUEVA TECNOLOGÍA PARA LA ARMADA DE CHILE

POR: JORGE HARTUNG ENRÍQUEZ

Proyecto de Grado presentado a la Comisión integrada por los profesores:

PROFESORES GUIA: Héctor Valdés-González, PhD

PROFESOR INTEGRANTE 1: (Académico)

PROFESOR INTEGRANTE 2: (Académico)

PROFESOR INTEGRANTE 3: (Empresa)

Para completar las exigencias del Grado de Magíster en Ingeniería Industrial

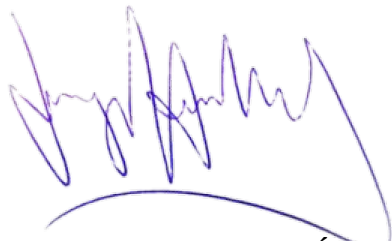
Noviembre, 2024

Santiago, Chile

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

Por medio de la presente, declaro que el trabajo titulado **VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS DE DESPEGUE Y ATERRIZAJE VERTICAL: UNA NUEVA TECNOLOGÍA PARA LA ARMADA DE CHILE**, que presento a la Universidad del Desarrollo de Chile, es de mi autoría y no ha sido publicado previamente, ni está siendo considerado para publicación bajo otra filiación. En igual sentido, declaro que el trabajo de tesis y su contenido, son originales y que todos los datos y referencias a trabajos ya publicados con anterioridad han sido debidamente identificados, referenciados o citados en el documento, y que estas citas han sido incluidas en las referencias bibliográficas. Afirmo, asimismo, que los materiales presentados no se encuentran protegidos por derechos de autor; y en caso de que así lo estuvieran, me hago responsable de cualquier litigio o reclamo relacionado con la violación de derechos de propiedad intelectual, exonerando de toda responsabilidad a la Universidad del Desarrollo de Chile.

Finalmente, me comprometo a no someter este trabajo, a consideración en ninguna revista o congreso para publicación sin contar con la aprobación y haber pasado el debido proceso de revisión en Universidad del Desarrollo. En caso de que un artículo sea aprobado para su publicación, autorizo a la Universidad del Desarrollo a incluir dicho artículo en sus revistas, y a reproducirlo, editarlo, distribuirlo, exhibirlo y comunicarlo en el país y en el extranjero, por medios impresos, electrónicos, Internet o cualquier otro medio, para propósitos científicos y sin fines de lucro.



JORGE HARTUNG ENRÍQUEZ

Firma

A la Armada de Chile, por haberme apoyado en la realización de este Magister, permitiéndome contribuir al desarrollo de la institución, con nuevas y mejores herramientas.

A mi familia, por su apoyo y acompañamiento en cada etapa de este proceso.

Finalmente, a mis hijos, ¡mis campeones!

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mis más sinceros agradecimientos a todas aquellas personas e instituciones que hicieron posible la realización de este magíster en Ingeniería Industrial y de Sistemas (MIIS), en especial a la Armada de Chile, por brindarme el apoyo y financiamiento para llevar a cabo este importante desafío académico, permitiéndome adquirir herramientas que fortalecerán mi aporte a la institución, en especial al desarrollo de proyectos en la Dirección de Programas, Investigación y Desarrollo de la Armada de Chile.

Al Director de Programa del MIIS 2023-2024, Dr. Héctor Valdés González (PhD), por su liderazgo, tenacidad y compromiso con la excelencia académica, elementos fundamentales en este proceso formativo del alumnado.

Al profesorado del MIIS que, con su dedicación durante estos cinco trimestres, contribuyeron a enriquecer mi acervo cultural y profesional, dejando una huella imborrable en mi desarrollo académico.

Finalmente, a mi familia e hijos, quienes me han acompañado con su amor y apoyo incondicional en cada etapa de este proceso. Gracias a ustedes encontré la fuerza y motivación para esforzarme y cumplir con el track de navegación trazado.

VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS DE DESPEGUE Y ATERRIZAJE VERTICAL: UNA NUEVA TECNOLOGÍA PARA LA ARMADA DE CHILE

JORGE HARTUNG ENRÍQUEZ

Bajo la supervisión del Profesor Héctor Valdés González, PhD, en la Universidad del Desarrollo de Chile

Resumen

Este trabajo presenta un análisis de la conveniencia, factibilidad y viabilidad logístico-económica respecto de la implementación del sistema de vehículos aéreos no tripulados de despegue y aterrizaje vertical (Unmanned Aerial Vehicle, Vertical Take-Off and Landing - UAV VTOL) y las nuevas capacidades que éstas brindarían a bordo de las unidades de la Armada de Chile, en el marco de las operaciones navales y marítimas. El objetivo de esta investigación es evaluar el impacto operacional, económico y logístico que implicaría su implementación de los vehículos aéreos no tripulados en las operaciones navales y marítimas a bordo de las unidades de la Armada de Chile. Para lograrlo se propone una aproximación mixta, basada en un análisis cualitativo a través de entrevistas semiestructuradas abierta de expertos, orientada a la contrastación de las capacidades en base a la experiencia con respecto al empleo de las aeronaves tripuladas en relación con los drones de despliegue vertical disponibles en el mercado. Un análisis cuantitativo con base en los datos estadísticos sobre costos de adquisición y operación de las aeronaves de exploración actualmente en uso por la institución y su correlación con los drones de despegue y aterrizaje vertical. Los datos muestran que, el empleo de UAV VTOL, en complemento con las aeronaves tripuladas embarcadas, eficientizan y reducen significativamente los costos de operación, tanto del ámbito naval como marítimo, para la Armada de Chile, a su vez reduce el riesgo operacional de los pilotos y extiende la disponibilidad de medios aéreos para las operaciones navales en el área de operaciones en beneficio de la salvaguarda de la vida en el mar, como en el resguardo y protección de la Zona Económica Exclusiva del país. En síntesis, el análisis realizado muestra que el uso de este tipo de aeronaves no tripuladas tiene importantes ventajas, las que se muestran como beneficiosas para la Armada de Chile, implicando una oportunidad para incrementar las capacidades aeronavales, eficiencia operativa, disminución de costos y un importante desafío para el desarrollo e implementación de este tipo de soluciones emergentes e innovadoras, acorde con el estado del arte y el desarrollo tecnológico, representando un complemento a las actuales capacidades de las aeronaves de la institución.

Palabras claves: UAS; MUAS; Vtol; UAV; RPAS; Situational Awareness

HIGHLIGHTS

VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS DE DESPEGUE Y ATERRIZAJE VERTICAL: UNA NUEVA TECNOLOGÍA PARA LA ARMADA DE CHILE

JORGE HARTUNG ENRÍQUEZ

- Evalúa el impacto de la implementación de las aeronaves no tripuladas en la institución
- Aproxima la solución basada en entrevistas semiestructuradas apoyadas por un diseño conceptual de misiones que estas aeronaves podrían desarrollar
- Considera muestra de 15 entrevistas a profesionales expertos en sistemas navales
- Propone la implementación de las aeronaves no tripuladas, de manera contributiva a las actuales capacidades de la aviación naval
- Presenta ventajas claves, reduciendo costos y optimizando recursos, en complemento a las capacidades de las aeronaves tripuladas de la institución

ÍNDICE GENERAL

1	INTRODUCCIÓN	10
1.1	INCORPORACIÓN DE LAS AERONAVES NO TRIPULADAS PARA LA ARMADA DE CHILE	11
1.2	BREVE DISCUSIÓN DE LA LITERATURA	11
1.3	CONTRIBUCIÓN DEL TRABAJO	17
1.4	OBJETIVO GENERAL.....	18
1.4.1	<i>Objetivos específicos</i>	18
1.5	PROPUESTA METODOLÓGICA	18
1.6	ORGANIZACIÓN Y PRESENTACIÓN DE ESTE TRABAJO	21
2	INFORMACIÓN Y RESULTADOS	22
2.1	PROCEDIMIENTO DE RECOGIDA Y ANÁLISIS DE DATOS	22
2.2	PROCESO DE RECOGIDA DE INFORMACIÓN.....	25
2.3	LOS DATOS RECOGIDOS:	25
2.4	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS	27
2.5	ANÁLISIS DE LOS DATOS CUALITATIVOS	27
2.6	ANÁLISIS DE DATOS CUANTITATIVOS.....	33
2.7	DISCUSIÓN DE RESULTADOS CUALITATIVOS.....	37
2.8	DISCUSIÓN DE RESULTADOS CUANTITATIVOS	40
2.9	IMPLEMENTACIÓN DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS: ANÁLISIS DE IMPACTO	41
3	ARTÍCULO	43
4	CONCLUSIONES GENERALES	59
4.1	PROPUESTA PARA TRABAJOS FUTUROS	61
5	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	63
6	ANEXO: REPORTE DE PLAGIO.....	66

ÍNDICE DE TABLAS

<i>TABLA 1 CATEGORIZACIÓN DE CUESTIONARIO</i>	25
<i>TABLA 2 MISIONES POR TIPO DE AERONAVES</i>	28

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 <i>GRAFICO COMPARATIVO ENTRE AERONAVES, SEGÚN SUS CAPACIDADES</i>	36
FIGURA 2 <i>GRAFO ILUSTRATIVO DE LAS CAPACIDADES SEGÚN AERONAVE</i>	37

1 INTRODUCCIÓN

Los Vehículos Aéreos No Tripulados de Despegue y Aterrizaje Vertical (UAV VTOL) han emergido como una solución tecnológica innovadora en el ámbito de las operaciones navales y marítimas. Estos sistemas combinan las ventajas operativas de los helicópteros embarcados, como la capacidad de despegue y aterrizaje vertical, con la eficiencia y autonomía de vuelo características de los aviones de ala fija. Su incorporación en la Armada de Chile representa una oportunidad estratégica para mejorar la vigilancia, la exploración aeromarítima y la protección de la soberanía nacional.

En un contexto donde los recursos institucionales son limitados y las aeronaves tripuladas representan altos costos operativos y de sostenimiento, los UAV VTOL destacan por su bajo costo de operación, bajo nivel de sostenimiento, menor consumo de combustible y menor requerimiento de personal especializado. De acuerdo con estudios recientes, estas aeronaves pueden operar a una fracción del costo de las aeronaves tradicionales.

La Armada de Chile, responsable de salvaguardar la Zona Económica Exclusiva (ZEE) y asegurar el cumplimiento de los tratados internacionales relacionados con la seguridad y protección marítima, enfrenta un desafío creciente en la vigilancia y el control de sus vastos espacios marítimos. Tradicionalmente, estas misiones han sido realizadas por aeronaves tripuladas de ala fija, como los aviones Orión P-3ACH y P-111, y de ala rotatoria, como los helicópteros Dauphin HH-65 y Cougar SH-32. Sin embargo, el uso exclusivo de estas plataformas presenta limitaciones, entre ellas, altos costos logísticos, restricciones operativas y riesgos para el personal en misiones de alto peligro.

Los UAV VTOL ofrecen una alternativa complementaria que no solo optimiza los recursos existentes, sino que también amplía las capacidades operativas de la institución. Estas aeronaves permiten realizar tareas de inteligencia, vigilancia, reconocimiento y adquisición de objetivos (o bien, C4-ISTAR - Comando, Control, Comunicaciones, Computadoras - Inteligencia, Vigilancia, Adquisición de Objetivos y Reconocimiento) con mayor eficiencia y menor exposición humana. Además, su capacidad para operar en condiciones adversas y desde plataformas de tamaño limitado, como buques de guerra, las posiciona como un recurso clave para las operaciones marítimas modernas.

La introducción de UAV VTOL también plantea desafíos significativos. Entre estos se encuentran las limitaciones tecnológicas relacionadas con la capacidad de carga, la dependencia de sistemas de comunicación robustos y la resistencia a condiciones climáticas extremas. Asimismo, su implementación requiere una integración cuidadosa con las doctrinas operativas existentes, así como el desarrollo de programas de entrenamiento y capacitación para el personal y la adopción de políticas que faciliten su operación en conjunto con las aeronaves tripuladas.

En resumen, los UAV VTOL representan una oportunidad estratégica para la modernización de la Armada de Chile, aportando soluciones innovadoras y sostenibles en un contexto donde la eficiencia operativa y la economía de recursos son esenciales. Este estudio analiza su factibilidad operacional, logística y económica, proporcionando un marco integral para su incorporación en las misiones navales y marítimas de la institución, en beneficio de la soberanía y seguridad nacional.

1.1 Incorporación de las Aeronaves no tripuladas para la Armada de Chile

Dado este contexto, es posible efectuar el siguiente cuestionamiento de contexto: ¿Cómo influye la incorporación de drones de despegue y aterrizaje vertical en las operaciones de la Armada de Chile y cuáles son sus repercusiones operativas y logísticas?

En efecto, el restringido presupuesto institucional y el alto costo que implica el empleo y sostenimiento de las aeronaves tripuladas pone en riesgo la disponibilidad operacional y la mantención de las actuales capacidades del ala fija y embarcada para el cumplimiento de los roles institucionales.

1.2 Breve discusión de la literatura

Los Vehículos Aéreos No Tripulados de Despegue y Aterrizaje Vertical (UAV VTOL) han revolucionado el sector de la defensa, específicamente el ámbito naval y marítimo. Estas aeronaves combinan las capacidades únicas de despegue y aterrizaje verticales, del helicóptero embarcado, con la eficiencia de autonomía de vuelo de los aviones de ala fija; lo que les permite operar en entornos complejos de alto riesgo y donde el margen de error es limitado, como en buques o plataformas marítimas.

La integración de los UAV VTOL en operaciones marítimas y navales está en pleno desarrollo, ofreciendo capacidades únicas que mejoran la eficiencia, la seguridad y la efectividad de las misiones en el mar. A medida que la tecnología avanza, es probable que su uso se expanda a más aplicaciones con el apoyo de softwares basados en inteligencia artificial, machine learning, procesamiento digital de datos, consolidando su papel en el futuro de las operaciones navales y marítimas.

Responsabilidad institucional en la vigilancia y exploración aeromarítima

Según lo señalado en la Doctrina Marítima Nacional: El Poder Marítimo Nacional (Armada de Chile, 2009), destaca la importancia estratégica de las nuevas tecnologías en la supervisión de vastas áreas marítimas y el control de actividades marítimas en tiempos de paz y potenciales conflictos. Es responsabilidad institucional resguardar la Zona Económica Exclusiva, cuya extensión asciende a 3.409.122 km² y su Zona de responsabilidad de búsqueda y rescate marítimo la que tiene una extensión de 26.476.009 km² (Armada de Chile: Doctrina Marítima Nacional, 2009). La capacidad de exploración aeromarítima estratégica y vigilancia marítima de Chile se centra principalmente en aeronaves de ala fija de gran envergadura, consumo y autonomía, como los aviones Orión P-3ACH, P-111 y Casa C-295, los cuales son cruciales para cubrir los extensos espacios oceánicos de interés para el país.

Inteligencia, Vigilancia y Exploración del espacio marítimo

De acuerdo lo señalado en la Política de Defensa Nacional de Chile 2020 (Ministerio de Defensa Nacional de Chile, 2020), la Armada de Chile, como autoridad marítima, juega un papel vital en la supervisión y seguridad del mar, promoviendo la protección y asistencia en todas las áreas marítimas. Su misión abarca la vigilancia y el control, asegurando mares sostenibles y seguros para proteger los intereses nacionales, enfocándose en la protección de la vida y el medio ambiente.

El proceso de Inteligencia, Vigilancia, Adquisición de Blancos y Reconocimiento (ISTAR) para el entorno naval comprende la integración de la producción de estas actividades, con el propósito de mejorar el entendimiento y la capacidad de alerta de los comandantes (situational awareness), facilitando así la toma de decisiones oportuna y precisa en el contexto operacional y táctico. Destaca la necesidad de implementar sistemas de

administración, procesamiento y análisis de datos e informaciones de inteligencia a nivel institucional o conjunto, así como diseñar e implementar políticas, doctrinas y procedimientos de entrenamiento adecuados para el proceso ISTAR, enfrentando desafíos significativos en su implementación y optimización dentro de las fuerzas armadas (Bravo, 2010).

Futuro de la aviación naval y sus dificultades

El futuro de la Aviación Naval de Chile se enfoca en un desarrollo equilibrado del poder naval, ajustándose a las disponibilidades presupuestarias mediante la adquisición de aeronaves versátiles y económicas. Se avizora la futura necesidad de integración de drones UAV para operaciones con un alto ratio de eficiencia y eficacia. La excelencia en el entrenamiento y la comprensión profunda de las operaciones navales guiarán su evolución, asegurando su contribución en misiones de control del espacio marítimo y proyección del poder naval. La realidad presupuestaria institucional debe tener en cuenta que la incorporación de tecnología UAV es clave para su sostenibilidad y eficiencia futura, a bajo costo (Aranda, 1998).

Empleo UAV en operaciones militares: EEUU

Udeanu et al. (2016), analizaron el papel que desempeñan los Vehículos Aéreos No Tripulados (UAV) en las operaciones militares, destacando su considerable influencia en las capacidades operacionales, la relevancia estratégica de los UAV, los beneficios y desafíos que presentan en distintos escenarios de conflicto. Se señala la necesidad crítica para el sector de defensa de los Estados Unidos de confrontar las consecuencias estratégicas y tecnológicas vinculadas al uso de UAVs, especialmente en vista de los progresos que incrementaban la mortalidad en los campos de batalla modernos. Se reconoció la aptitud de los UAVs para reducir los peligros para los humanos en combate, mientras se alerta sobre las restricciones tecnológicas para reemplazar completamente el discernimiento humano en la toma de decisiones.

Conforme a lo señalado por Udeanu et al. (2016), se examina el papel en evolución de los Vehículos Aéreos No Tripulados (UAV) en operaciones militares, destacando sus contribuciones significativas a las capacidades operativas. Con un enfoque en la importancia estratégica de vehículos pilotados, pilotados remotamente y autónomos; el estudio explora las ventajas y desafíos presentados por los UAV en los distintos niveles de un conflicto.

Enfatiza la necesidad del sector de defensa de los EE. UU. de considerar las ramificaciones estratégicas y tecnológicas del despliegue de UAV, especialmente a la luz de los avances que aumentan la letalidad en el campo de batalla. Se reconoce el potencial de los UAV para minimizar los riesgos humanos en combate. Esta investigación subraya la necesidad de una evaluación equilibrada del papel de los sistemas automatizados en la estrategia militar y la aplicación de la fuerza letal.

Experiencia comparada de otras marinas: Experiencia Fuerzas Armadas del Ecuador y Argentina

Montoya & Vásquez (2019), en su artículo titulado discute el desarrollo y uso de vehículos aéreos no tripulados (UAV) en las operaciones de vigilancia y control en Ecuador, destacando su relevancia en la recopilación de información cartográfica, en la exploración aeromarítima y en operaciones de inteligencia y seguridad. Resalta las ventajas de los UAV en el apoyo a operaciones militares, como la reducción de costos y el aumento de la eficiencia en áreas de difícil acceso, especialmente en situaciones de emergencia. Se concluye que los UAV son herramientas clave para fortalecer las capacidades de seguridad nacional y control territorial, con el potencial de extender sus aplicaciones en áreas más estratégicas.

