



AERONAVES NO TRIPULADAS COMO NUEVA TECNOLOGÍA PARA MEJORAR LAS CAPACIDADES DE LAS FUERZAS ARMADAS

Tern EM Ave Lenin Jara Olmedo¹

Resumen

Las aeronaves no tripuladas (UAVs) se han convertido en una tecnología disponible para mejorar las capacidades operativas de las Fuerzas Armadas. Este artículo presenta el potencial de las aeronaves no tripuladas como tecnologías para vigilancia y reconocimiento, tomando como referencia el sistema de UAVs presentado por el proyecto DOCR del Ministerio de Defensa Nacional. A través de un estudio de caso con enfoque exploratorio y aplicado, se aborda la integración de las aeronaves no tripuladas en un escenario establecido en la provincia de Manabí, una región marcada por desafíos como el narcotráfico y otras actividades ilícitas. Se consideran las variables situacionales de elemento de interés, actor militar y contexto, ofreciendo un marco analítico que permite evaluar su aplicabilidad en escenarios reales. Adicionalmente, considerando el concepto de utilidad militar, se presenta cómo estas aeronaves pueden integrarse en operaciones militares, evaluando su desempeño bajo tres dimensiones fundamentales: efectividad, idoneidad y asequibilidad. Este trabajo invita a reflexionar sobre el rol de las aeronaves no tripuladas en las operaciones militares y su contribución a la seguridad y soberanía nacional.

Palabras clave: aeronave no tripulada, evaluación, fuerzas armadas, vigilancia, tecnología.

Abstract

Unmanned aerial vehicles (UAVs) have become an available technology to enhance the operational capabilities of the Armed Forces. This article explores the potential of UAVs as technologies for surveillance and reconnaissance, using the UAV system presented by the DOCR project of the Ministry of National Defense as a reference. Through a case study with an exploratory and applied approach, the integration of UAVs is examined in a scenario set in the province of Manabí, a region marked by challenges such as drug trafficking and other illicit activities. The study considers situational variables, including the element of interest, military actor, and context, providing an analytical framework to evaluate their applicability in real-world scenarios. Additionally, considering the concept of military utility, the article presents how these aircraft can be integrated into military operations, assessing their performance across three fundamental dimensions: effectiveness, suitability, and affordability. This paper invites reflection on the role of UAVs in military operations and their contribution to national security and sovereignty.

Keywords: armed forces, evaluation, surveillance, technology, unmanned aerial vehicle

¹ Fuerza Aérea Ecuatoriana - Dirección de Desarrollo Aeroespacial, Master en Logística Aeronáutica (EPFAC), Ingeniero electrónico (UFA ESPE) - anibaljara@fae.mil.ec

Introducción

Ecuador presenta actualmente un escenario de inseguridad, donde las Fuerzas Armadas deben enfrentar las llamadas nuevas amenazas, como son el narcotráfico, minería ilegal, delincuencia en espacios acuáticos, tráfico ilegal de armas, entre otros. Este escenario requiere la integración de tecnologías que permitan mejorar las capacidades de vigilancia y reconocimiento, buscando garantizar la seguridad nacional de manera eficiente. Este artículo analiza la utilidad militar de las aeronaves no tripuladas (UAVs, por sus siglas en inglés) como una tecnología que se puede emplear para enfrentar estos requerimientos. A través de un estudio de caso en base a las aeronaves no tripuladas del proyecto DOCR del Ministerio de Defensa Nacional, se presentan un escenario sobre cómo las aeronaves no tripuladas pueden apoyar las operaciones militares en zonas críticas como la provincia de Manabí.

La investigación se basa en tres hipótesis fundamentales que guían su desarrollo. En primer lugar, se plantea que las aeronaves no tripuladas pueden utilizarse como tecnologías avanzadas de vigilancia y reconocimiento. En segundo lugar, se explora la hipótesis de que el UAV puede integrarse a las operaciones militares dentro del escenario operativo de Manabí, considerando las variables situacionales de elemento de interés, actor militar y contexto. Finalmente, se plantea que el sistema de aeronaves no tripuladas del proyecto DOCR ofrece una probabilidad más alta de cumplir objetivos militares específicos gracias a su costo optimizado y alta compatibilidad operativa.