Por otro lado, según Mazza (2022), explora la posibilidad del uso de drones o vehículos aéreos no tripulados (UAV) en la Armada Argentina y la factibilidad de desarrollo en la integración para Inteligencia, Vigilancia y Reconocimiento (IVR) moderna y económica para el control y vigilancia de los espacios marítimos. El estudio también aborda el diseño de bases aéreas distribuidas estratégicamente para dar apoyo logístico y operativo a estos drones. La investigación plantea la necesidad de potenciar y desarrollar tecnología nacional I+d argentina en búsqueda de la independencia tecnológica.

Tendencias del poder naval

La previsión para la Marina de EE. UU. de contar con una flota híbrida con una proporción significativa de unidades no tripuladas hacia el 2040, y el uso creciente de drones por parte de actores estatales y no estatales, subraya la necesidad de adaptar las estrategias defensivas y ofensivas a esta nueva realidad tecnológica. Los drones no solo representan una herramienta crucial para las operaciones militares modernas, sino que también plantean desafíos significativos en términos de seguridad y defensa (Jordán, 2023).

La versatilidad de los UAV's: Drones "kamikaze"

Los drones y vehículos no tripulados han marcado una revolución tecnológica impactando profundamente en el ámbito de la guerra, transformándose en herramientas clave para el aprovechamiento máximo de la tecnología en conflictos asimétricos a un costo relativamente bajo. La efectividad en el uso de los UAV's como drones kamikaze y su reducido costo han demostrado ser gravitantes en conflictos bélicos como Nagorno-Karabaj (2020), Israel-Palestina y Ruso-Ucrania (2024). Los drones presentan una variedad de características, incluyendo limitaciones en capacidad de carga y autonomía, así como restricciones operativas debido a condiciones climáticas adversas. A pesar de esto, la evidencia empírica reciente, ha expandido de manera significativa el mercado global de drones al 2024, liderado por desarrollos en despegues verticales, inteligencia artificial y capacidad computacional. Así, Los drones kamikaze y vehículos no tripulados para ISR (o en español IVR) están revolucionando la guerra, ofreciendo capacidades avanzadas a bajo costo y prometiendo cambiar el futuro de los conflictos armados. La experiencia en conflictos recientes subraya su valor en vigilancia, inteligencia y ataques ofensivos, mientras que la evolución hacia flotas híbridas refleja la adaptación a esta tecnología disruptiva en estrategias militares. (Jordán, 2023).

Drones en la Guerra Moderna: "Evolución, Capacidades y Limitaciones"

El Centro de Estudios de Seguridad de ETH Zurich, examinó el valor de los drones en contextos militares, resaltando su creciente implicación en operaciones de contrainsurgencia y lucha antiterrorista, así como su proyectada relevancia en futuras acciones bélicas. Su accesibilidad económica los posiciona como activos preferenciales para tareas de alto riesgo o de naturaleza delicada, estos dispositivos aéreos se enfrentan a desafíos técnicos y a la posible evolución de tecnologías rivales, tales como los sistemas de defensa antiaérea. Pese a integrarse de manera fundamental en los conflictos venideros, su capacidad para sustituir totalmente a las aeronaves con piloto es limitada, perfilándose más bien como elementos que complementarán el arsenal aéreo (Mahadevan, 2010).

UAV como arma para Chile: Loitering munition, ¿un Reemplazo o un Complemento?

De acuerdo a lo señalado por Soto (2020) las municiones merodeadoras o drones armados con ojivas explosivas, podrían transformar la guerra de superficie. Discute su integración en

la Armada de Chile, destacando su potencial para aumentar la precisión y minimizar daños colaterales comparado con armamentos tradicionales. El autor propone que estos drones pueden, tanto complementar, como reemplazar a los sistemas de armas existentes, mejorando la eficacia en combate.

UAV's para apoyo humanitario y su impacto económico

Según Sugalski (2022), la viabilidad y los beneficios de integrar la tecnología de Vehículos Aéreos No Tripulados (UAV) de Despegue y Aterrizaje Vertical (VTOL) en todo tipo de operaciones, como las evidenciadas empíricamente mediante operaciones de Ayuda Humanitaria y Alivio de Desastres (HA/DR), resultaron en una reducción significativa de costos y una mayor tasa de utilización durante las operaciones logísticas sostenidas. Evidenció que la operación de UAV's en relación con una aeronave tripulada comprenden una reducción de costos del 74% menor que el de un sólo MV-22B con cuatro operadores o un solo HH-60W con ocho operadores. Este estudio ofrece una nueva perspectiva sobre la aplicabilidad y el análisis de costo-beneficio de los UAVs VTOL durante HA/DR, proporcionando un método diferente de realizar entregas de ayudas a residentes aislados, lo que finalmente habilita una respuesta ágil y a menor costo.

Comparación de los Costos de operación de las aeronaves tripuladas en relación a los UAV's

De acuerdo con lo mencionado por Joshi (2012), los costos operacionales (OPEX) de un avión de combate Gripen, o similar, pueden superar los \$10,000 dólares por hora. Otra aproximación indica que los costos operacionales de jets de civiles, como el Bombardier Challenger 350, puede ser de aproximadamente \$3,152 dólares la hora, mientras que otros modelos pueden superar los \$7,000 USD la hora, dependiendo del tamaño y sofisticación del avión (Marsh, 2015). Por otro lado, el RQ-11 Raven, UAV utilizado principalmente por las fuerzas armadas de los Estados Unidos de Norteamérica. Mientras que en otros países, para misiones de reconocimiento y vigilancia, el costo operativo se estima en aproximadamente \$100 a \$150 para drones de tamaño mediano y hasta \$1.200 por hora para drones ya de capacidad estratégica (Army Technology, s.f.).

Machine Learning e Inteligencia Artificial: Softwares de reconocimiento automático de imágenes

Según lo señalado por Kryvonos y Tupitsya (2024), el desarrollo de sistemas no tripulados con softwares de reconocimiento automatizado basados en la tecnología de aprendizaje automático e inteligencia artificial mejoran la eficiencia de los UAS tanto en entornos militares como en tareas de ámbito marítimo. Aplicaciones en vigilancia, detección y operaciones tácticas se ven drásticamente beneficiadas. Sin embargo, enfatiza la necesidad de desarrollar capacidades robustas de ciberseguridad para proteger estos sistemas y sus comunicaciones frente a amenazas adversas (Carrasco, 2024).

Finalmente, y habiendo revisado las principales contribuciones que aportan o han aportado a la línea de trabajo de este proyecto, es posible indicar que una oportunidad de desarrollo se encuentra en el hecho que no existe, para el caso de la Armada de Chile, experiencia e información operativa y técnica suficiente; o antecedentes concretos, respecto del impacto y las consecuencias respecto a la implementación de drones VTOL. Lo que autoriza la siguiente como contribución para este proyecto de grado.

1.3 Contribución del trabajo

Habiendo recorrido las bases teóricas fundamentales para este estudio, cabe mencionar que la principal motivación para realizarlo ha sido la necesidad de atender la brecha tecnológica existente, así como la necesidad de propiciar la adopción de nuevas tecnologías que permitan a la Armada de Chile estar a la altura de los nuevos desafíos, equipadas de nuevas y mejores capacidades aeronavales capaces de aportar de mejor manera al cumplimiento de los roles institucionales, en línea con el empleo eficiente de sus recursos. Se propone un estudio que se distingue por abordar de manera integral los impactos que tendría la implementación de vehículos aéreos no tripulados de despegue y aterrizaje vertical (UAV VTOL) en el ámbito naval chileno, un área poco explorada en el contexto latinoamericano. Al combinar un enfoque metodológico mixto con datos cualitativos y cuantitativos, el análisis establece una comparación inédita entre aeronaves tripuladas y UAV VTOL, destacando su impacto operativo y logístico. Asimismo, se introduce el uso de tecnologías emergentes, como inteligencia artificial y machine learning, en el procesamiento de datos tácticos, lo que posiciona este estudio a la vanguardia del desarrollo tecnológico en operaciones marítimas.

En este sentido el estudio contribuye significativamente al ámbito de la defensa y seguridad marítima al proporcionar una evaluación concreta de la viabilidad, conveniencia y sostenibilidad económica de los UAV VTOL para la Armada de Chile. Sus hallazgos identifican áreas clave donde estos sistemas pueden optimizar recursos, mejorar la eficiencia operativa y reducir riesgos humanos. Además, el estudio ofrece un marco estratégico para la integración gradual de tecnologías avanzadas, sirviendo como referencia para futuras investigaciones y políticas en seguridad marítima. De este modo, fortalece las capacidades de vigilancia, exploración y control del espacio marítimo nacional en beneficio de la soberanía y seguridad nacional.

De acuerdo con lo mencionado anteriormente, este trabajo considera los siguientes como objetivo general y objetivos específicos para este trabajo de tesis.

1.4 Objetivo general

Evaluar las capacidades operativas, logísticas y económicas de los UAV VTOL para su integración en las plataformas navales de la Armada de Chile, mediante un enfoque mixto que combine análisis cualitativo y cuantitativo.

1.4.1 Objetivos específicos

- Exponer la literatura, tecnología y estado del arte de las aeronaves no tripuladas VTOL para operaciones navales y marítimas.
- Comparar las capacidades de las aeronaves navales de la institución con las de las aeronaves no tripuladas.
- Determinar las fortalezas y debilidades de tanto las aeronaves tripuladas como no tripuladas.
- Evaluar la conveniencia, viabilidad y factibilidad de la implementación de este tipo de tecnología innovadora en la institución.

1.5 Propuesta metodológica

Paradigma y diseño: Para el presente estudio se ha seleccionado un enfoque metodológico mixto, conforme a Gómez & Roquet (2009). En una primera etapa, se adopta una perspectiva cualitativa mediante el uso de entrevistas semiestructuradas, según Hernández (2020). Este

método facilita una exploración profunda de las percepciones, expectativas y experiencias comparativas entre distintos expertos, así como de los efectos operacionales y organizacionales derivados de la introducción de tecnologías UAV VTOL. Posteriormente, se emplea un método cuantitativo utilizando datos del sistema de gestión de datos logísticos "SIGLAN" y datos empíricos proporcionados por los proveedores del sector defensa. Este enfoque permite realizar una comparación, contrastación y análisis de datos sobre las capacidades, misiones, restricciones, consumo, costos de mantenimiento y sostenibilidad de las aeronaves tripuladas y no tripuladas.

Datos con los que se efectuó el estudio: Se recolectarán datos obtenidos de fuentes abiertas y datos empíricos del software "SALINO" y "SIGLAN", los cuales son utilizados por la Armada de Chile para la gestión de activos, ambos poseen módulos dedicados para el almacenamiento de datos operativos, logísticos, adquisiciones, consumo, mantenimiento y sostenimiento de activos. Asimismo, se realizará un muestreo por conveniencia entre personal de la Armada senior con sobre 10 años de servicio, para desarrollar las entrevistas semiestructuradas. La herramienta mencionada anteriormente será de carácter abierta y con una participación de 15 profesionales del ámbito logístico y técnico, todos ellos con vasta experiencia en el área señalada y de desarrollo de proyectos complejos.

Entorno: Estudio enfocado en la Armada de Chile ubicado en el área de Valparaíso - Chile; institución es dependiente del Ministerio de Defensa. Los entrevistados pertenecen a la planta de la institución con formación y desarrollo en el ámbito logístico en la Dirección General de los Servicios de la Armada. Los activos navales estudiados operan a lo largo de toda la Zona Económica Exclusiva del Estado de Chile. El sostenimiento y apoyo de base de las aeronaves tripuladas comprenden una variedad de bases navales distribuidas a lo largo de la extensa costa chilena, desde la estratégica base naval de Talcahuano en el centro-sur del país hasta la II y IV zona naval con sus instalaciones en los extremo norte y austral del país (Armada de Chile, s.f.).

Instrumentos: Como se mencionó anteriormente, el estudio consiste de una metodología mixta, en donde la aproximación cualitativa es realizada a través de entrevistas Semiestructuradas abiertas a expertos relacionadas con la problemática en cuestión. Complementándolo con un análisis comparativo estadístico de carácter cuantitativo de datos

obtenidos de fuentes abiertas y de los sistemas de control de gestión institucional “Salino” y “SIGLAN”.

El instrumento cualitativo de entrevista abierta se realizó a 15 especialistas, donde las preguntas se dividieron en 04 etapas, detalladas a continuación:

Etapas 1: Caracterización de percepciones generales de uso de aeronaves tripuladas

- 1) En términos operacionales, ¿Cuáles son los principales beneficios que aportan las aeronaves tripuladas, para las operaciones marítimas?
- 2) En términos operacionales, ¿Cuáles son las principales limitaciones de las aeronaves tripuladas, en la institución?

Etapas 2: Caracterización de percepciones generales de uso de aeronaves no tripuladas

- 3) En términos operacionales, ¿Cuáles son los principales beneficios que identifica con la implementación de los UAV VTOL a bordo?
- 4) En términos operacionales, ¿Qué restricciones o limitaciones ve respecto al uso de esta nueva tecnología?
- 5) ¿Cuál es su visión respecto al empleo de UAV en el ámbito marítimo y naval?

Etapas 3: Comparación entre las Aeronaves tripuladas con las UAV Vtol

- 6) ¿En qué tipo de misiones podrían diferenciarse?

Etapas 4: Análisis FODA del UAV Vtol a bordo respecto a las aeronaves tripuladas

- 7) Utilizando la metodología FODA, en su opinión, ¿Cuáles estima que son los atributos principales que se deberían considerar?

Etapas 5: Aspectos tácticos

- 8) ¿Qué impacto táctico tendrían los drones en las operaciones navales y marítimas?

Etapas 6: Aspectos económicos y logísticos

- 9) ¿Qué impacto económico y disponibilidad operacional tendrían los drones en las operaciones navales y marítimas?
- 10) ¿Qué beneficios ve Ud., en términos de mantenimiento?

El Instrumento Cuantitativo, comparará antecedentes logísticos de abastecimiento, consumo, mantenimiento, operadores/pilotos, transporte, infraestructura y de operación de aeronaves en torno a sus capacidades, funcionalidades y características propias.

Ética: Se examinan los datos recopilados de entrevistas y encuestas, asegurando la confidencialidad de los participantes y respetando sus respuestas y opiniones. Se compromete a mantener la objetividad en todo el proceso de investigación y la reserva en la presentación de los resultados obtenidos, toda vez que el tema trata de artefactos militares y desarrollo de fuerza.

1.6 Organización y presentación de este trabajo

Este trabajo de grado posee cuatro capítulos principales y se organiza como sigue:

Capítulo 1: Presenta el marco conceptual del proyecto, contextualizándolo, proponiendo objetivos y discutiendo desde la literatura la pertinencia del foco de la investigación, su contribución, y presentando a su vez un marco metodológico para su desarrollo e implementación.

Capítulo 2: Asociado a recogida de información, modelos y datos. También explicita resultados.

Capítulo 3: El proyecto de grado, se presenta en formato resumido en un artículo académico que se estructura de la siguiente manera:

1. Título
2. Resumen
3. Introducción
4. Metodología
5. Resultados
 - a. Discusión de resultados
6. Conclusiones
7. Referencias

Capítulo 4: Finalmente las conclusiones generales derivadas de este trabajo, y una dirección para la investigación futura, la cual considera aquellas preguntas no contestadas durante el desarrollo de este trabajo, se presentan en este capítulo.

Referencias generales

Anexos

2 INFORMACIÓN Y RESULTADOS

Para abordar este trabajo de investigación se ha optado por una aproximación mixta, que permite considerar la siguiente estructura para la presentación de la información y sus análisis:

2.1 Procedimiento de recogida y análisis de datos

Esta investigación evalúa dentro de la Armada de Chile el impacto de la implementación de drones no tripulados VTOL para actividades navales y marítimas. Por tal motivo, se llevó a cabo durante el año 2024 entrevistas semiestructuradas con preguntas abiertas con la finalidad de recoger y contrastar información para su posterior análisis. En particular se solicitó responder preguntas contrastando las capacidades de las aeronaves tripuladas, existentes en la institución, con los UAV VTOL, explicando sus ideas y respuestas con sus palabras, esto apoyado de una tabla con las capacidades nominales de las aeronaves.

El método utilizado en este estudio es de carácter descriptivo, dado que se recolecta y contrasta información de diferentes fuentes, tanto nominales como empíricas, en la investigación.

Fechas en que se recogieron los datos:

Los registros obtenidos para la recopilación de los antecedentes cuantitativos de los sistemas logísticos de la Armada datan del año de octubre del 2023.

En el marco de la recolección de antecedentes cualitativos, las entrevistas a los expertos fueron realizadas entre el 01 de agosto de 2024 hasta el 31 de octubre de 2024.

Coherencia con lo planificado:

Durante el proceso de entrevistas, se tuvo que fusionar algunas preguntas, producto de que se estaban obteniendo similares respuestas. Además, durante el desarrollo del estudio cualitativo comparativo, se tuvo que considerar costos y consumos promedios, en atención a que cada tipo de aeronave y cada configuración de éstas, difieren en costos, consumos, capacidades y rendimientos. Se aplicó el mismo instrumento a todos los intervinientes.

Fortalezas y debilidades del proceso:

Fortalezas:

- La metodología mixta permite robustecer los resultados del estudio
- Los antecedentes numéricos permiten contrastar empíricamente las realidades y utilizarlas como apoyo en las entrevistas
- Con consentimiento informado, y transparencia
- Proceso ético
- Bien recibido por la institución
- Ambas metodologías permitieron en simbiosis dar respuesta a la pregunta de investigación
- Los antecedentes recopilados permitieron publicar un artículo en la Revista de Marina (e-ISSN: 0719-4129, ISSN: 0034-8511). *Artículo aprobado y en espera a su publicación oficial para la próxima edición año 2025*

Las debilidades propias de la investigación de contexto se circunscriben a:

- Se debió modificar en múltiples oportunidades las entrevistas, durante el desarrollo de éstas
- Muchas de las respuestas de los entrevistados se repetían
- Para generalizar resultados, la muestra debe ser mayor
- Los antecedentes nominales de las aeronaves no tripuladas podrían no representar la realidad
- La evolución y capacidades de los UAV VTOL, se encuentran en constante evolución y mejoramiento
- En virtud del tiempo, su pudo haber complementado las entrevistas con alguna otra herramienta, como el *Focus Group*, de expertos de otras instituciones

Población y muestras

Además de lo planteado en el marco metodológico, en la sección de población sobre la que se efectuará el estudio, donde se identifica la muestra, se hace notar que para la selección de participantes se utilizó una muestra no probabilística ya que se

seleccionó a profesionales dentro de la institución porque se estimó que pudieran tener mayor conocimiento de la materia.

Instrumento.

Como se indicó anteriormente, para recoger información sobre las capacidades de las aeronaves tripuladas en contraste con las no tripuladas, se utilizó el cuestionario con base en seis etapas complementadas con una tabla de las capacidades empíricas de estos artefactos. Este cuestionario que sirve en una primera instancia para lograr introducir al entrevistado sobre el tema de continuidad de negocio y su percepción respecto al tema. Este instrumento consta de diez preguntas, todas respuestas abiertas, de la misma forma como se muestra en la tabla siguiente.

1. En términos operacionales, ¿Cuáles son los principales beneficios que aportan las aeronaves tripuladas, para las operaciones marítimas?
2. En términos operacionales, ¿Cuáles son las principales limitaciones de las aeronaves tripuladas, en la institución?
3. En términos operacionales, ¿Cuáles son los principales beneficios que identifica con la implementación de los UAV VTOL abordo?
4. En términos operacionales, ¿Qué restricciones o limitaciones ve respecto al uso de esta nueva tecnología?
5. ¿Cuál es su visión respecto al empleo de UAV en el ámbito marítimo y naval?
6. ¿En qué tipo de misiones podrían diferenciarse?
7. Utilizando la metodología FODA, en su opinión, ¿Cuáles estima que son los atributos principales que se deberían considerar?
8. ¿Qué impacto táctico tendrían los drones en las operaciones navales y marítimas?
9. ¿Qué impacto económico y disponibilidad operacional tendrían los drones en las operaciones navales y marítimas?
10. ¿Qué beneficios ve Ud., en términos de mantenimiento?

Este cuestionario se aplicó como elemento de consulta durante las entrevistas personales realizadas, previo consentimiento informado. A partir de dichas instancias se provoca un espacio de conversación en relación con los impactos que tendrían los drones no tripulados de despegue y aterrizaje vertical en la institución.

2.2 Proceso de recogida de información

Como se ha indicado anteriormente, se aplicó un instrumento basado en una entrevista semiestructurada, a través de un cuestionario de respuestas abiertas las que han permitido agrupar las respuestas por categorías claves, concentrando la información para analizarla posteriormente de forma cualitativa.

En términos del instrumento cuantitativo, se recogieron datos y características nominales de fuentes abiertas de los UAV VTOL, disponibles en el mercado, y se contrastaron con los datos obtenidos de los sistemas de gestión logístico institucional.

2.3 Los datos recogidos:

La agrupación de resultados por categorías claves, agrupando la información para su posterior análisis queda dada por la siguiente tabla.

Tabla 1

Categorización de cuestionario

Ítems	Categorías
Pregunta 1: En términos operacionales, ¿Cuáles son los principales beneficios que aportan las aeronaves tripuladas, para las operaciones marítimas?	Toma de decisiones humanas y razonamiento abordo
	Transporte, Rescate y Vigilancia
	Otros
Pregunta 2: En términos operacionales, ¿Cuáles son las principales limitaciones de las aeronaves tripuladas, en la institución?	Disponibilidad de recursos humanos y materiales
	Altos costos operativos
	Limitaciones operacionales por tiempo y condiciones
	Riesgo humano
Pregunta 3:	Versatilidad y flexibilidad
	Eliminación del riesgo humano
	Mayor Disponibilidad

En términos operacionales, ¿Cuáles son los principales beneficios que identifica con la implementación de los UAV VTOL abordo?	
Pregunta 4: En términos operacionales, ¿Qué restricciones o limitaciones ve respecto al uso de esta nueva tecnología?	Capacitación y conocimiento operativo
	Limitaciones en comunicaciones y control
	Capacidad de carga y transporte
	Condiciones meteorológicas
	Riesgos asociados a la toma de decisiones automatizadas
Pregunta 5: ¿Cuál es su visión respecto al empleo de UAV en el ámbito marítimo y naval?	Complemento a aeronaves tripuladas
	Patrullaje y fiscalización
	Mejora de capacidades institucionales
Pregunta 6: ¿En qué tipo de misiones podrían diferenciarse?	Tareas Marítimas
	Tareas Militares
	Operaciones en entornos de alto riesgo y difícil acceso
Pregunta 7: Utilizando la metodología FODA, en su opinión, ¿Cuáles estima que son los atributos principales que se deberían considerar?	Fortalezas
	Costo y eficiencia
	Autonomía y flexibilidad:
	Oportunidades
	Versatilidad y nuevas capacidades
	Potencial para desarrollo tecnológico y operacional
	Reducción de riesgos para el personal
	Debilidades
	Tecnología emergente y limitaciones operativas
	Dependencia de tecnología y comunicaciones
	Amenazas
	Resistencia al cambio y dificultades de implementación
	Condiciones adversas y contramedidas
	Regulaciones y replicabilidad
Pregunta 8:	Cambio en procedimientos tácticos y operacionales

¿Qué impacto táctico tendrían los drones en las operaciones navales y marítimas?	Mejora en conciencia situacional y recopilación de información
	Eficiencia y reducción de costos
Pregunta 9: ¿Qué impacto económico y disponibilidad operacional tendrían los drones en las operaciones navales y marítimas?	Mayor disponibilidad operativa por Reducción de costos
	Complemento a sistemas tripulados
Pregunta 10: ¿Qué beneficios ve Ud., en términos de mantenimiento?	Reducción de costos de mantenimiento
	Modularidad en el mantenimiento (LRU y COTS)

Fuente: Elaboración propia.

2.4 Análisis e interpretación de los datos

Conforme al marco metodológico, se obtuvieron resultados de carácter cualitativos, obtenidos de las entrevistas semiestructuradas a expertos. Asimismo, se recolectaron y compararon registros desde las bases de datos de la institución y la información técnica entregada por las empresas del sector, así se obtuvieron resultados cuantitativos que respaldan los hallazgos cualitativos.

2.5 Análisis de los datos cualitativos

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de cada uno de los 10 ítems. Por cuestiones de espacio y de claridad en la lectura se ha decidido incluir únicamente los datos que aportan información relevante y que fueron contributivos para desarrollar las entrevistas para este artículo, se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 2
Misiones por tipo de aeronaves

Nro	Misiones	Helo embarc	Aeronav e ala fija	UAV Vtol
Tiempo de Paz				
1	Busqueda y Rescate (SAR)	Si	No	No
2	Vigilancia y Reconocimiento	Si	Si	Si
3	Evacuación médica (MEDEVAC)	Si	No	No
4	Transporte Logístico	Si	No	No
5	Permanencia en el área sostenida	No	Si	Si
6	Lucha contra el narcotráfico	Si	Si	Si
7	Asistencia Humanitaria	Si	Si	Si
8	Inteligencia	Si	Si	Si
9	Relay de Comunicaciones	Si	Si	Si
10	Monitoreo de zonas de pesca	Si	Si	Si
11	FOTOEX	Si	Si	Si
12	Detección de derrames de petróleo	Si	Si	Si
13	Inspección de infraestructuras	Si	Si	Si
14	Apoyo zonas aisladas	Si	Si	No
15	Transporte de personal	Si	Si	No
16	Enlace de comunicaciones	Si	Si	Si
Tiempo de Guerra				
17	Guerra antisubmarina	Si	Si	Si
18	Ataque con torpedos livianos	Si	Si	No
19	Despliegue de sonoboyas	Si	Si	Si
20	Despliegue de sonar (Dipping Sonar)	Si	No	No
21	Despliegue de Decoy	Si	Si	Si
22	Apoyo Aéreo Cercano (CAS)	Si	Si	No
23	Guerra Electrónica	Si	Si	Si
24	Relay de Comunicaciones	Si	Si	Si
25	Inserción de FFEE	Si	Si	No
26	Búsqueda y Rescate de Combate	Si	Si	No
27	DAMASS	Si	Si	Si
28	Ataque de Precisión con misiles	Si	No	Si
29	Ataque con Loitering	Si	No	Si
30	Ataque de precisión	Si	No	Si
31	Espoteo	Si	Si	Si

Si	30	24	21
No	1	7	10
Total	31	31	31

Si	97%	77%	68%
No	3%	23%	32%

Fuente: Elaboración propia.

Para facilitar la conducción de las entrevistas, éstas se apoyaron en base a las misiones de la tabla anterior categorizadas principalmente en dos grandes grupos: aquellas llevadas a cabo en tiempos de paz y aquellas ejecutadas en tiempos de guerra. Las misiones en tiempos de paz se enfocan principalmente en actividades marítimas, tales como búsqueda y rescate (SAR), vigilancia y reconocimiento (ISR, por sus siglas en inglés), evacuación médica, transporte logístico, inteligencia, retransmisión de comunicaciones, y ejercicios humanitarios. Por otro lado, las misiones en tiempos de guerra incluyen operaciones como apoyo a la guerra antisubmarina, ataques, despliegue de sonoboyas, guerra electrónica (ESM), inserción de fuerzas especiales (FFEE), dirección y asignación de misiles (DAMASS), espoteo, entre otras.

Ítem 1: En términos operacionales, ¿Cuáles son los principales beneficios que aportan las aeronaves tripuladas, para las operaciones marítimas?

Si se revisan los resultados generales de la primera pregunta de la entrevista, nos encontramos que un 50.0% de los entrevistados estiman que el principal beneficio de las aeronaves tripuladas (actualmente en uso por la institución) consiste en la capacidad de Transporte, Rescate y Vigilancia que éstas poseen, lo que queda de manifiesto en opiniones como: "...La capacidad única de realizar tareas de transporte de personal y rescate desde una plataforma naval..." (Entrevistado 2) o "...el hecho de que éstas cuenten con la capacidad de rescatar vidas humanas en el mar..." (Entrevistado 5). Luego con 41.7% los entrevistados señalan como virtud la capacidad de permitir la toma de decisiones desde el aire y su capacidad de razonamiento abordado, lo que queda de manifiesto en opiniones como: "...El hecho de tener tripulación abordado permite una mejor percepción de la realidad..." (Entrevistado 1) o "...su principal beneficio está en la capacidad de que el ser humano sea participe directo de la toma de decisiones..." (Entrevistado 11), con tan solo 8.3% se mencionan otras características irrelevantes.

Ítem 2: En términos operacionales, ¿Cuáles son las principales limitaciones de las aeronaves tripuladas, en la institución?

En relación a las limitaciones, se pudo evidenciar que con un 41.7%, el factor de la disponibilidad del recurso humano y material es la principal limitación para la institución, lo

que queda de manifiesto en opiniones como: "...la poca disponibilidad de plataformas aéreas y de pilotos..."(Entrevistado 1) y "...el costo de operación es extremadamente alto..." (Entrevistado 3), consecutivamente un 25% de los entrevistados señalan las limitaciones operativas producto del alto costo de operación, presente en respuestas como "...el costo de las operaciones es extremadamente alto, lo que limita su uso y disponibilidad..." (Entrevistado 3).

Ítem 3: En términos operacionales, ¿Cuáles son los principales beneficios que identifica con la implementación de los UAV VTOL abordo?

El 66,7% de los entrevistados señalaron que las aeronaves no tripuladas de despliegue vertical (UAV VTOL) aportan versatilidad y flexibilidad, de acuerdo a "...su rápida respuesta y versatilidad..." (Entrevistado 2), como "...la permanencia y flexibilidad, no limitada por el restrictivo Hora Límite Operación (HLO) de las A/N tripuladas..." (Entrevistado 12) y el costo de las operaciones es extremadamente alto..." (Entrevistado 12). Mientras que un 16,7% de los entrevistados señalan como beneficio la eliminación del riesgo humano en las operaciones, así como también el concepto de permitir una mayor disponibilidad del UAV VTOL, según lo relatado "...El menor costo de operación, se traduce en una mayor permanencia en el aire..." (Entrevistado 4).

Ítem 4: En términos operacionales, ¿Qué restricciones o limitaciones ve respecto al uso de esta nueva tecnología?

Un 33.3% de los entrevistados indican que la principal limitación de los UAV VTOL consiste en su reducida capacidad de transporte de personal y carga, lo que queda de manifiesto en opiniones como: "...su reducida capacidad de levantamiento de carga..." (Entrevistado 6) y "...su gran limitación respecto al Payload que pueden llevar y a la incapacidad de realizar tareas de transporte de personal..." (Entrevistado 12). Mientras que un 25% señala como restricción su poca capacidad para operar bajo condiciones meteorológicas adversas, señalado en "...presenta limitaciones de despegue y aterrizaje con fuertes vientos..." (Entrevistado 7).

Ítem 5: ¿Cuál es su visión respecto al empleo de UAV en el ámbito marítimo y naval?

Un 50% de los entrevistados opina que los UAV VTOL actuarán como un complemento a las capacidades actualmente presentes en la institución, de acuerdo a lo señalado en respuestas como "...las aeronaves no tripuladas llegarán y serán complementarias a las A/N tripuladas..." (Entrevistado 3) y "...no son una herramienta de reemplazo, sino que serán un complemento..." (Entrevistado 11). Por otra parte, un 25% indica que mejorará las capacidades institucionales, y las ejemplifican respuestas como "...con esto se dejará de exponer y poner en riesgo a personal para reconocimiento en áreas peligrosas y en actividades con altos niveles de exposición como, evaluación de daños en combate..." (Entrevistado 10).

Ítem 6: ¿En qué tipo de misiones podrían diferenciarse?

Un 50% de los entrevistados indican que la principal diferencia entre ambos activos (A/N tripuladas versus UAV VTOL) consiste en las capacidades de cumplir misiones militares, expresadas en frases como: "...podrán emplearse para tareas de evaluación de daños, espoteo, targeting, identificación positiva de blancos..." (Entrevistado 12). Luego, con un 33%, se señalan conceptos de empleo en tareas de seguridad marítimas, como lo señalan las siguientes textualidades: "...su flexibilidad para empleo de tareas de búsqueda y rescate marítimo (SAR)..." (Entrevistado 9) y "...empleo para exploración aeromarítima, reconocimiento y fiscalización pesquera..." (Entrevistado 4).

Ítem 7: Utilizando la metodología FODA, en su opinión, ¿Cuáles estima que son los atributos principales que se deberían considerar?

En relación a las fortalezas identificadas, ambos con igual proporción con un 50% están los conceptos de Costo/eficiencia y Autonomía y flexibilidad, evidenciados, de acuerdo a "...Costo operación y mantenimiento.." (Entrevistado 1), "... buena razón de costo-eficiencia..." (Entrevistado 7), "...su gran autonomía de vuelo y flexibilidad..." (Entrevistado 2) y "...su gran versatilidad... (Entrevistado 5).

Respecto a las oportunidades, se destaca el gran potencial para el desarrollo tecnológico y operacional con un 66,7% de los entrevistados, de acuerdo a: "...permitirá generar desarrollo

tecnológico en torno a esta tecnología... (Entrevistado 3) y con un 25% se plantea su versatilidad ante nuevas capacidades operacionales, como expresa el entrevistado 6 "...se presentarán nuevas capacidades operacionales...".

Un 66.7% de los entrevistados indica como debilidad el hecho de que los sistemas de UAV VTOL representen en la actualidad una tecnología emergente con evidentes limitaciones operativas, expresado según el entrevistado 5 "...presentan una limitada capacidad de levantamiento de carga útil y son extremadamente vulnerables a la meteorología...", Luego, el restante 33.3% de los entrevistados apuntan debilidades en cuanto a su dependencia tecnológica radial, de acuerdo a lo expresado por el entrevistado 2 "...presenta una dependencia de enlace de comunicaciones de data link".

Las amenazas identificadas apuntan principalmente a mecanismos coercitivos para evitar el empleo y masificación de esta tecnología, con un 41,7% de los entrevistados, en comentarios como "...vulnerables a contramedidas electrónicas..." (Entrevistado 7), luego el 25% atribuye una amenaza real la resistencia al cambio y las dificultades de implementación de una nueva tecnología, de acuerdo a: "...la resistencia al cambio será una barrera importante a superar..." (Entrevistado 1)

Ítem 8: ¿Qué impacto táctico tendrían los drones en las operaciones navales y marítimas?

En cuanto a lo táctico, un 50% de los entrevistados señala que se generará un cambio en los procedimientos tácticos operacionales, según "...se producirá una iniciativa en términos de la guerra asimétrica..." (Entrevistado 8), otro 33.3% señala que se producirá una mejora en cuanto a la conciencia situacional del teatro de operaciones y de los comandantes de buque, según "...brindarán una mayor conciencia situacional, en tiempo real..." (Entrevistado 3).

Ítem 9: ¿Qué impacto económico y disponibilidad operacional tendrían los drones en las operaciones navales y marítimas?

El 91,7% de los entrevistados señala como consecuencia de la economicidad y reducción de costos de operación y mantenimiento implicarán una mayor disponibilidad operacional en tareas propias de la institución, lo que queda de manifiesto en opiniones como: "...presentan

una buena relación costo-beneficio, por su bajo costo de operación y reducido mantenimiento...” (Entrevistado 9) y “...los UAV VTOL son de fácil mantenimiento y con costos de menores de operación ...” (Entrevistado 12).

Ítem 10: ¿Qué beneficios ve Ud., en términos de mantenimiento?

El 66% de los entrevistados señala que, en términos de sostenimiento logístico y mantenimiento, el empleo de esta tecnología presenta beneficios en la reducción de costos por conceptos de mantenimiento, expresados por entrevistado 1 “...alta disponibilidad logística a menor costo...”, “...reducción de costos de mantenimiento en menor tiempo...” (Entrevistado 9). Luego el 33.3% de los entrevistados señala como característica principal el hecho de que la modularidad en su mantenimiento (Line Replaceable Unit - LRU y Commercial Off The Shelf - COTS), como principales características, señalados en: “...mantenimientos sencillos en base a LRU” (Entrevistado 7).

2.6 Análisis de datos cuantitativos

El análisis cuantitativo consistió en realizar un cuadro comparativo entre tres tipos de aeronaves, el UAV VTOL (del tipo MUAS Jump-20 de la empresa Aerovironment Inc.), el avión de ala fija P-111 y el helicóptero embarcado HH-65/SH-32 Cougar, aeronaves tripuladas actualmente en uso por la Armada de Chile. El estudio evaluó sus capacidades operativas, eficiencia en el consumo de combustible, autonomía y capacidad de carga, entre otras variables clave. Este análisis (ver figura 1) permite ver cuál de estas opciones resulta más adecuada para misiones específicas, considerando tanto el costo operativo como el rendimiento.

Consumo de Combustible

El UAV VTOL Jump20 destaca por su eficiencia extrema en el consumo de combustible, consumiendo solo entre un 0.5 a un 0.8% del combustible que utiliza el helicóptero HH-65, con un consumo de tan sólo 3 litros por hora. Por otro lado, el P-111 (Ala Fija) presenta un consumo de combustible muy cercano al del helicóptero, con un 98.67% del consumo del HH-65, alcanzando 370 litros por hora. El HH-65 (Helicóptero Embarcado), sirve como referencia con un consumo de 375 litros por hora, representando el 100% de la muestra.

En términos comparativos, el consumo de combustible de aviación de un helicóptero embarcado SH-32 en una hora equivale a 213 horas de un solo MUAS VTOL, debido a que solo consume un 0,47% de un helicóptero Cougar SH-32, cuyo consumo es de aproximadamente 640 litros-hora.