El artículo se estructura en tres secciones que desarrollan estos aspectos de la siguiente manera. En la primera sección, se introduce el concepto de utilidad militar como un marco teórico clave para evaluar tecnologías aplicadas en el ámbito de defensa. Además, se describe a las aeronaves no tripuladas y las características que tiene como tecnología. Finalmente, se presentan las aeronaves UAV que serán analizadas en el escenario de estudio. La segunda sección está dedicada al análisis de las variables situacionales que se establecen en la integración de la tecnología de aeronaves no tripuladas en el escenario operativo de Manabí. Este análisis considera tres factores clave: el elemento de interés, el actor militar y el contexto. En la tercera sección, se realiza una evaluación detallada de las dimensiones del concepto de utilidad militar, es decir la efectividad, la idoneidad y la asequibilidad de las aeronaves no tripuladas del proyecto DOCR para el escenario planteado.

La metodología utilizada en esta investigación corresponde a un estudio de caso con un enfoque exploratorio y aplicado. Este enfoque permite analizar profundamente la tecnología de aeronaves no tripuladas, evaluando el desempeño técnico y operacional de un tipo específico de UAV en un escenario que pretende simular el contexto real. Al integrar análisis cualitativos

y cuantitativos, la investigación proporciona una visión integral que puede respaldar la toma de decisiones en la incorporación de nuevas tecnologías por parte de las Fuerzas Armadas.

Por tanto, este artículo invita al lector a reflexionar sobre las fortalezas, pero también las debilidades de la integración de aeronaves no tripuladas en las operaciones militares en el Ecuador. A través de un análisis detallado y fundamentado, se establece un marco de trabajo para la evaluación de nuevas tecnologías como los UAVs y establecer su conveniencia para para enfrentar los desafíos actuales y fortalecer la seguridad nacional a través de una mejora de las capacidades de Fuerzas Armadas.

1. AERONAVES NO TRIPULADAS COMO NUEVA TECNOLOGÍA MILITAR

1.1. Utilidad militar

Cuando se está desarrollando o aplicando sistemas tecnológicos debe establecerse una utilidad máxima al cliente / usuario, por lo cual este proceso se realiza de manera coordinada y cercana con las partes interesadas para determinar el rendimiento y la capacidad del sistema. En este contexto, se debe respaldar la toma de decisiones sobre el uso de tecnología en asuntos militares, desde la inversión en desarrollo tecnológico hasta la planificación operativa militar (DoD, 2024). En los organismos de planificación de la Defensa, los encargados de tomar decisiones establecen que sistemas y cuando se deben reemplazar o se deben integrar a las unidades militares, considerando entre uno de los aspectos principales las limitaciones económicas o presupuestos establecidos (James et al., 2005). La toma de decisiones para el desarrollo de capacidades mediante la incorporación de tecnología se puede apoyar en análisis cuantitativos y/o cualitativos, proceso que debería tener la participación de las fuerzas armadas, las agencias de adquisiciones, los organismos de investigación militar y la industria (Argoti, 2019).

Considerando el antecedente expuesto, para el desarrollo de la investigación se tomó como marco de referencia la aplicación del concepto de utilidad militar. Este concepto se ha utilizado para el estudio del uso de la tecnología en operaciones militares, así como parte del proceso de desarrollo de capacidades a largo plazo de Fuerzas Armadas (Silfverskiöld et al., 2021). Para el estudio presentado se consideró el enfoque presentado por (Andersson et al., 2015), que propone el concepto de utilidad Militar para el estudio de la tecnología que las Fuerzas Armadas seleccionan y cómo las utilizan, afectando los resultados en los teatros de operaciones, así como la sostenibilidad de las capacidades a través del tiempo. Este concepto permite facilitar el intercambio de ideas dentro del sector defensa y respaldar de este modo la toma de decisiones.

La evaluación de la utilidad militar en la metodología seleccionada consideró tres variables situacionales que fueron el elemento de interés, el actor militar y un contexto específico. El elemento de interés es un elemento en el sistema de capacidades que es el elemento de evaluación. El actor militar es cualquier entidad militar que tiene capacidades militares y objetivos organizacionales. Finalmente, el contexto busca establecer para qué y para quien se utiliza el elemento de interés y el estado del sistema de capacidades, es decir, el propósito que tiene el actor militar. Adicionalmente, el concepto de utilidad militar es evaluado considerando tres dimensiones: efectividad militar, idoneidad militar y asequibilidad. Estas tres dimensiones deben cumplirse y no se pueden sustituir una con otra en un contexto específico.

Las Fuerzas Armadas deben tener un seguimiento cercano de avances tecnológicos y evaluar cómo ellos pueden afectar a las capacidades existentes, así como a las amenazas futuras. Igualmente, se deben comprender qué capacidades militares son necesarias para contrarrestar las amenazas de las nuevas tecnologías, pues deben apoyar a la misión establecida buscando aumentar su eficacia dentro de presupuestos limitados (Rasmussen et al., 2023). Por lo tanto, la metodología empleada permite evaluar la utilidad militar de nuevas tecnologías para las capacidades de las Fuerzas Armadas, para lo cual se desarrollará como caso de estudio la utilidad militar de los UAVs.