Debido a lo anterior, el UAV VTOL Jump20 muestra una ventaja clara en términos de eficiencia de combustible, reduciendo considerablemente los costos de operación en comparación con las otras dos aeronaves.

Autonomía Operacional

El UAV VTOL Jump20 posee una autonomía de sobre 14 horas de vuelo, lo que lo coloca muy por delante de las demás aeronaves analizadas, duplicando la autonomía del P-111 y superando ampliamente la del HH-65. Por otra parte, la autonomía del P-111 es de sólo 7 horas, una cifra intermedia entre las tres opciones. El HH-65: Tiene la menor autonomía con solo 2 horas de operación continua, dependiendo de la configuración al despegue, lo que limita su aplicabilidad para misiones de largo alcance, su virtud consiste en que representa una aeronave embarcada, por lo que le permitiría ser despachada en cercanías del área de interés.

El UAV VTOL Jump20 se perfila como la mejor opción para misiones que demanden largas horas de operación sin interrupciones, destacándose en esta categoría. Esto siempre y cuando cuente con un enlace de comunicaciones robusto complementado con data link satelital, para no verse restringido por la Línea de mira o LOS.

Capacidad de Carga

El UAV VTOL Jump20 tiene una capacidad de carga limitada de sólo 30 Lb y sin capacidad de transportar personas, representando únicamente el 1.7% de la capacidad de carga del HH-65. Por otra parte, el P-111 puede transportar 160 kg (sin considerar su tripulación embarcada), lo que equivale a más de cinco veces la capacidad del UAV VTOL, pero sigue siendo inferior en comparación con el HH-65, diseñado con una capacidad de levante de 900 kg, especial para misiones de rescate de personas en el mar y transporte de carga. Luego, el helicóptero HH-65 es claramente la opción más apropiada.

Costo Operativo por Hora

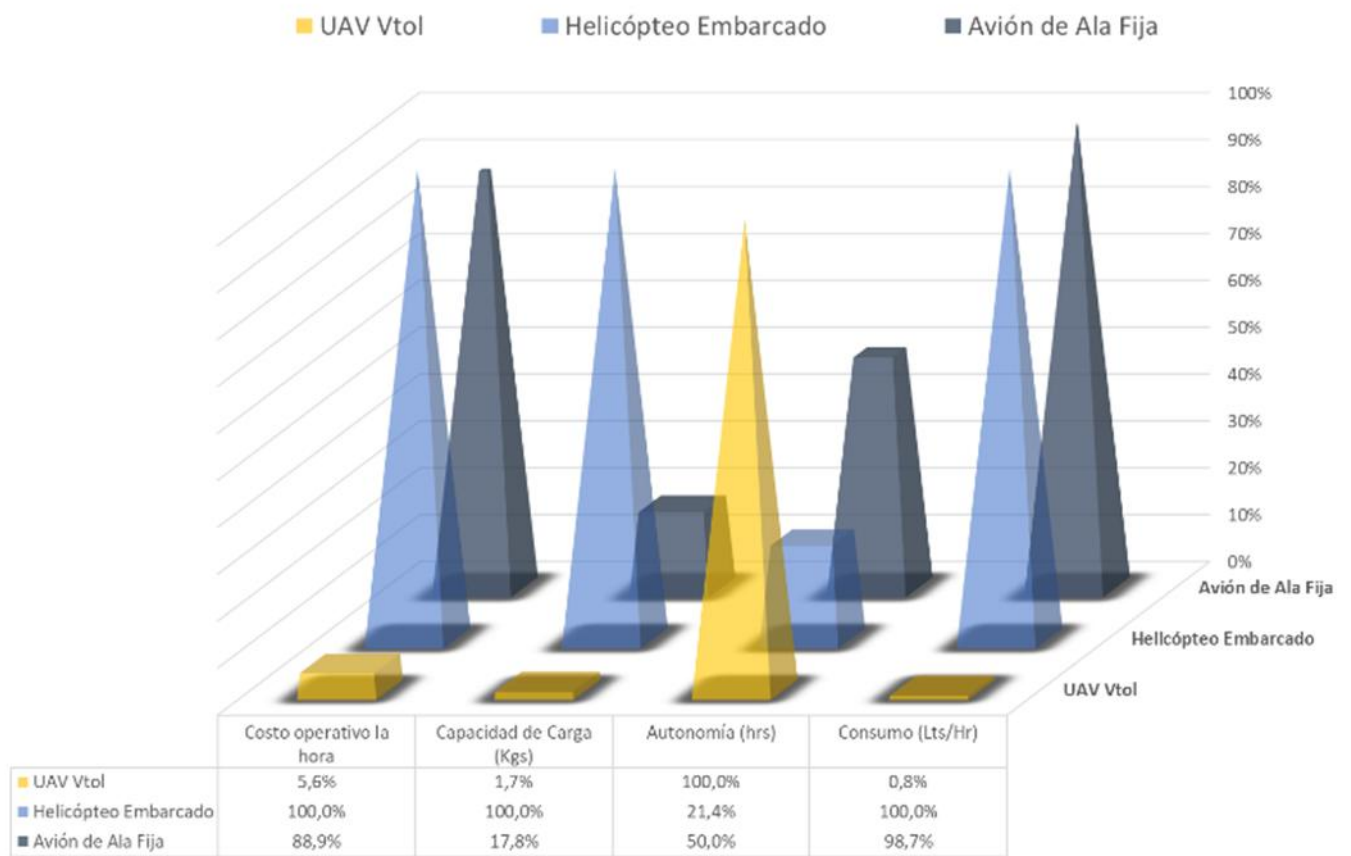
El UAV VTOL tiene un costo de operación de tan solo 500 USD por hora, es considerablemente más económico que sus contrapartes, siendo 16 veces más barato que el P-111 y 18 veces más barato que el HH-65. De acuerdo a la información obtenida, el P-111 o similar tiene un costo operativo de 8.000 USD por hora, pero aun ligeramente inferior al HH-65, con 9.000 USD por hora. El UAV VTOL demuestra ser una opción de bajo costo, ideal para misiones donde el presupuesto sea una limitante, sin sacrificar la autonomía operacional.

Personal Requerido

El UAV VTOL del tipo Jump20 requiere de solo 3 operadores, lo que reduce significativamente los recursos humanos necesarios en comparación con los 14 pilotos y mantenedores requeridos por el P-111 y el HH-65. Esto lo convierte en una opción atractiva desde el punto de vista de la eficiencia de recursos humanos y necesidades de capacitación, entrenamiento y horas de vuelo de los pilotos, operadores y personal especialista de mantenimiento.

Figura 1

Grafico Comparativo entre Aeronaves, según sus Capacidades

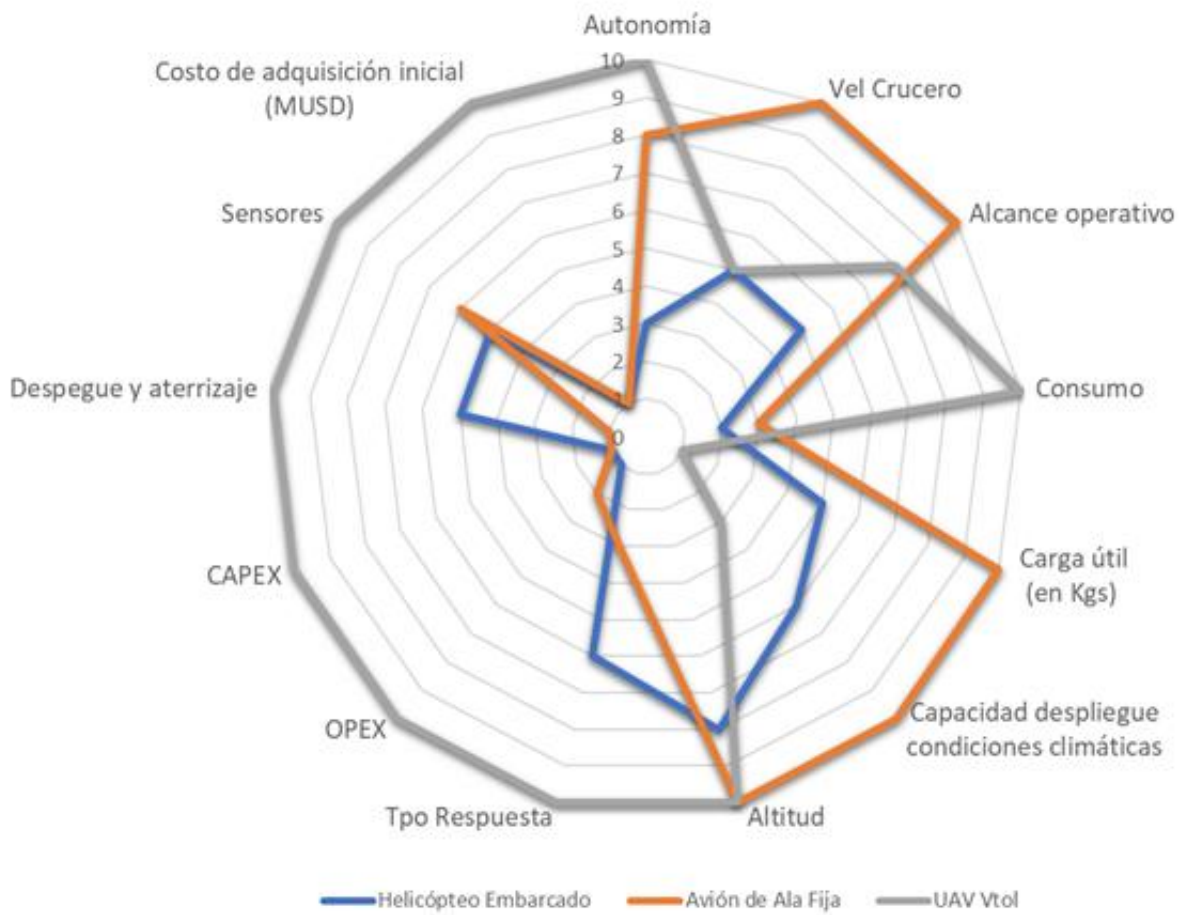


Fuente: elaboración propia.

Nota: Cada concepto se normalizó en base a aquella aeronave con mejor rendimiento.

Figura 2

Grafo Ilustrativo de las Capacidades según Aeronave



Fuente: elaboración propia.

Nota: Cada concepto se ponderó entre una puntuación del 1 (siendo la capacidad con menor rendimiento) al 10 (siendo esta la capacidad de mejor rendimiento).

2.7 Discusión de resultados cualitativos

Respecto a la Caracterización de percepciones generales de uso de aeronaves tripuladas, las percepciones sobre el uso de aeronaves tripuladas destacan su capacidad para realizar misiones de rescate, transporte y vigilancia, así como la importancia del razonamiento humano a bordo. Sin embargo, se observa una limitada disponibilidad de pilotos y personal técnico calificado para operar las aeronaves, además de una insuficiente cantidad de aeronaves operativas disponibles, debido a la realidad institucional, lo que afecta su disponibilidad y sostenibilidad en el cumplimiento de las tareas y roles navales y marítimos.

Para mitigar estas brechas, se sugiere complementarlo con el uso de aeronaves tripuladas con UAV VTOL, empleándolos en tareas de búsqueda y vigilancia junto con sistemas de inteligencia artificial automatizados.

En relación con la Caracterización de percepciones generales de uso de aeronaves no tripuladas, los UAV VTOL presentan gran una versatilidad y flexibilidad gracias a los avances tecnológicos, permitiendo respuestas rápidas en entornos variados y sin exponer vidas humanas (Jordán, 2023). Sus costos reducidos de mantenimiento y menor consumo combustible favorecen una mayor disponibilidad operativa. Sin embargo, estos sistemas presentan limitaciones significativas, como su baja capacidad de carga y nula capacidad de rescate de vidas humanas en la mar, lo que restringe su aplicabilidad en operaciones de salvamento. También se identifican riesgos por la dependencia de sistemas de comando y control y link táctico de comunicaciones. Se puede concluir que las aeronaves tripuladas y no tripuladas son complementarias, ya que las capacidades de carga y rescate de las aeronaves tripuladas cubren las limitaciones críticas de los UAV, mientras que los UAV aportan versatilidad, flexibilidad y economía para misiones de búsqueda y patrullaje.

Respecto a la Comparación entre aeronaves tripuladas y UAV VTOL, las aeronaves tripuladas son preferidas en misiones marítimas de rescate donde la intervención humana directa es fundamental, especialmente en tareas de emergencia que requieren personal, como nadadores de rescate, enfermeros o misiones transporte de personal y carga pesada. En contraste, los UAV VTOL son más adecuados para misiones militares de alto riesgo, como evaluación de daños, inteligencia, apoyo de fuego naval, en las que el riesgo para la vida humana es elevado, o en operaciones en donde se requiere una alta y rápida disponibilidad para estar en el aire. La eliminación de la tripulación hace de los UAV una opción eficaz, versátil y flexible para operaciones de búsqueda, reconocimiento y apoyo en combate, maximizando la seguridad en misiones de alto riesgo y agilizando el arribo a la escena ante casos de búsqueda y rescate (Jordán, 2023).

El Análisis FODA del UAV VTOL a bordo respecto a las aeronaves tripuladas destacan a los UAV VTOL como una opción viable, factible y conveniente frente a las aeronaves tripuladas debido a su bajo costo operativo y mantenimiento, su autonomía y flexibilidad (Mahadevan, 2010). Estas características las hacen ideales para misiones prolongadas y rápidas de

desplegar, optimizando recursos y minimizando el riesgo para el personal. Asimismo, la versatilidad de los UAV y su potencial desarrollo tecnológico representan una oportunidad para ampliar las capacidades de la institución (conveniencia), con posibles avances en softwares con inteligencia artificial, reducción de costos y fortalecimiento de la industria nacional. No obstante, los UAV enfrentan desafíos importantes, como su limitada capacidad de carga, vulnerabilidad a condiciones climáticas y dependencia de sistemas de comunicación. Además, enfrentan amenazas de resistencia al cambio y la necesidad de adaptarse a regulaciones nacionales/internacionales y contramedidas electrónicas, lo cual podría requerir una estrategia de implementación gradual.

Respecto a los Aspectos técnicos, los drones de despegue vertical tienen el potencial de transformar la táctica en las operaciones navales, ya que permiten modificar procedimientos de ataque, especialmente en la guerra asimétrica, antisubmarina y en tareas de reconocimiento, lo que incrementa la adaptabilidad y eficiencia en conflictos asimétricos (Jordán, 2023). Además, su capacidad para tener rápidamente un “ojo en el aire” permite mejorar la conciencia situacional del comandante y permite la recopilación de información en tiempo real, sin vulnerar la seguridad del personal. Este impacto positivo en la eficiencia y reducción de costos convierte a los drones en una herramienta costo-efectiva que optimiza los recursos y resguarda los activos de la institución, consolidándolos como un recurso táctico esencial para la modernización de las operaciones navales.

Finalmente, en relación con los Aspectos económicos y logísticos, los drones impactarían positivamente en el ámbito económico de las operaciones navales, ofreciendo mayor disponibilidad operativa gracias a sus menores costos de operación y sostenimiento (factor de conveniencia), en comparación con las aeronaves tripuladas (Montoya & Vásquez, 2019). La relación favorable del costo de las horas de vuelo permite su operación a una fracción del costo actual, generando ahorros significativos y una mejor relación costo-beneficio en misiones de rutina o de larga duración. En términos de mantenimiento, los drones requieren menor intervención y menores costos, destacándose por su modularidad, lo que permite una logística simplificada (concepto LRU) y tiempos de reparación más cortos. Estas características consolidan a los drones como una alternativa económica y práctica, capaz de

complementar los sistemas tripulados en operaciones menos críticas, maximizando la eficiencia sin comprometer la efectividad operativa.

Para abordar las brechas expuestas se propone complementar el uso de las aeronaves tripuladas con el empleo de UAV VTOL para la absorción de aquellas tareas en donde el uso de las aeronaves tripuladas se vuelve ineficiente producto de su alto consumo y reducida disponibilidad, de tal manera de utilizarlos principalmente para aquellas actividades de exclusiva relevancia, como rescate de la vida humana en el mar y actividades de transporte de carga y personal. Por otra parte, aprovechar las bondades de los UAV's en misiones de búsqueda, vigilancia, inteligencia, reconocimiento, con el apoyo de softwares con procesamiento de imagen e inteligencia artificial para el reconocimiento e identificación automática (Kryvonos y Tupitsya, 2024). De esta forma, lograr una mejor configuración conjunta de tal manera de disponibilizar de mejor manera los recursos y activos de la institución, en beneficio de los roles asignados a la Armada de Chile (Armada de Chile, 2009).

2.8 Discusión de resultados cuantitativos

El análisis cuantitativo entre el UAV VTOL del tipo Jump20 de Aerovironment Inc., el avión de ala fija P-111 y el helicóptero embarcado HH-65 o SH-32 evidencia las ventajas y limitaciones de cada aeronave en función de diversas métricas operativas. Dentro de los hallazgos cuantitativos encontrados, es posible inferir que el UAV VTOL destaca notablemente por su eficiencia en el consumo de combustible, con solo un 0.5% pudiendo ser hasta un 0.8% del consumo del helicóptero SH-32 o HH-65, respectivamente; con una autonomía de más de 14 horas de vuelo, lo cual lo hace ideal para misiones de larga duración y bajo costo operativo en conceptos de mantenimiento, en torno a los 500 USD por hora (Marsh, 2015). Esta economía de combustible y costos sostenimiento operativos lo sitúan como la opción más rentable y sostenible (factor de conveniencia) para misiones de larga duración como vigilancia, exploración y reconocimiento, siempre que se disponga de un enlace de comunicaciones adecuado para superar las limitaciones de línea de vista (LOS). Así, un hallazgo importante es que, ante una misma asignación de recursos de combustible anual, es posible operar con MUAS sobre 213 veces, en comparación con el empleo de un helicóptero SH-32, lo que permitiría una mayor presencia en el aire, en beneficio de las tareas

de vigilancia y control del tráfico marítimo de la institución (Ministerio de Defensa: Política de Defensa Nacional, 2020).

Por otro lado, en cuanto a la capacidad de carga el helicóptero HH-65 y las aeronaves de ala fija de la Armada de Chile representan claramente una superioridad en cuanto a su capacidad de levantamiento de carga con sobre 900 kg, siendo ideal para misiones de rescate o transporte pesado y personal, mientras que el UAV VTOL tiene una capacidad muy limitada de solo 30 kg (Armada de Chile, s.f).

Finalmente, el costo operativo y los requerimientos de personal favorecen al UAV VTOL, que solo necesitan una mínima cantidad de operadores y mantenedores, en comparación con los 14 pilotos y mantenedores requeridos por el P-111 y el HH-65, para su operación. Esto convierte al UAV en una opción atractiva en términos de recursos humanos y costos de operación, especialmente para misiones con restricciones presupuestarias o de personal.

2.9 Implementación de vehículos aéreos no tripulados: Análisis de impacto

La incorporación de UAV VTOL en las operaciones navales de la Armada de Chile genera un impacto significativo tanto en el ámbito operativo como en el logístico. En el aspecto operacional, estos sistemas complementan las capacidades existentes de las aeronaves tripuladas, permitiendo realizar misiones de vigilancia, inteligencia, reconocimiento y patrullaje con mayor eficiencia, autonomía y a un menor costo. Su capacidad para operar sin poner en riesgo la vida humana resulta especialmente valiosa en entornos de alto riesgo o en condiciones adversas, como el monitoreo en áreas de conflicto o la fiscalización en zonas remotas de la Zona Económica Exclusiva (ZEE).

En el ámbito logístico, el uso de UAV VTOL presenta una ventaja significativa al reducir los costos operativos y de mantenimiento. Mientras que las aeronaves tripuladas actuales, como los helicópteros embarcados y aviones de ala fija, consumen altos niveles de combustible, requieren personal especializado, proceso de calificación exhaustivos y mantenimiento intensivo; en cambio, los UAV VTOL destacan por su bajo costo por hora de vuelo y menores requerimientos de personal especializado. Además, su modularidad y menor complejidad mecánica facilitan las tareas de reparación y sostenibilidad.

Sin embargo, la implementación de esta tecnología también enfrenta limitaciones importantes, como su baja capacidad de carga y transporte, que restringen su uso en misiones de rescate o transporte de personal. Estas restricciones refuerzan la idea de que los UAV VTOL no deben reemplazar a las aeronaves tripuladas, sino complementarlas, optimizando el uso de los recursos disponibles para cada tipo de misión.

En síntesis, la incorporación de UAV VTOL en la Armada de Chile representa una oportunidad estratégica para mejorar la disponibilidad operacional, eficiencia operativa y económica en misiones de rutina y de largo alcance, a la vez que se reduce el riesgo humano en operaciones de alto peligro. Esta tecnología innovadora es del todo factible, conveniente y viable para la Armada de Chile. No obstante, su éxito dependerá de una implementación que aborde sus limitaciones y aproveche su potencial como complemento de las capacidades existentes, asegurando así una mejor preparación de la institución frente a los desafíos operativos y logísticos actuales y futuros.

3 ARTÍCULO

El presente apartado, recoge la investigación contextualizada motivo de este proyecto de grado, y es presentada en formato de artículo académico. Se trata de un artículo conciso, escrito en el formato típico de revistas especializadas o de conferencias, de acuerdo con reglas específicas definidas por la dirección del programa.

El artículo, ha sido cuidadosamente redactado con el fin de que se haga fácilmente entendible y logre expresar de un modo claro y sintético lo que se pretende comunicar, considerando las citas y referencias respectivas de los estudios que lo fundamentan. El trabajo realizado, se sintetiza entonces como artículo, para facilitar al trabajo de quienes puedan estar interesados en consultar la obra original.

Este trabajo, considera y discute, a través de un proyecto aplicado, desarrollado en un contexto de realidad profesional, la integración de herramientas y conocimientos que se han adquirido en las líneas de desarrollo del programa. Lo que se consolida en una investigación profesional contextualizada a la realidad profesional que se expone, la que se relacionada con líneas y ámbitos específicos abordados en el plan de estudios del programa, permitiendo integrar, de manera adecuada, los conocimientos teóricos y metodológicos desarrollados en él.

VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS DE DESPEGUE Y ATERRIZAJE VERTICAL: UNA NUEVA TECNOLOGÍA PARA LA ARMADA DE CHILE

Jorge Hartung Enríquez

Graduado del programa de Magister en Ingeniería Industrial y de Sistemas, Facultad de Ingeniería, Universidad de Desarrollo, j.hartunge@udd.com

Resumen:

Este trabajo presenta un análisis de la conveniencia, factibilidad y viabilidad logístico-económica respecto de la implementación del sistema de vehículos aéreos no tripulados de despegue y aterrizaje vertical (Unmanned Aerial Vehicle, Vertical Take-Off and Landing - UAV VTOL) y las nuevas capacidades que éstas brindarían a bordo de las unidades de la Armada de Chile, en el marco de las operaciones navales y marítimas. El objetivo de esta investigación es evaluar el impacto operacional, económico y logístico que implicaría su implementación de los vehículos aéreos no tripulados en las operaciones navales y marítimas a bordo de las unidades de la Armada de Chile. Para lograrlo se propone una aproximación mixta, basada en un análisis cualitativo a través de entrevistas semiestructuradas abierta de expertos, orientada a la contrastación de las capacidades en base a la experiencia con respecto al empleo de las aeronaves tripuladas en relación con los drones de despliegue vertical disponibles en el mercado. Un análisis cuantitativo con base en los datos estadísticos sobre costos de adquisición y operación de las aeronaves de exploración actualmente en uso por la institución y su correlación con los drones de despegue y aterrizaje vertical. Los datos muestran que, el empleo de UAV VTOL, en complemento con las aeronaves tripuladas embarcadas, eficientizan y reducen significativamente los costos de operación, tanto del ámbito naval como marítimo, para la Armada de Chile, a su vez reduce el riesgo operacional de los pilotos y extiende la disponibilidad de medios aéreos para las operaciones navales en el área de operaciones en beneficio de la salvaguarda de la vida en el mar, como en el resguardo y protección de la Zona Económica Exclusiva del país. En síntesis, el análisis realizado muestra que el uso de este tipo de aeronaves no tripuladas tiene importantes ventajas, las que se muestran como beneficiosas para la Armada de Chile, implicando una oportunidad para incrementar las capacidades aeronavales, eficiencia operativa, disminución de costos y un importante desafío para el desarrollo e implementación de este tipo de soluciones emergentes e innovadoras, acorde con el estado del arte y el desarrollo tecnológico, representando un complemento a las actuales capacidades de las aeronaves de la institución.

Palabras claves: UAS; MUAS; Vtol; UAV; RPAS; Situational Awareness

1. Introducción

Los Vehículos Aéreos No Tripulados de Despegue y Aterrizaje Vertical (UAV VTOL) han revolucionado el sector de la defensa, específicamente el ámbito naval y marítimo. Estas aeronaves combinan las capacidades únicas de despegue y aterrizaje verticales, del helicóptero embarcado, con la eficiencia de autonomía de vuelo de los aviones de ala fija; lo que les permite operar en entornos complejos de alto riesgo y donde el

margen de error es limitado, como en buques o plataformas marítimas.

La integración de los UAV VTOL en operaciones marítimas y navales está en pleno desarrollo, ofreciendo capacidades únicas que mejoran la eficiencia, la seguridad y la efectividad de las misiones en el mar. A medida que la tecnología avanza, es probable que su uso se expanda a más aplicaciones con el apoyo de softwares basados en inteligencia artificial, machine learning, procesamiento digital de datos,

consolidando su papel en el futuro de las operaciones navales y marítimas.

Responsabilidad institucional en la vigilancia y exploración aeromarítima

Según lo señalado en la Doctrina Marítima Nacional: El Poder Marítimo Nacional (Armada de Chile, 2009), destaca la importancia estratégica de las nuevas tecnologías en la supervisión de vastas áreas marítimas y el control de actividades marítimas en tiempos de paz y potenciales conflictos. Es responsabilidad institucional resguardar la Zona Económica Exclusiva, cuya extensión asciende a 3.409.122 km² y su Zona de responsabilidad de búsqueda y rescate marítimo la que tiene una extensión de 26.476.009 km² (Armada de Chile: Doctrina Marítima Nacional, 2009). La capacidad de exploración aeromarítima estratégica y vigilancia marítima de Chile se centra principalmente en aeronaves de ala fija de gran envergadura, consumo y autonomía, como los aviones Orión P-3ACH, P-111 y Casa C-295, los cuales son cruciales para cubrir los extensos espacios oceánicos de interés para el país.

Inteligencia, Vigilancia y Exploración del espacio marítimo

De acuerdo lo señalado en la Política de Defensa Nacional de Chile 2020 (Ministerio de Defensa Nacional de Chile, 2020), la Armada de Chile, como autoridad marítima, juega un papel vital en la supervisión y seguridad del mar, promoviendo la protección y asistencia en todas las áreas marítimas. Su misión abarca la vigilancia y el control, asegurando mares sostenibles y seguros para proteger los intereses nacionales, enfocándose en la protección de la vida y el medio ambiente.

El proceso de Inteligencia, Vigilancia, Adquisición de Blancos y Reconocimiento (ISTAR) para el entorno naval comprende la integración de la producción de estas actividades, con el propósito de mejorar el entendimiento y la capacidad de alerta de los comandantes (situational awareness), facilitando así la toma de decisiones oportuna y precisa en el contexto operacional y táctico. Destaca la necesidad de implementar sistemas de administración, procesamiento y análisis de datos e informaciones de inteligencia a nivel institucional o conjunto, así como diseñar e implementar políticas, doctrinas y procedimientos de entrenamiento adecuados para el proceso ISTAR, enfrentando desafíos significativos en su implementación y optimización dentro de las fuerzas armadas (Bravo, 2010).

Futuro de la aviación naval y sus dificultades

El futuro de la Aviación Naval de Chile se enfoca en un desarrollo equilibrado del poder naval, ajustándose a las disponibilidades presupuestarias mediante la adquisición de aeronaves versátiles y económicas. Se avizora la futura necesidad de integración de drones UAV para operaciones con un alto ratio de eficiencia y eficacia. La excelencia en el entrenamiento y la comprensión profunda de las operaciones navales guiarán su evolución, asegurando su contribución en misiones de control del espacio marítimo y proyección del poder naval. La realidad presupuestaria institucional debe tener en cuenta que la incorporación de tecnología UAV es clave para su sostenibilidad y eficiencia futura, a bajo costo (Aranda, 1998).

Empleo UAV en operaciones militares: EEUU

Udeanu et al. (2016), analizaron el papel que desempeñan los Vehículos Aéreos No Tripulados (UAV) en las operaciones militares, destacando su considerable influencia en las capacidades operacionales, la relevancia estratégica de los UAV, los beneficios y desafíos que presentan en distintos escenarios de conflicto. Se señala la necesidad crítica para el sector de defensa de los Estados Unidos de confrontar las consecuencias estratégicas y tecnológicas vinculadas al uso de UAVs, especialmente en vista de los progresos que incrementaban la mortalidad en los campos de batalla modernos. Se reconoció la aptitud de los UAVs para reducir los peligros para los humanos en combate, mientras se alerta sobre las restricciones tecnológicas para reemplazar completamente el discernimiento humano en la toma de decisiones.

Conforme a lo señalado por Udeanu et al. (2016), se examina el papel en evolución de los Vehículos Aéreos No Tripulados (UAV) en operaciones militares, destacando sus contribuciones significativas a las capacidades operativas. Con un enfoque en la importancia estratégica de vehículos pilotados, pilotados remotamente y autónomos; el estudio explora las ventajas y desafíos presentados por los UAV en los distintos niveles de un conflicto. Enfatiza la necesidad del sector de defensa de los EE. UU. de considerar las ramificaciones estratégicas y tecnológicas del despliegue de UAV, especialmente a la luz de los avances que aumentan la letalidad en el campo de batalla. Se reconoce el potencial de los UAV para minimizar los riesgos humanos en combate. Esta investigación subraya la necesidad de una evaluación

equilibrada del papel de los sistemas automatizados en la estrategia militar y la aplicación de la fuerza letal.

Experiencia comparada de otras marinas: Experiencia Fuerzas Armadas del Ecuador y Argentina

Montoya & Vásquez (2019), en su artículo titulado discute el desarrollo y uso de vehículos aéreos no tripulados (UAV) en las operaciones de vigilancia y control en Ecuador, destacando su relevancia en la recopilación de información cartográfica, en la exploración aeromarítima y en operaciones de inteligencia y seguridad. Resalta las ventajas de los UAV en el apoyo a operaciones militares, como la reducción de costos y el aumento de la eficiencia en áreas de difícil acceso, especialmente en situaciones de emergencia. Se concluye que los UAV son herramientas clave para fortalecer las capacidades de seguridad nacional y control territorial, con el potencial de extender sus aplicaciones en áreas más estratégicas.

Por otro lado, según Mazza (2022), explora la posibilidad del uso de drones o vehículos aéreos no tripulados (UAV) en la Armada Argentina y la factibilidad de desarrollo en la integración para Inteligencia, Vigilancia y Reconocimiento (IVR) moderna y económica para el control y vigilancia de los espacios marítimos. El estudio también aborda el diseño de bases aéreas distribuidas estratégicamente para dar apoyo logístico y operativo a estos drones. La investigación plantea la necesidad de potenciar y desarrollar tecnología nacional I+d argentina en búsqueda de la independencia tecnológica.

Tendencias del poder naval

La previsión para la Marina de EE. UU. de contar con una flota híbrida con una proporción significativa de unidades no tripuladas hacia el 2040, y el uso creciente de drones por parte de actores estatales y no estatales, subraya la necesidad de adaptar las estrategias defensivas y ofensivas a esta nueva realidad tecnológica. Los drones no solo representan una herramienta crucial para las operaciones militares modernas, sino que también plantean desafíos significativos en términos de seguridad y defensa (Jordán, 2023).

La versatilidad de los UAV's: Drones "kamikaze"

Los drones y vehículos no tripulados han marcado una revolución tecnológica impactando profundamente en el ámbito de la guerra, transformándose en herramientas clave para el aprovechamiento máximo de la tecnología en conflictos asimétricos a un costo

relativamente bajo. La efectividad en el uso de los UAV's como drones kamikaze y su reducido costo han demostrado ser gravitantes en conflictos bélicos como Nagorno-Karabaj (2020), Israel-Palestina y Ruso-Ucrania (2024). Los drones presentan una variedad de características, incluyendo limitaciones en capacidad de carga y autonomía, así como restricciones operativas debido a condiciones climáticas adversas. A pesar de esto, la evidencia empírica reciente, ha expandido de manera significativa el mercado global de drones al 2024, liderado por desarrollos en despegues verticales, inteligencia artificial y capacidad computacional. Así, Los drones kamikaze y vehículos no tripulados para ISR (o en español IVR) están revolucionando la guerra, ofreciendo capacidades avanzadas a bajo costo y prometiendo cambiar el futuro de los conflictos armados. La experiencia en conflictos recientes subraya su valor en vigilancia, inteligencia y ataques ofensivos, mientras que la evolución hacia flotas híbridas refleja la adaptación a esta tecnología disruptiva en estrategias militares. (Jordán, 2023).

Drones en la Guerra Moderna: "Evolución, Capacidades y Limitaciones"

El Centro de Estudios de Seguridad de ETH Zurich, examinó el valor de los drones en contextos militares, resaltando su creciente implicación en operaciones de contrainsurgencia y lucha antiterrorista, así como su proyectada relevancia en futuras acciones bélicas. Su accesibilidad económica los posiciona como activos preferenciales para tareas de alto riesgo o de naturaleza delicada, estos dispositivos aéreos se enfrentan a desafíos técnicos y a la posible evolución de tecnologías rivales, tales como los sistemas de defensa antiaérea. Pese a integrarse de manera fundamental en los conflictos venideros, su capacidad para sustituir totalmente a las aeronaves con piloto es limitada, perfilándose más bien como elementos que complementarán el arsenal aéreo (Mahadevan, 2010).

UAV como arma para Chile: Loitering munition, ¿un Reemplazo o un Complemento?

De acuerdo a lo señalado por Soto (2020) las municiones merodeadoras o drones armados con ojivas explosivas, podrían transformar la guerra de superficie. Discute su integración en la Armada de Chile, destacando su potencial para aumentar la precisión y minimizar daños colaterales comparado con armamentos tradicionales. El autor propone que estos drones pueden, tanto complementar, como

reemplazar a los sistemas de armas existentes, mejorando la eficacia en combate.

UAV's para apoyo humanitario y su impacto económico

Según Sugalski (2022), la viabilidad y los beneficios de integrar la tecnología de Vehículos Aéreos No Tripulados (UAV) de Despegue y Aterrizaje Vertical (VTOL) en todo tipo de operaciones, como las evidenciadas empíricamente mediante operaciones de Ayuda Humanitaria y Alivio de Desastres (HA/DR), resultaron en una reducción significativa de costos y una mayor tasa de utilización durante las operaciones logísticas sostenidas. Evidenció que la operación de UAV's en relación con una aeronave tripulada comprenden una reducción de costos del 74% menor que el de un sólo MV-22B con cuatro operadores o un solo HH-60W con ocho operadores. Este estudio ofrece una nueva perspectiva sobre la aplicabilidad y el análisis de costo-beneficio de los UAVs VTOL durante HA/DR, proporcionando un método diferente de realizar entregas de ayudas a residentes aislados, lo que finalmente habilita una respuesta ágil y a menor costo.

Comparación de los Costos de operación de las aeronaves tripuladas en relación a los UAV's

De acuerdo con lo mencionado por Joshi (2012), los costos operacionales (OPEX) de un avión de combate Gripen, o similar, pueden superar los \$10,000 dólares por hora. Otra aproximación indica que los costos operacionales de jets de civiles, como el Bombardier Challenger 350, puede ser de aproximadamente \$3,152 dólares la hora, mientras que otros modelos pueden superar los \$7,000 USD la hora, dependiendo del tamaño y sofisticación del avión (Marsh, 2015). Por otro lado, el RQ-11 Raven, UAV utilizado principalmente por las fuerzas armadas de los Estados Unidos de Norteamérica. Mientras que en otros países, para misiones de reconocimiento y vigilancia, el costo operativo se estima en aproximadamente \$100 a \$150 para drones de tamaño mediano y hasta \$1.200 por hora para drones ya de capacidad estratégica (Army Technology, s.f.).

Machine Learning e Inteligencia Artificial: Softwares de reconocimiento automático de imágenes

Según lo señalado por Kryvonos y Tupitsya (2024), el desarrollo de sistemas no tripulados con softwares de reconocimiento automatizado basados en la tecnología de aprendizaje automático e inteligencia artificial mejoran la eficiencia de los UAS tanto en entornos

militares como en tareas de ámbito marítimo. Aplicaciones en vigilancia, detección y operaciones tácticas se ven drásticamente beneficiadas. Sin embargo, enfatiza la necesidad de desarrollar capacidades robustas de ciberseguridad para proteger estos sistemas y sus comunicaciones frente a amenazas adversas (Carrasco, 2024).

Entendida esta realidad, y considerando la revisión bibliográfica presentada, es posible efectuar el siguiente cuestionamiento de contexto: ¿Cómo influye la incorporación de drones de despegue y aterrizaje vertical en las operaciones de la Armada de Chile y cuáles son sus repercusiones operativas y logísticas?

En efecto, el restringido presupuesto institucional y el alto costo que implica el empleo y sostenimiento de las aeronaves tripuladas pone en riesgo la disponibilidad operacional y la mantención de las actuales capacidades del ala fija y embarcada para el cumplimiento de los roles institucionales.