1.2. Aeronaves no tripuladas UAV

En Estados donde las nuevas amenazas, así como los conflictos asimétricos se presentan como un desafío para las Fuerzas Armadas, se han establecido zonas de alto riesgo que deben ser supervisadas y controladas por las fuerzas de seguridad. En estos escenarios la vigilancia de estas zonas, al ser amplias y en la mayoría de difícil acceso es una tarea compleja que muchas veces no puede cubrirse únicamente con unidades en tierra (Konert & Balcerzak, 2022). Por tanto, es necesario disponer de una adecuada capacidad de vigilancia y reconocimiento de las Fuerzas Armadas, la cual se refiere a las competencias, recursos y tecnologías empleadas para monitorear y obtener información de áreas de interés estratégico, para detectar, identificar y seguir actividades que puedan representar una amenaza para la seguridad nacional, como son el contrabando, narcotráfico, pesca ilegal, actividades terroristas y otros riesgos. La vigilancia y reconocimiento aéreo permite recolectar información sobre identificación y seguimiento de fuerzas opuestas, tanto de personal como de equipos, pudiendo establecer el entrenamiento, movimiento y ubicaciones, así como la identificación de escondites, campamentos, laboratorios, plantaciones (Gassara & Bouassida Rodriguez, 2021). En este escenario, las aeronaves no tripuladas UAV, por sus siglas en inglés Unmanned Aerial Vehicles, se presentan como una de

las alternativas más utilizadas y con mejores resultados (Yaacoub et al., 2020).

Un vehículo aéreo no tripulado UAV se refiere a una aeronave que no tiene un control manual a bordo y que, por tanto, su operación se realiza por un control remoto o tiene un control autónomo. Un sistema UAV se compone principalmente de aeronaves UAV, cargas útiles de misión ubicadas en el UAV y equipos de telemetría, control y comunicaciones, así como de procesamiento de información ubicados en una estación de control en tierra GCS (Ground Control Station) (Mohsan et al., 2023). A las aeronaves UAVs actualmente también se les hace referencia como drones, vehículo pilotado a distancia (RPV), aeronave pilotada a distancia (RPA), sistema de aeronave no tripulada (UAS) y sistema de aeronave pilotada a distancia (RPAS).

En la última década, gracias a los avances en tecnologías de navegación, almacenamiento de energía, sensores y reducción de costos de fabricación, los UAV se han empleado ampliamente en aplicaciones militares, especialmente por las ventajas en términos de costo y seguridad personal. Los sistemas de UAVs son un claro ejemplo de integración profunda de tecnologías, sin embargo, para identificar las principales se puede detallar el control de vuelo y navegación, la energía / potencia y la carga útil de la misión (Bangkui et al., 2020). Adicionalmente, el progreso en inteligencia artificial, procesamiento de datos y comunicaciones ha permitido la participación simultánea de varios UAVs en sistemas multi-UAV cooperativo, dando mayor robustez, eficiencia y flexibilidad al sistema, permitiendo superar las limitaciones que se pueden presentar por fallas internas de la aeronave o por interferencias externas (Liu et al., 2020).

1.3. Sistema de aeronaves no tripuladas para el caso de estudio

Para el desarrollo de esta investigación se presenta como caso de estudio la tecnología desarrollada por el sistema de detección, observación, comunicación y reconocimiento establecido en el Proyecto DOCR del Ministerio de Defensa Nacional (Armas, 2015). Este sistema fue diseñado para operación autónoma de las aeronaves no tripuladas, con comando y control centralizado, permitiendo cumplir misiones de vigilancia y reconocimiento en los sectores de interés, teniendo la proyección de enlazarlo a la red de comunicaciones a nivel estratégico del Comando Conjunto de Fuerzas Armada. La complejidad del proyecto y los alcances del mismo establecen un marco que permite aplicar el concepto de utilidad militar y replicarlo en los escenarios actuales, pues el sistema tenía como tecnología principal a las aeronaves no tripuladas UAV