Habiendo recorrido las bases teóricas fundamentales para este estudio, cabe mencionar que la principal motivación para realizarlo ha sido la necesidad de atender la brecha tecnológica existente, así como la necesidad de propiciar la adopción de nuevas tecnologías que permitan a la Armada de Chile estar a la altura de los nuevos desafíos, equipadas de nuevas y mejores capacidades aeronavales capaces de aportar de mejor manera al cumplimiento de los roles institucionales, en línea con el empleo eficiente de sus recursos. Se propone un estudio que se distingue por abordar de manera integral los impactos que tendría la implementación de vehículos aéreos no tripulados de despegue y aterrizaje vertical (UAV VTOL) en el ámbito naval chileno, un área poco explorada en el contexto latinoamericano. Al combinar un enfoque metodológico mixto con datos cualitativos y cuantitativos, el análisis establece una comparación inédita entre aeronaves tripuladas y UAV VTOL, destacando su impacto operativo y logístico. Asimismo, se introduce el uso de tecnologías emergentes, como inteligencia artificial y machine learning, en el procesamiento de datos tácticos, lo que posiciona este estudio a la vanguardia del desarrollo tecnológico en operaciones marítimas. En este sentido el estudio contribuye significativamente al ámbito de la defensa y seguridad marítima al proporcionar una evaluación concreta de la viabilidad, conveniencia y sostenibilidad económica de los UAV VTOL para la Armada de Chile. Sus hallazgos identifican áreas clave donde estos sistemas pueden optimizar recursos, mejorar la

eficiencia operativa y reducir riesgos humanos. Además, el estudio ofrece un marco estratégico para la integración gradual de tecnologías avanzadas, sirviendo como referencia para futuras investigaciones y políticas en seguridad marítima. De este modo, fortalece las capacidades de vigilancia, exploración y control del espacio marítimo nacional en beneficio de la soberanía y seguridad nacional. Entendido esto, el objetivo de este trabajo es evaluar las capacidades operativas, logísticas y económicas de la Armada de Chile, mediante un enfoque mixto que combine un análisis cualitativo y cuantitativo.

2. Metodología

Paradigma y diseño: Para el presente estudio se ha seleccionado un enfoque metodológico mixto, conforme a Gómez & Roquet (2009). En una primera etapa, se adopta una perspectiva cualitativa mediante el uso de entrevistas semiestructuradas, según Hernández (2020). Este método facilita una exploración profunda de las percepciones, expectativas y experiencias comparativas entre distintos expertos, así como de los efectos operacionales y organizacionales derivados de la introducción de tecnologías UAV VTOL. Posteriormente, se emplea un método cuantitativo utilizando datos del sistema de gestión de datos logísticos "SIGLAN" y datos empíricos proporcionados por los proveedores del sector defensa. Este enfoque permite realizar una comparación, contrastación y análisis de datos sobre las capacidades, misiones, restricciones, consumo, costos de mantenimiento y sostenibilidad de las aeronaves tripuladas y no tripuladas.

Datos con los que se efectuó el estudio: Se recolectarán datos obtenidos de fuentes abiertas y datos empíricos del software "SALINO" y "SIGLAN", los cuales son utilizados por la Armada de Chile para la gestión de activos, ambos poseen módulos dedicados para el almacenamiento de datos operativos, logísticos, adquisiciones, consumo, mantenimiento y sostenimiento de activos. Asimismo, se realizará un muestreo por conveniencia entre personal de la Armada senior con sobre 10 años de servicio, para desarrollar las entrevistas semiestructuradas. La herramienta mencionada anteriormente será de carácter abierta y con una participación de 15 profesionales del ámbito logístico y técnico, todos ellos con vasta experiencia en el área señalada y de desarrollo de proyectos complejos.

Entorno: Estudio enfocado en la Armada de Chile ubicado en el área de Valparaíso - Chile; institución es dependiente del Ministerio de Defensa. Los entrevistados pertenecen a la planta de la institución con formación y desarrollo en el ámbito logístico en la Dirección General de los Servicios de la Armada. Los activos navales estudiados operan a lo largo de toda la Zona Económica Exclusiva del Estado de Chile. El sostenimiento y apoyo de base de las aeronaves tripuladas comprenden una variedad de bases navales distribuidas a lo largo de la extensa costa chilena, desde la estratégica base naval de Talcahuano en el centro-sur del país hasta la II y IV zona naval con sus instalaciones en los extremo norte y austral del país (Armada de Chile, s.f.).

Instrumentos: Como se mencionó anteriormente, el estudio consiste de una metodología mixta, en donde la aproximación cualitativa es realizada a través de entrevistas Semiestructuradas abiertas a expertos relacionadas con la problemática en cuestión. Complementándolo con un análisis comparativo estadístico de carácter cuantitativo de datos obtenidos de fuentes abiertas y de los sistemas de control de gestión institucional "Salino" y "SIGLAN".

El instrumento cualitativo de entrevista abierta se realizó a 15 especialistas, donde las preguntas se dividieron en 04 etapas, detalladas a continuación:

Etapas 1: Caracterización de percepciones generales de uso de aeronaves tripuladas

- 1) En términos operacionales, ¿Cuáles son los principales beneficios que aportan las aeronaves tripuladas, para las operaciones marítimas?
- 2) En términos operacionales, ¿Cuáles son las principales limitaciones de las aeronaves tripuladas, en la institución?

Etapas 2: Caracterización de percepciones generales de uso de aeronaves no tripuladas

- 3) En términos operacionales, ¿Cuáles son los principales beneficios que identifica con la implementación de los UAV VTOL abordo?
- 4) En términos operacionales, ¿Qué restricciones o limitaciones ve respecto al uso de esta nueva tecnología?
- 5) ¿Cuál es su visión respecto al empleo de UAV en el ámbito marítimo y naval?

Etapa 3: Comparación entre las Aeronaves tripuladas con las UAV Vtol

6) ¿En qué tipo de misiones podrían diferenciarse?

Etapa 4: Análisis FODA del UAV Vtol a bordo respecto a las aeronaves tripuladas

7) Utilizando la metodología FODA, en su opinión, ¿Cuáles estima que son los atributos principales que se deberían considerar?

Etapa 5: Aspectos tácticos

8) ¿Qué impacto táctico tendrían los drones en las operaciones navales y marítimas?

Etapa 6: Aspectos económicos y logísticos

9) ¿Qué impacto económico y disponibilidad operacional tendrían los drones en las operaciones navales y marítimas?

10) ¿Qué beneficios ve Ud., en términos de mantenimiento?

El Instrumento Cuantitativo, comparará antecedentes logísticos de abastecimiento, consumo, mantenimiento, operadores/pilotos, transporte, infraestructura y de operación de aeronaves en torno a sus capacidades, funcionalidades y características propias.

Ética: Se examinan los datos recopilados de entrevistas y encuestas, asegurando la confidencialidad de los participantes y respetando sus respuestas y opiniones. Se compromete a mantener la objetividad en todo el proceso de investigación y la reserva en la presentación de los resultados obtenidos, toda vez que el tema trata de artefactos militares y desarrollo de fuerza.

3. Resultados

Conforme al marco metodológico, se obtuvieron resultados de carácter cualitativos, obtenidos de las entrevistas semiestructuradas a expertos. Asimismo, se recolectaron y compararon registros desde las bases de datos de la institución y la información técnica entregada por las empresas del sector, así se obtuvieron resultados cuantitativos que respaldan los hallazgos cualitativos.

3.1 Análisis de los datos cualitativos

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de cada uno de los 10 ítems. Por cuestiones de espacio y de claridad en la lectura se ha decidido incluir únicamente los datos que aportan información relevante y que fueron contributivos para desarrollar

las entrevistas para este artículo, se resumen en la tabla.

Tabla 1

Misiones por Tipos de Aeronaves

Misiones por tipos de aeronaves

Nro	Misiones	Helo embarc	Aeronave a la fija	UAV Vtol
Tiempo de Paz				
1	Busqueda y Rescate (SAR)	Si	No	No
2	Vigilancia y Reconocimiento	Si	Si	Si
3	Evacuación médica (MEDEVAC)	Si	No	No
4	Transporte Logístico	Si	No	No
5	Permanencia en el área sostenida	No	Si	Si
6	Lucha contra el narcotráfico	Si	Si	Si
7	Asistencia Humanitaria	Si	Si	Si
8	Inteligencia	Si	Si	Si
9	Relay de Comunicaciones	Si	Si	Si
10	Monitoreo de zonas de pesca	Si	Si	Si
11	FOTOEX	Si	Si	Si
12	Detección de derrames de petróleo	Si	Si	Si
13	Inspección de infraestructuras	Si	Si	Si
14	Apoyo zonas aisladas	Si	Si	No
15	Transporte de personal	Si	Si	No
16	Enlace de comunicaciones	Si	Si	Si
Tiempo de Guerra				
17	Guerra antisubmarina	Si	Si	Si
18	Ataque con torpedos livianos	Si	Si	No
19	Despliegue de sonoboyas	Si	Si	Si
20	Despliegue de sonar (Dipping Sonar)	Si	No	No
21	Despliegue de Decoy	Si	Si	Si
22	Apoyo Aéreo Cercano (CAS)	Si	Si	No
23	Guerra Electrónica	Si	Si	Si
24	Relay de Comunicaciones	Si	Si	Si
25	Inserción de FFEE	Si	Si	No
26	Búsqueda y Rescate de Combate	Si	Si	No
27	DAMASS	Si	Si	Si
28	Ataque de Precisión con misiles	Si	No	Si
29	Ataque con Loitering	Si	No	Si
30	Ataque de precisión	Si	No	Si
31	Espoteo	Si	Si	Si

Si	30	24	21
No	1	7	10
Total	31	31	31

Si	97%	77%	68%
No	3%	23%	32%

Fuente: Elaboración propia.

Para facilitar la conducción de las entrevistas, éstas se apoyaron en base a las misiones de la tabla anterior categorizadas principalmente en dos grandes grupos: aquellas llevadas a cabo en tiempos de paz y aquellas ejecutadas en tiempos de guerra. Las misiones en tiempos de paz se enfocan principalmente en actividades marítimas, tales como búsqueda y rescate (SAR), vigilancia y reconocimiento (ISR, por sus siglas en inglés), evacuación médica, transporte logístico, inteligencia, retransmisión de comunicaciones, y ejercicios humanitarios. Por otro lado, las misiones en tiempos de guerra incluyen operaciones como apoyo a la guerra antisubmarina, ataques, despliegue de sonoboyas, guerra electrónica (ESM), inserción de fuerzas especiales (FFEE), dirección y asignación de misiles (DAMASS), espoteo, entre otras.

Ítem 1: En términos operacionales, ¿Cuáles son los principales beneficios que aportan las aeronaves tripuladas, para las operaciones marítimas?

Si se revisan los resultados generales de la primera pregunta de la entrevista, nos encontramos que un 50.0% de los entrevistados estiman que el principal beneficio de las aeronaves tripuladas (actualmente en uso por la institución) consiste en la capacidad de Transporte, Rescate y Vigilancia que éstas poseen, lo que queda de manifiesto en opiniones como: "...La capacidad única de realizar tareas de transporte de personal y rescate desde una plataforma naval..." (Entrevistado 2) o "...el hecho de que éstas cuenten con la capacidad de rescatar vidas humanas en el mar..." (Entrevistado 5). Luego con 41.7% los entrevistados señalan como virtud la capacidad de permitir la toma de decisiones desde el aire y su capacidad de razonamiento abordo, lo que queda de manifiesto en opiniones como: "...El hecho de tener tripulación abordo permite una mejor percepción de la realidad..." (Entrevistado 1) o "...su principal beneficio está en la capacidad de que el ser humano sea participe directo de la toma de decisiones..." (Entrevistado 11), con tan solo 8.3% se mencionan otras características irrelevantes.

Ítem 2: En términos operacionales, ¿Cuáles son las principales limitaciones de las aeronaves tripuladas, en la institución?

En relación a las limitaciones, se pudo evidenciar que con un 41.7%, el factor de la disponibilidad del recurso humano y material es la principal limitación para la institución, lo que queda de manifiesto en opiniones como: "...la poca disponibilidad de plataformas aéreas y de pilotos..." (Entrevistado 1) y "...el costo de

operación es extremadamente alto..." (Entrevistado 3), consecutivamente un 25% de los entrevistados señalan las limitaciones operativas producto del alto costo de operación, presente en respuestas como "...el costo de las operaciones es extremadamente alto, lo que limita su uso y disponibilidad..." (Entrevistado 3).

Ítem 3: En términos operacionales, ¿Cuáles son los principales beneficios que identifica con la implementación de los UAV VTOL abordo?

El 66,7% de los entrevistados señalaron que las aeronaves no tripuladas de despliegue vertical (UAV VTOL) aportan versatilidad y flexibilidad, de acuerdo a "...su rápida respuesta y versatilidad..." (Entrevistado 2), como "...la permanencia y flexibilidad, no limitada por el restrictivo Hora Límite Operación (HLO) de las A/N tripuladas..." (Entrevistado 12) y el costo de las operaciones es extremadamente alto..." (Entrevistado 12). Mientras que un 16,7% de los entrevistados señalan como beneficio la eliminación del riesgo humano en las operaciones, así como también el concepto de permitir una mayor disponibilidad del UAV VTOL, según lo relatado "...El menor costo de operación, se traduce en una mayor permanencia en el aire.....(Entrevistado 4).

Ítem 4: En términos operacionales, ¿Qué restricciones o limitaciones ve respecto al uso de esta nueva tecnología?

Un 33.3% de los entrevistados indican que la principal limitación de los UAV VTOL consiste en su reducida capacidad de transporte de personal y carga, lo que queda de manifiesto en opiniones como: "...su reducida capacidad de levantamiento de carga..." (Entrevistado 6) y "...su gran limitación respecto al Payload que pueden llevar y a la incapacidad de realizar tareas de transporte de personal..." (Entrevistado 12). Mientras que un 25% señala como restricción su poca capacidad para operar bajo condiciones meteorológicas adversas, señalado en "...presenta limitaciones de despegue y aterrizaje con fuertes vientos..." (Entrevistado 7).

Ítem 5: ¿Cuál es su visión respecto al empleo de UAV en el ámbito marítimo y naval?

Un 50% de los entrevistados opina que los UAV VTOL actuaran como un complemento a las capacidades actualmente presentes en la institución, de acuerdo a lo señalado en respuestas como "...las aeronaves no tripuladas llegarán y serán complementarias a las A/N tripuladas..." (Entrevistado 3) y "...no son una herramienta de reemplazo, sino que serán un complemento..." (Entrevistado 11). Por otra parte, un

25% indica que mejorará las capacidades institucionales, y las ejemplifican respuestas como "...con esto se dejará de exponer y poner en riesgo a personal para reconocimiento en áreas peligrosas y en actividades con altos niveles de exposición como, evaluación de daños en combate..." (Entrevistado 10).

Ítem 6: ¿En qué tipo de misiones podrían diferenciarse?

Un 50% de los entrevistados indican que la principal diferencia entre ambos activos (A/N tripuladas versus UAV VTOL) consiste en las capacidades de cumplir misiones militares, expresadas en frases como: "...podrán emplearse para tareas de evaluación de daños, espoteo, targeting, identificación positiva de blancos..." (Entrevistado 12). Luego, con un 33%, se señalan conceptos de empleo en tareas de seguridad marítimas, como lo señalan las siguientes textualidades: "...su flexibilidad para empleo de tareas de búsqueda y rescate marítimo (SAR)..." (Entrevistado 9) y "...empleo para exploración aeromarítima, reconocimiento y fiscalización pesquera..." (Entrevistado 4).

Ítem 7: Utilizando la metodología FODA, en su opinión, ¿Cuáles estima que son los atributos principales que se deberían considerar?

En relación a las fortalezas identificadas, ambos con igual proporción con un 50% están los conceptos de Costo/eficiencia y Autonomía y flexibilidad, evidenciados, de acuerdo a "...Costo operación y mantenimiento..." (Entrevistado 1), "...buena razón de costo-eficiencia..." (Entrevistado 7), "...su gran autonomía de vuelo y flexibilidad..." (Entrevistado 2) y "...su gran versatilidad..." (Entrevistado 5).

Respecto a las oportunidades, se destaca el gran potencial para el desarrollo tecnológico y operacional con un 66,7% de los entrevistados, de acuerdo a: "...permitirá generar desarrollo tecnológico en torno a esta tecnología..." (Entrevistado 3) y con un 25% se plantea su versatilidad ante nuevas capacidades operacionales, como expresa el entrevistado 6 "...se presentarán nuevas capacidades operacionales..."

Un 66.7% de los entrevistados indica como debilidad el hecho de que los sistemas de UAV VTOL representen en la actualidad una tecnología emergente con evidentes limitaciones operativas, expresado según el entrevistado 5 "...presentan una limitada capacidad de levantamiento de carga útil y son extremadamente vulnerables a la meteorología..." Luego, el restante 33.3% de los entrevistados apuntan debilidades en

cuanto a su dependencia tecnológica radial, de acuerdo a lo expresado por el entrevistado 2 "...presenta una dependencia de enlace de comunicaciones de data link".

Las amenazas identificadas apuntan principalmente a mecanismos coercitivos para evitar el empleo y masificación de esta tecnología, con un 41,7% de los entrevistados, en comentarios como "...vulnerables a contramedidas electrónicas..." (Entrevistado 7), luego el 25% atribuye una amenaza real la resistencia al cambio y las dificultades de implementación de una nueva tecnología, de acuerdo a: "...la resistencia al cambio será una barrera importante a superar..." (Entrevistado 1)

Ítem 8: ¿Qué impacto táctico tendrían los drones en las operaciones navales y marítimas?

En cuanto a lo táctico, un 50% de los entrevistados señala que se generará un cambio en los procedimientos tácticos operacionales, según "...se producirá una iniciativa en términos de la guerra asimétrica..." (Entrevistado 8), otro 33.3% señala que se producirá una mejora en cuanto a la conciencia situacional del teatro de operaciones y de los comandantes de buque, según "...brindarán una mayor conciencia situacional, en tiempo real..." (Entrevistado 3).

Ítem 9: ¿Qué impacto económico y disponibilidad operacional tendrían los drones en las operaciones navales y marítimas?

El 91,7% de los entrevistados señala como consecuencia de la economicidad y reducción de costos de operación y mantenimiento implicarán una mayor disponibilidad operacional en tareas propias de la institución, lo que queda de manifiesto en opiniones como: "...presentan una buena relación costo-beneficio, por su bajo costo de operación y reducido mantenimiento..." (Entrevistado 9) y "...los UAV VTOL son de fácil mantenimiento y con costos de menores de operación ..." (Entrevistado 12).

Ítem 10: ¿Qué beneficios ve Ud., en términos de mantenimiento?

El 66% de los entrevistados señala que, en términos de sostenimiento logístico y mantenimiento, el empleo de esta tecnología presenta beneficios en la reducción de costos por conceptos de mantenimiento, expresados por entrevistado 1 "...alta disponibilidad logística a menor costo...", "...reducción de costos de mantenimiento en menor tiempo..." (Entrevistado 9).

Luego el 33.3% de los entrevistados señala como característica principal el hecho de que la modularidad en su mantenimiento (Line Replaceable Unit - LRU y Commercial Off The Shelf - COTS), como principales características, señalados en: "...mantenimientos sencillos en base a LRU" (Entrevistado 7).

3.2 Análisis de datos cuantitativos

El análisis cuantitativo consistió en realizar un cuadro comparativo entre tres tipos de aeronaves, el UAV VTOL (del tipo MUAS Jump-20 de la empresa Aerovironment Inc.), el avión de ala fija P-111 y el helicóptero embarcado HH-65/SH-32 Cougar, aeronaves tripuladas actualmente en uso por la Armada de Chile. El estudio evaluó sus capacidades operativas, eficiencia en el consumo de combustible, autonomía y capacidad de carga, entre otras variables clave. Este análisis (ver figura 1) permite ver cuál de estas opciones resulta más adecuada para misiones específicas, considerando tanto el costo operativo como el rendimiento.

Consumo de Combustible

El UAV VTOL Jump20 destaca por su eficiencia extrema en el consumo de combustible, consumiendo solo entre un 0.5 a un 0.8% del combustible que utiliza el helicóptero HH-65, con un consumo de tan sólo 3 litros por hora. Por otro lado, el P-111 (Ala Fija) presenta un consumo de combustible muy cercano al del helicóptero, con un 98.67% del consumo del HH-65, alcanzando 370 litros por hora. El HH-65 (Helicóptero Embarcado), sirve como referencia con un consumo de 375 litros por hora, representando el 100% de la muestra.

En términos comparativos, el consumo de combustible de aviación de un helicóptero embarcado SH-32 en una hora equivale a 213 horas de un solo MUAS VTOL, debido a que solo consume un 0,47% de un helicóptero Cougar SH-32, cuyo consumo es de aproximadamente 640 litros-hora.

Debido a lo anterior, el UAV VTOL Jump20 muestra una ventaja clara en términos de eficiencia de combustible, reduciendo considerablemente los costos de operación en comparación con las otras dos aeronaves.

Autonomía Operacional

El UAV VTOL Jump20 posee una autonomía de sobre 14 horas de vuelo, lo que lo coloca muy por delante de las demás aeronaves analizadas, duplicando la autonomía del P-111 y superando ampliamente la del HH-65. Por

otra parte, la autonomía del P-111 es de sólo 7 horas, una cifra intermedia entre las tres opciones. El HH-65: Tiene la menor autonomía con solo 2 horas de operación continua, dependiendo de la configuración al despegue, lo que limita su aplicabilidad para misiones de largo alcance, su virtud consiste en que representa una aeronave embarcada, por lo que le permitiría ser despachada en cercanías del área de interés.

El UAV VTOL Jump20 se perfila como la mejor opción para misiones que demanden largas horas de operación sin interrupciones, destacándose en esta categoría. Esto siempre y cuando cuente con un enlace de comunicaciones robusto complementado con data link satelital, para no verse restringido por la Línea de mira o LOS.

Capacidad de Carga

El UAV VTOL Jump20 tiene una capacidad de carga limitada de sólo 30 Lb y sin capacidad de transportar personas, representando únicamente el 1.7% de la capacidad de carga del HH-65. Por otra parte, el P-111 puede transportar 160 kg (sin considerar su tripulación embarcada), lo que equivale a más de cinco veces la capacidad del UAV VTOL, pero sigue siendo inferior en comparación con el HH-65, diseñado con una capacidad de levante de 900 kg, especial para misiones de rescate de personas en el mar y transporte de carga. Luego, el helicóptero HH-65 es claramente la opción más apropiada.

Costo Operativo por Hora

El UAV VTOL tiene un costo de operación de tan solo 500 USD por hora, es considerablemente más económico que sus contrapartes, siendo 16 veces más barato que el P-111 y 18 veces más barato que el HH-65. De acuerdo a la información obtenida, el P-111 o similar tiene un costo operativo de 8.000 USD por hora, pero aun ligeramente inferior al HH-65, con 9.000 USD por hora. El UAV VTOL demuestra ser una opción de bajo costo, ideal para misiones donde el presupuesto sea una limitante, sin sacrificar la autonomía operacional.

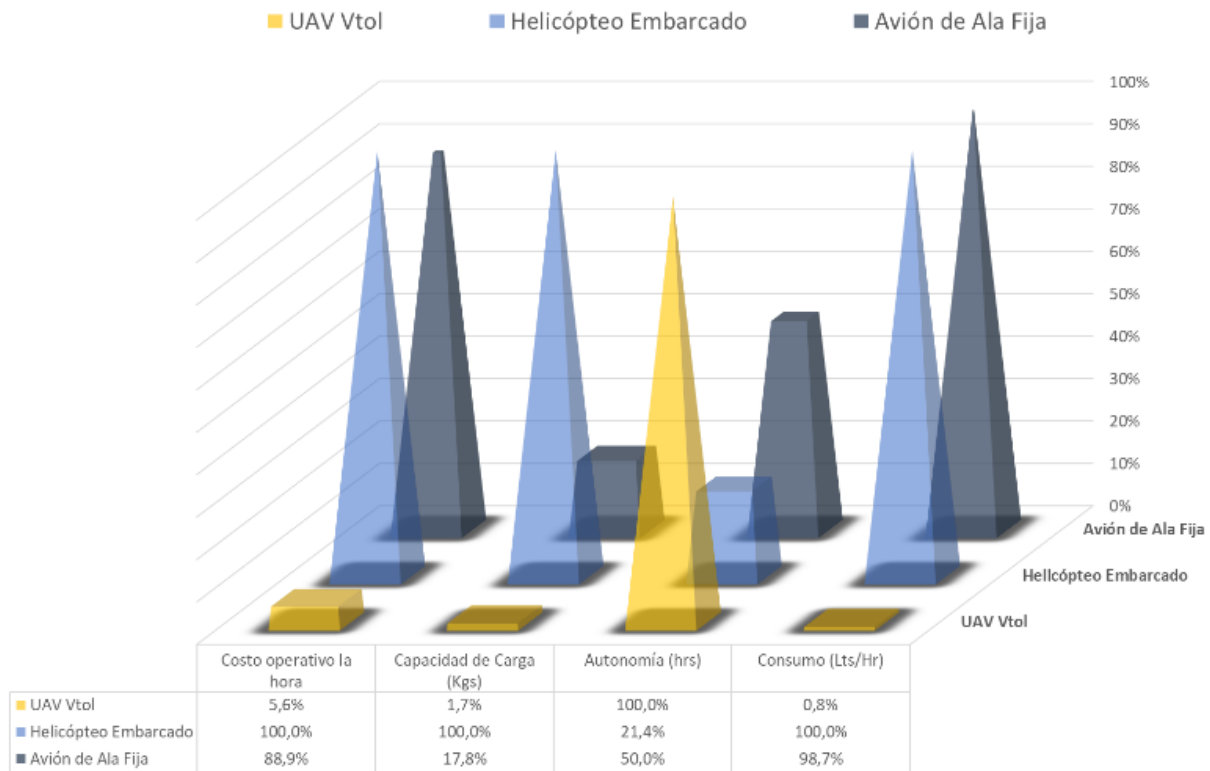
Personal Requerido

El UAV VTOL del tipo Jump20 requiere de solo 3 operadores, lo que reduce significativamente los recursos humanos necesarios en comparación con los 14 pilotos y mantenedores requeridos por el P-111 y el HH-65. Esto lo convierte en una opción atractiva desde el punto de vista de la eficiencia de recursos humanos y necesidades de capacitación, entrenamiento y horas de

vuelo de los pilotos, operadores y personal especialista de mantenimiento.

Figura 1:

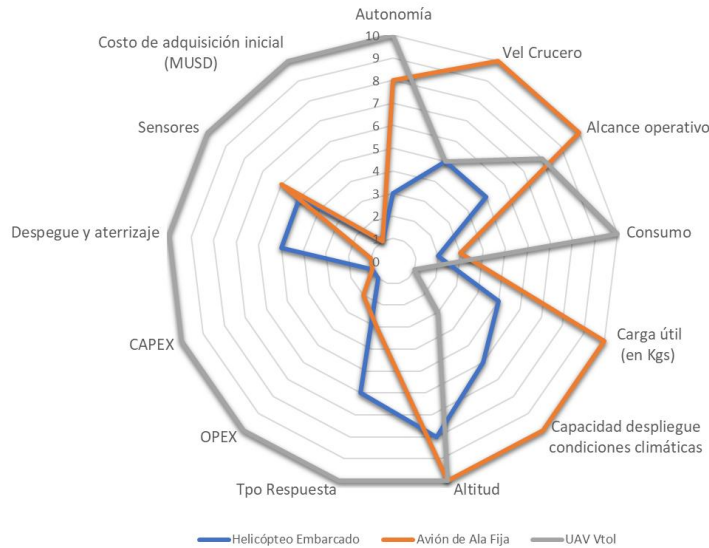
Gráfico comparativo entre aeronaves (fuente: elaboración propia).



Nota: Cada concepto se normalizó en base a aquella aeronave con mejor rendimiento.

Figura 2:

Gráfico comparativo entre aeronaves (fuente: elaboración propia).



Nota: Cada concepto se ponderó entre una puntuación del 1 (siendo la capacidad con menor rendimiento) al 10 (siendo esta la capacidad de mejor rendimiento).

3.3 Discusión de resultados cualitativos

Respecto a la Caracterización de percepciones generales de uso de aeronaves tripuladas, las percepciones sobre el uso de aeronaves tripuladas destacan su capacidad para realizar misiones de rescate, transporte y vigilancia, así como la importancia del razonamiento humano a bordo. Sin embargo, se observa una limitada disponibilidad de pilotos y personal técnico calificado para operar las aeronaves, además de una insuficiente cantidad de aeronaves operativas disponibles, debido a la realidad institucional, lo que afecta su disponibilidad y sostenibilidad en el cumplimiento de las tareas y roles navales y marítimos. Para mitigar estas brechas, se sugiere complementarlo con el uso de aeronaves tripuladas con UAV VTOL, empleándolos en tareas de búsqueda y vigilancia junto con sistemas de inteligencia artificial automatizados.

En relación a la Caracterización de percepciones generales de uso de aeronaves no tripuladas, los UAV VTOL presentan gran una versatilidad y flexibilidad gracias a los avances tecnológicos, permitiendo

respuestas rápidas en entornos variados y sin exponer vidas humanas (Jordán, 2023). Sus costos reducidos de mantenimiento y menor consumo combustible favorecen una mayor disponibilidad operativa. Sin embargo, estos sistemas presentan limitaciones significativas, como su baja capacidad de carga y nula capacidad de rescate de vidas humanas en la mar, lo que restringe su aplicabilidad en operaciones de salvamento. También se identifican riesgos por la dependencia de sistemas de comando y control y link táctico de comunicaciones. Se puede concluir que las aeronaves tripuladas y no tripuladas son complementarias, ya que las capacidades de carga y rescate de las aeronaves tripuladas cubren las limitaciones críticas de los UAV, mientras que los UAV aportan versatilidad, flexibilidad y economía para misiones de búsqueda y patrullaje.

Respecto a la Comparación entre aeronaves tripuladas y UAV VTOL, las aeronaves tripuladas son preferidas en misiones marítimas de rescate donde la intervención humana directa es fundamental, especialmente en tareas de emergencia que requieren personal, como

nadadores de rescate, enfermeros o misiones transporte de personal y carga pesada. En contraste, los UAV VTOL son más adecuados para misiones militares de alto riesgo, como evaluación de daños, inteligencia, apoyo de fuego naval, en las que el riesgo para la vida humana es elevado, o en operaciones en donde se requiere una alta y rápida disponibilidad para estar en el aire. La eliminación de la tripulación hace de los UAV una opción eficaz, versátil y flexible para operaciones de búsqueda, reconocimiento y apoyo en combate, maximizando la seguridad en misiones de alto riesgo y agilizando el arribo a la escena ante casos de búsqueda y rescate (Jordán, 2023).

El Análisis FODA del UAV VTOL a bordo respecto a las aeronaves tripuladas destacan a los UAV VTOL como una opción viable, factible y conveniente frente a las aeronaves tripuladas debido a su bajo costo operativo y mantenimiento, su autonomía y flexibilidad (Mahadevan, 2010). Estas características las hacen ideales para misiones prolongadas y rápidas de desplegar, optimizando recursos y minimizando el riesgo para el personal. Asimismo, la versatilidad de los UAV y su potencial desarrollo tecnológico representan una oportunidad para ampliar las capacidades de la institución (conveniencia), con posibles avances en softwares con inteligencia artificial, reducción de costos y fortalecimiento de la industria nacional. No obstante, los UAV enfrentan desafíos importantes, como su limitada capacidad de carga, vulnerabilidad a condiciones climáticas y dependencia de sistemas de comunicación. Además, enfrentan amenazas de resistencia al cambio y la necesidad de adaptarse a regulaciones nacionales/internacionales y contramedidas electrónicas, lo cual podría requerir una estrategia de implementación gradual.

Respecto a los Aspectos técnicos, los drones de despegue vertical tienen el potencial de transformar la táctica en las operaciones navales, ya que permiten modificar procedimientos de ataque, especialmente en la guerra asimétrica, antisubmarina y en tareas de reconocimiento, lo que incrementa la adaptabilidad y eficiencia en conflictos asimétricos (Jordán, 2023). Además, su capacidad para tener rápidamente un “ojo en el aire” permite mejorar la conciencia situacional del comandante y permite la recopilación de información en tiempo real, sin vulnerar la seguridad del personal. Este impacto positivo en la eficiencia y reducción de costos convierte a los drones en una herramienta costo-efectiva que optimiza los recursos y resguarda los activos de la institución, consolidándolos como un

recurso táctico esencial para la modernización de las operaciones navales.

Finalmente, en relación a los Aspectos económicos y logísticos, los drones impactarían positivamente en el ámbito económico de las operaciones navales, ofreciendo mayor disponibilidad operativa gracias a sus menores costos de operación y sostenimiento (factor de conveniencia), en comparación con las aeronaves tripuladas (Montoya & Vásquez, 2019). La relación favorable del costo de las horas de vuelo permite su operación a una fracción del costo actual, generando ahorros significativos y una mejor relación costo-beneficio en misiones de rutina o de larga duración. En términos de mantenimiento, los drones requieren menor intervención y menores costos, destacándose por su modularidad, lo que permite una logística simplificada (concepto LRU) y tiempos de reparación más cortos. Estas características consolidan a los drones como una alternativa económica y práctica, capaz de complementar los sistemas tripulados en operaciones menos críticas, maximizando la eficiencia sin comprometer la efectividad operativa.

Para abordar las brechas expuestas se propone complementar el uso de las aeronaves tripuladas con el empleo de UAV VTOL para la absorción de aquellas tareas en donde el uso de las aeronaves tripuladas se vuelve ineficiente producto de su alto consumo y reducida disponibilidad, de tal manera de utilizarlos principalmente para aquellas actividades de exclusiva relevancia, como rescate de la vida humana en el mar y actividades de transporte de carga y personal. Por otra parte, aprovechar las bondades de los UAV's en misiones de búsqueda, vigilancia, inteligencia, reconocimiento, con el apoyo de softwares con procesamiento de imagen e inteligencia artificial para el reconocimiento e identificación automática (Kryvonos y Tupitsya, 2024). De esta forma, lograr una mejor configuración conjunta de tal manera de disponibilizar de mejor manera los recursos y activos de la institución, en beneficio de los roles asignados a la Armada de Chile (Armada de Chile, 2009).

3.4 Discusión de resultados cuantitativos

El análisis cuantitativo entre el UAV VTOL del tipo Jump20 de Aerovironment Inc., el avión de ala fija P-111 y el helicóptero embarcado HH-65 o SH-32 evidencia las ventajas y limitaciones de cada aeronave en función de diversas métricas operativas. Dentro de los hallazgos cuantitativos encontrados, es posible inferir que el UAV VTOL destaca notablemente por su

eficiencia en el consumo de combustible, con solo un 0.5% pudiendo ser hasta un 0.8% del consumo del helicóptero SH-32 o HH-65, respectivamente; con una autonomía de más de 14 horas de vuelo, lo cual lo hace ideal para misiones de larga duración y bajo costo operativo en conceptos de mantenimiento, en torno a los 500 USD por hora (Marsh, 2015). Esta economía de combustible y costos sostenimiento operativos lo sitúan como la opción más rentable y sostenible (factor de conveniencia) para misiones de larga duración como vigilancia, exploración y reconocimiento, siempre que se disponga de un enlace de comunicaciones adecuado para superar las limitaciones de línea de vista (LOS). Así, un hallazgo importante es que, ante una misma asignación de recursos de combustible anual, es posible operar con MUAS sobre 213 veces, en comparación con el empleo de un helicóptero SH-32, lo que permitiría una mayor presencia en el aire, en beneficio de las tareas de vigilancia y control del tráfico marítimo de la institución (Ministerio de Defensa: Política de Defensa Nacional, 2020).

Por otro lado, en cuanto a la capacidad de carga el helicóptero HH-65 y las aeronaves de ala fija de la Armada de Chile representan claramente una superioridad en cuanto a su capacidad de levantamiento de carga con sobre 900 kg, siendo ideal para misiones de rescate o transporte pesado y personal, mientras que el UAV VTOL tiene una capacidad muy limitada de solo 30 kg (Armada de Chile, s.f.).

Finalmente, el costo operativo y los requerimientos de personal favorecen al UAV VTOL, que solo necesitan una mínima cantidad de operadores y mantenedores, en comparación con los 14 pilotos y mantenedores requeridos por el P-111 y el HH-65, para su operación. Esto convierte al UAV en una opción atractiva en términos de recursos humanos y costos de operación, especialmente para misiones con restricciones presupuestarias o de personal.

3.5 Implementación de vehículos aéreos no tripulados: Análisis de impacto

La incorporación de UAV VTOL en las operaciones navales de la Armada de Chile genera un impacto significativo tanto en el ámbito operativo como en el logístico. En el aspecto operacional, estos sistemas complementan las capacidades existentes de las aeronaves tripuladas, permitiendo realizar misiones de vigilancia, inteligencia, reconocimiento y patrullaje con mayor eficiencia, autonomía y a un menor costo. Su

capacidad para operar sin poner en riesgo la vida humana resulta especialmente valiosa en entornos de alto riesgo o en condiciones adversas, como el monitoreo en áreas de conflicto o la fiscalización en zonas remotas de la Zona Económica Exclusiva (ZEE).

En el ámbito logístico, el uso de UAV VTOL presenta una ventaja significativa al reducir los costos operativos y de mantenimiento. Mientras que las aeronaves tripuladas actuales, como los helicópteros embarcados y aviones de ala fija, consumen altos niveles de combustible, requieren personal especializado, proceso de calificación exhaustivos y mantenimiento intensivo; en cambio, los UAV VTOL destacan por su bajo costo por hora de vuelo y menores requerimientos de personal especializado. Además, su modularidad y menor complejidad mecánica facilitan las tareas de reparación y sostenibilidad.

Sin embargo, la implementación de esta tecnología también enfrenta limitaciones importantes, como su baja capacidad de carga y transporte, que restringen su uso en misiones de rescate o transporte de personal. Estas restricciones refuerzan la idea de que los UAV VTOL no deben reemplazar a las aeronaves tripuladas, sino complementarlas, optimizando el uso de los recursos disponibles para cada tipo de misión.

En síntesis, la incorporación de UAV VTOL en la Armada de Chile representa una oportunidad estratégica para mejorar la eficiencia operativa y económica en misiones de rutina y largo alcance, a la vez que se reduce el riesgo humano en operaciones de alto peligro. No obstante, su éxito dependerá de una implementación que aborde sus limitaciones y aproveche su potencial como complemento de las capacidades existentes, asegurando así una mejor preparación de la institución frente a los desafíos operativos y logísticos actuales y futuros.

4. Conclusiones

Este trabajo establece que la implementación de aeronaves no tripuladas de despegue y aterrizaje vertical significa un beneficio costo-efectivo para la institución, ya que eficientiza el uso de los recursos en sobre un 21.333% respecto al consumo de combustible y aumenta la disponibilidad operacional en más de 213 veces, complementando así las actuales capacidades aeronavales de la institución. Para ello se compararon las actuales capacidades de las aeronaves tripuladas con las de los UAV VTOL, disponibles en el mercado. En efecto los resultados muestran que el consumo de combustible de un UAV VTOL de tamaño mediano

representa tan solo un 0,5% si se compara con una aeronave de similares características a un P-111 o un helicóptero HH-65/ SH-32, en uso por la institución. Así mismo, el costo operativo por hora de un UAV VTOL representa sólo un 6% a la de un HH-65 o P-111. A pesar de las ventajas que presentan las aeronaves no tripuladas, aún enfrentan desafíos tecnológicos, como la dependencia de comunicaciones de línea de mira y su reducida capacidad de levantamiento de carga.

Dicho esto, este proyecto aborda de manera pionera la implementación de vehículos aéreos no tripulados de despegue y aterrizaje vertical (UAV VTOL) en el ámbito naval chileno, combinando análisis cualitativos y cuantitativos para evaluar su impacto operativo, logístico y económico. Destaca por integrar tecnologías emergentes, como inteligencia artificial y machine learning, en el procesamiento de datos tácticos. Sus hallazgos contribuyen al diseño estratégico de políticas y fortalecen las capacidades de vigilancia y control marítimo de la Armada de Chile, optimizando recursos, reduciendo riesgos humanos y posicionando a la institución a la vanguardia tecnológica regional.

Como resultado de esta investigación se proponen las siguientes acciones futuras:

- Estudiar el concepto operacional que pueden realizar este tipo de aeronaves.
- Establecer una doctrina de empleo de los UAV's.
- Capacitar al personal para la operación y mantenimiento de este activo.
- Diseñar la arquitectura robusta para el diseño de las comunicaciones de data link.
- Integrar el sistema de control de las aeronaves no tripuladas con los sistemas de Mando y Control (C2) de abordó.
- Emplear esta nueva tecnología en conjunto con software de procesamiento digital de señales y algoritmos de inteligencia artificial y reconocimiento automático de imágenes, para facilitar la tarea de los operadores.
- Mostrar y promover esta nueva tecnología a los líderes y tomadores de decisiones para fomentar su incorporación no solo en el ámbito de la defensa, sino que también en el ámbito policial, seguridad interior y para el apoyo en el combate de desastres naturales.

Referencias

Aranda, O. (1998). *75 años de la aviación naval de la armada de Chile*. Recuperado de <https://revistamarina.cl/revistas/1998/3/oarandam.pdf>

Armada de Chile. (2009). *Doctrina Marítima Nacional*. Recuperado de https://www.acanav.cl/wp-content/uploads/2021/07/Doctrina_Maritima_Nacional-1.pdf

Armada de Chile. (s.f.). *Entorno*. Recuperado de <https://www.armada.cl/>

Army Technology. (s.f.). *RQ-11 Raven Unmanned Aerial Vehicle, United States of America*. Retrieved June 18, 2024. Recuperado de <https://www.army-technology.com/projects/rq-11-raven/>

Baquero Montoya, P., & Vásquez Briones, R. (2019). *Empleo de los UAV en operaciones de seguridad y vigilancia en las áreas estratégicas en el Ecuador*. *Revista de Ciencias de Seguridad y Defensa*, 4(4), 86-100.

Carrasco Vidal, E. (2024). *Integración de arquitecturas de IA en drones para fiscalización pesquera*. *Revista de Marina*, (999), 25-34. <https://revistamarina.cl>

Gómez, D. R., & Roquet, J. V. (2009). *Metodología de la investigación*. *Universitat Oberta de Catalunya*.

Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. (2020). *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*.

Jordan, G. (2023). *Drones y vehículos no tripulados en guerra*. *Revista de Marina Año CXXXVII, Volumen 140, Número 993*. Recuperado de <https://revistamarina.cl/es/articulo/drones-y-vehiculos-no-tripulados-en-guerra>

Joshi, S. (2012, July 4). *Gripen operational cost lowest of all western fighters: Jane's*. *StratPost*. Recuperado de <https://stratpost.com/gripen-operational-cost-lowest-of-all-western-fighters-janes/>

Kryvonos V. y Tupitsya I. (2024). *Technology of automated aerial reconnaissance data processing for unmanned aviation systems*. Recuperado de <https://nangu.edu.ua/uploads/files/Zbirnyk%20tez%20MNPK%2014.03.2024.pdf#page=199>

Mahadevan, P. (2010). *The military utility of drones*. *CSS Analyses in Security Policy*, 78.

Marsh, A. K. (2015, November 16). *Hourly operating costs of 45 jets compared*. *Aircraft Owners and Pilots*

Association. Recuperado de <https://www.aopa.org/news-and-media/all-news/2015/november/16/hourly-operating-costs-of-45-jets-compared>

Mazza, M. (2022). *Determinación y conocimiento de la capacidad de los vehículos aéreos no tripulados para su empleo en la vigilancia y control de los espacios marítimos*. Instituto Universitario Naval, Escuela de Guerra Naval.

Ministerio de Defensa Nacional de Chile. (2020). *Libro de la Política de la Defensa Nacional de Chile*. Recuperado de <https://www.defensa.cl/wp-content/uploads/2023/06/POL%C3%8DTICA-DE-DEFENSA-NACIONAL-DE-CHILE-2020.pdf>

Montoya, P. B., & Briones, R. V. (2019). Empleo de los UAV, en operaciones de seguridad y vigilancia en las áreas estratégicas en el Ecuador. *Revista de Ciencias de Seguridad y Defensa*, 4(4), 15-15. Recuperado de <https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/revista-seguridad-defensa/article/view/RCSDV4N4ART05>

Soto, G. (2021). *Munición merodeadora, ¿un reemplazo o un complemento?*. *Revista de Marina Año CXXXVI, Volumen 138, Número 981*. Recuperado de <https://revistamarina.cl/es/articulo/municion-merodeadora-un-reemplazo-o-un-complemento>

Sugalski, A. J. (2022). *Leveraging vertical take-off & landing (vtol) unmanned aerial vehicle (uav) technology for humanitarian aid & disaster relief (ha/dr): The last tactical mile*,” Ohio, Tech. Rep. Recuperado de

<https://apps.dtic.mil/sti/citations/AD1180370>

Udeanu, G., Dobrescu, A., & Oltean, M. (2016). *Unmanned aerial vehicle in military operations*. *Sci. Res. Educ. Air Force*, 18(1), 199-206. Recuperado de https://www.afahc.ro/ro/afases/2016/rp/udeanu_dobrescu_oltean.pdf

Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. (2020). *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*.

4 CONCLUSIONES GENERALES

Este trabajo establece que la implementación de aeronaves no tripuladas de despegue y aterrizaje vertical significa un beneficio costo-efectivo para la institución, ya que eficientiza el uso de los recursos en sobre un 21.333% respecto al consumo de combustible y aumenta la disponibilidad operacional en más de 213 veces, en relación a las aeronaves actualmente en uso por la institución, complementando así las capacidades y roles de la aeronavales tripuladas con las de las no tripuladas.

En efecto los resultados muestran que el consumo de combustible de un UAV VTOL de tamaño mediano representa tan solo un 0,5% si se compara con una aeronave de similares características a un P-111 o un helicóptero HH-65/ SH-32, en uso por la institución. Así mismo, el costo operativo por hora de un UAV VTOL representa sólo un 6% a la de un HH-65 o P-111. A pesar de las ventajas que presentan las aeronaves no tripuladas, aún enfrentan desafíos tecnológicos, como la dependencia de comunicaciones de línea de mira y su reducida capacidad de levantamiento de carga.

Dicho esto, este proyecto aborda de manera pionera el impacto de la implementación de vehículos aéreos no tripulados de despegue y aterrizaje vertical (UAV VTOL) en el ámbito naval chileno, combinando análisis cualitativos y cuantitativos para evaluar su impacto operativo, logístico y económico. Destaca por integrar tecnologías emergentes, como inteligencia artificial y machine learning, en el procesamiento de datos tácticos.

Los UAV VTOL, aunque ofrecen ventajas operativas, enfrentan importantes limitaciones, principalmente en conectividad, debido a su alta dependencia de comunicaciones de gran ancho de banda y su vulnerabilidad a ataques electrónicos, lo que reduce su eficacia en misiones remotas o extremas. También están restringidos por su limitada capacidad de carga y su susceptibilidad a condiciones climáticas adversas, como fuertes vientos, que comprometen su estabilidad y desempeño. Si bien avances tecnológicos en baterías, motores y sistemas de

despegue y aterrizaje han mejorado su autonomía y eficiencia, así como estrategias como operaciones en enjambre y comunicaciones nodales, estas soluciones buscan mitigar, pero no eliminan completamente, las desventajas que presentan en escenarios operativos exigentes.

Estos hallazgos contribuyen al cumplimiento de las responsabilidades institucionales de seguridad y policía marítima, dejando entrever las potencialidades y los beneficios inherentes, que conlleva introducir esta nueva tecnología, fortaleciendo la flexibilidad operativa, las capacidades de vigilancia y control marítimo de la Armada de Chile, optimizando recursos, reduciendo riesgos humanos y posicionando a la institución a la vanguardia tecnológica regional.

En relación a los objetivos específicos planteados, se expuso la literatura, tecnología y estado del arte a nivel regional y americano de las aeronaves no tripuladas VTOL para operaciones navales y marítimas para la posterior comparación de capacidades y evaluación de la información. Destacando el gran avance de los Estados Unidos respecto a la introducción de este tipo de tecnologías, mediante innovación y desarrollo local, a bordo de sus unidades navales, en detrimento de el resto de países sudamericanos.

Se compararon las capacidades de las aeronaves navales de la institución con la información recopilada del párrafo anterior. Cabe señalar que, para la institución, esta información es de carácter reservado y confidencial, por lo que no fue expuesta explícitamente en el presente documento. Es por lo anterior, que los gráficos y tablas creadas por el autor, fueron normalizadas, de tal manera de que no sea posible inferir la cantidad de aeronaves actualmente disponibles, en uso y sus rendimientos operacionales.

Por medio de las entrevistas y antecedentes cuantitativos se identificaron y determinaron las fortalezas y debilidades, tanto las aeronaves tripuladas como no tripuladas. Señalando que las virtudes de los UAV VTOL son principalmente su flexibilidad operacional, mayor disponibilidad, reducción de costos de adquisición,

bajo consumo de combustible, modularidad de sus componentes o LRU; en cuanto a sus debilidades, corresponden a su limitada capacidad de operar en condiciones meteorológicas adversas, nula capacidad de transporte de personas y rescate de vidas humanas en el mar.

Finalmente, en el marco de los objetivos específicos, se evaluó de manera positiva su conveniencia, viabilidad y factibilidad respecto a la implementación de esta nueva tecnología innovadora en la institución producto de que permitirá una mayor presencia y cobertura aérea producto de su mayor efectividad operacional y su relación costo-beneficio, en comparación a los actuales sistemas utilizados por la institución, como los helicópteros embarcados y las aeronaves de ala fija.

Estos hallazgos podrían dar pie a potenciar la investigación y desarrollo nacional, Chile podría liderar en la región la creación de UAV VTOL adaptados a sus necesidades marítimas, con materiales ultraligeros, inteligencia artificial avanzada y sistemas de comunicación satelital propios. Esto fortalecería la vigilancia de la ZEE, impulsando la soberanía tecnológica y una industria innovadora local.

4.1 Propuesta para trabajos futuros

Como continuación de este trabajo de tesis, hay varias líneas de desarrollo que quedan pendientes, y en las que es posible continuar trabajando; algunas de ellas, están más directamente relacionadas con este trabajo de tesis y son el resultado de preguntas que han ido surgiendo durante el proceso de investigación, como otras que son más tangenciales a la investigación. A continuación, revisaremos trabajos futuros que pueden investigarse como conclusión de esta investigación:

- Estudiar el concepto operacional que pueden realizar este tipo de aeronaves.
- Establecer una doctrina de empleo de los MUAS y LM.
- Proponer una subespecialidad en la Armada para el personal dispuesto para la operación y mantenimiento de este activo.
- Diseñar la arquitectura para el diseño de las comunicaciones de data Link.

- Integrar el sistema de control de las aeronaves no tripuladas con los sistemas de Mando y Control (C2) de abordó.
- Emplear esta nueva tecnología en conjunto con software de procesamiento digital de señales y algoritmos de inteligencia artificial y reconocimiento automático de imágenes, para facilitar la tarea de los operadores.
- Promover esta nueva tecnología a los líderes y tomadores de decisiones para fomentar su incorporación no solo en el ámbito de la defensa, sino que también en el ámbito policial, seguridad interior y para el apoyo en el combate de desastres naturales.
- Para generalizar resultados aumentar la cantidad de la muestra y posiblemente desarrollar este trabajo en conjunto con otras ramas de la defensa.
- Actualizar las bases de datos y capacidades de las aeronaves, en virtud al avance de la tecnología y estado del arte, toda vez que los antecedentes nominales de las aeronaves no tripuladas, podrían no representar la realidad en un futuro a mediano plazo. Debido a que la evolución y capacidades de los UAV VTOL, se encuentran en constante evolución y mejoramiento.
- Complementar las entrevistas con otras herramientas, como Focus Group, análisis de opinión de expertos de otras instituciones, entre otras herramientas.
- Promover la educación e investigación y desarrollo en el área de vehículos no tripulados de superficie, aéreos y submarinos, toda vez que la flota híbrida es el futuro de las fuerzas armadas conjuntas.

5 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Aranda, O. (1998). 75 años de la aviación naval de la armada de Chile. Recuperado de <https://revistamarina.cl/revistas/1998/3/oarandam.pdf>
- Armada de Chile. (2009). Doctrina Marítima Nacional. Recuperado de https://www.acanav.cl/wp-content/uploads/2021/07/Doctrina_Maritima_Nacional-1.pdf
- Armada de Chile. (s.f.). Entorno. Recuperado de <https://www.armada.cl/>
- Army Technology. (s.f.). RQ-11 Raven Unmanned Aerial Vehicle, United States of America. Retrieved June 18, 2024. Recuperado de <https://www.army-technology.com/projects/rq-11-raven/>
- Baquero Montoya, P., & Vásquez Briones, R. (2019). Empleo de los UAV en operaciones de seguridad y vigilancia en las áreas estratégicas en el Ecuador. *Revista de Ciencias de Seguridad y Defensa*, 4(4), 86-100.
- Carrasco Vidal, E. (2024). Integración de arquitecturas de IA en drones para fiscalización pesquera. Revista de Marina, (999), 25–34. <https://revistamarina.cl>
- Gómez, D. R., & Roquet, J. V. (2009). Metodología de la investigación. Universitat Oberta de Catalunya.
- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. (2020). Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta.
- Jordan, G., (2023). Drones y vehículos no tripulados en guerra. Revista de Marina Año CXXXVII, Volumen 140, Número 993. Recuperado de <https://revistamarina.cl/es/articulo/drones-y-vehiculos-no-tripulados-en-guerra>
- Joshi, S. (2012, July 4). Gripen operational cost lowest of all western fighters: Jane's StratPost. Recuperado de <https://stratpost.com/gripen-operational-cost-lowest-of-all-western-fighters-janes/>

- Kryvonos V. y Tupitsya I. (2024). Technology of automated aerial reconnaissance data processing for unmanned aviation systems. Recuperado de <https://nangu.edu.ua/uploads/files/Zbirnyk%20tez%20MNPK%2014.03.2024.pdf#page=199>
- Mahadevan, P. (2010). The military utility of drones. *CSS Analyses in Security Policy*, 78.
- Marsh, A. K. (2015, November 16). Hourly operating costs of 45 jets compared. Aircraft Owners and Pilots Association. Recuperado de <https://www.aopa.org/news-and-media/all-news/2015/november/16/hourly-operating-costs-of-45-jets-compared>
- Mazza, M. (2022). Determinación y conocimiento de la capacidad de los vehículos aéreos no tripulados para su empleo en la vigilancia y control de los espacios marítimos. Instituto Universitario Naval, Escuela de Guerra Naval.
- Ministerio de Defensa Nacional de Chile. (2020). Libro de la Política de la Defensa Nacional de Chile. Recuperado de <https://www.defensa.cl/wp-content/uploads/2023/06/POL%C3%8DTICA-DE-DEFENSA-NACIONAL-DE-CHILE-2020.pdf>
- Montoya, P. B., & Briones, R. V. (2019). Empleo de los UAV, en operaciones de seguridad y vigilancia en las áreas estratégicas en el ecuador. *Revista de Ciencias de Seguridad y Defensa*, 4(4), 15-15. Recuperado de <https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/revista-seguridad-defensa/article/view/RCSVDV4N4ART05>
- Soto, G. (2021). Munición merodeadora, ¿un reemplazo o un complemento?. *Revista de Marina Año CXXXVI, Volumen 138, Número 981*. Recuperado de <https://revistamarina.cl/es/articulo/municion-merodeadora-un-reemplazo-o-un-complemento>
- Sugalski, A. J. (2022). Leveraging vertical take-off & landing (vtol) unmanned aerial vehicle (uav) technology for humanitarian aid & disaster relief (ha/dr): The last tactical mile”, Ohio, Tech. Rep. Recuperado de

<https://apps.dtic.mil/sti/citations/AD1180370>

Udeanu, G., Dobrescu, A., & Oltean, M. (2016). Unmanned aerial vehicle in military operations. *Sci. Res. Educ. Air Force*, 18(1), 199-206. Recuperado de https://www.afahc.ro/ro/afases/2016/rp/udeanu_dobrescu_oltean.pdf

Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. (2020). *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*.

6 ANEXO: REPORTE DE PLAGIO

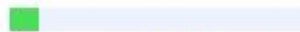
El reporte de posibilidad de plagio de este trabajo, con otros trabajos publicados entrega un porcentaje de similitud de: 10%



Plagiarism Checker X - Report

Originality Assessment

9%



Overall Similarity

Date: ene. 13, 2025 (09:56 p. m.)

Matches: 794 / 8386 words

Sources: 27

Remarks: Low similarity detected, consider making necessary changes if needed.

Verify Report:
Scan this QR Code