El sistema consistía de tres componentes principales. El primer componente eran aeronaves completamente equipadas para vuelo autónomo, con sus sistemas de aviónica y data link. Las aeronaves UAV eran

monitoreadas y controladas por los operadores en tierra a través de las estaciones de control en tierra (GCS Ground Control System). Estas estaciones, que son el segundo componente, integran la tecnología electrónica, computacional y de software requerida para disponer de la información de la aeronave que permite establecer el

cumplimiento de las tareas encomendadas a la aeronave UAV. El tercer componente fundamental del sistema aéreo no tripulado era la carga útil, es decir el sensor que le da una funcionalidad a la aeronave, que en este caso eran sensores electroópticos. Las características técnicas del sistema UAV se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1

Características técnicas del sistema UAV del Proyecto DOCR

Componente del sistema UAV	Características técnicas
Aeronave UAV	Envergadura (distancia de punta a punta de las alas): 7 metros. Velocidad máxima: 90 nudos Carga útil: 10 Kg. Techo de operación: 15.000 pies Despegue: 91 m (300 pies) Aterrizaje: 106 m (350 pies) Alcance máximo: 150 km Autonomía: 5 horas
Estación de Control en Tierra	3 cabinas integradas para monitoreo y control en un habitáculo transportable Equipamiento y software para control y monitoreo de la aeronave UAV. Equipamiento informático y de comunicaciones para recepción de imágenes en tiempo real.
Carga útil	Sistema electro óptico. Operación diurna (óptico) y nocturna (infrarrojo) Software de operación y monitoreo Sistema geoestabilizado y georeferenciado.

Un mejor entendimiento de las capacidades y usos potenciales de los componentes tecnológicos del proyecto se puede establecer mediante una descripción de la aplicación para vigilancia y reconocimiento. Inicialmente, para la planificación se consideran las mejores rutas de vuelo en base al software de simulación de misión y de enlace de comunicaciones, que adicional permite identificar las áreas que se puede visualizar con el sensor electro óptico. El sensor electro óptico, con lentes diurnos y nocturnos, posee un sistema de localización geo referenciado, y el control de este sensor es remoto desde la estación de mando y control en tierra, a través de aplicaciones propias de monitoreo y manejo.

La información obtenida mediante el sensor electro-óptico puede ser transmitida por un sistema de comunicaciones compuesto por dos equipos con la capacidad de enviar simultáneamente canales de video, con un alcance de hasta 150 km con línea de vista. La estación ubicada en tierra está en la capacidad de decodificar las señales que provienen de la aeronave y puede replicar la transmisión de video en tiempo real si se dispone de un enlace satelital o por medio de la red de Fuerzas Armadas a otros puntos geográficamente distantes, permitiendo una visualización en tiempo real.

Adicionalmente, se tiene la capacidad de almacenar esta información para su posterior análisis. Los datos receptados podían ser utilizados para la visualización y el estudio del comportamiento de la aeronave en una interface de monitoreo en la estación de mando y control.

Las aeronaves no tripuladas (UAVs) se confirman como elementos que integran tecnologías avanzadas, pudiendo potenciar los resultados de las operaciones de vigilancia y reconocimiento en escenarios críticos. Un caso específico es el de las aeronaves no tripuladas del Proyecto DOCR, que fueron diseñadas con sensores electroópticos para visión diurna y nocturna, localización georreferenciada y transmisión de datos en tiempo real a estaciones de control en tierra. Estas características permiten monitorear y recopilar información en áreas de difícil acceso, permitiendo una respuesta eficaz frente a amenazas como el contrabando, narcotráfico o la pesca ilegal. Por lo tanto, las características presentadas por las aeronaves del caso de estudio validan el uso de los UAVs como tecnologías avanzadas para la vigilancia y reconocimiento.

2. ANÁLISIS DE VARIABLES SITUACIONALES

2.1. Elemento de interés

El elemento de interés solo tiene utilidad militar si es un componente que contribuye a un sistema de capacidades, por tanto, para evaluar la utilidad de un sistema técnico tendremos que analizar los efectos producidos en todo el sistema de capacidades. En este caso, se considera el elemento de interés las aeronaves no tripuladas, tecnología que las tres ramas de las Fuerzas Armadas poseen o han desarrollado (Montoya & Vásquez, 2019). La OTAN ha clasificado a los UAVs en diferentes clases (NATO, 2010), considerando aspectos como peso, alcance, altitud, entre los principales

aspectos, ver Tabla 2. Esta clasificación permite identificar la variedad de aeronaves UAV, desde las más pequeñas hasta las más grandes, con las diferentes tareas que podrían realizar, esquema que es fundamental para unificar criterios en el uso y despliegue de UAV dentro de las fuerzas. El UAV del Proyecto DOCR era una aeronave con una distancia entre puntas de ala de 7 metros, equipamiento de piloto automático para navegación UAV, peso de 146 kg, equipamiento a bordo de data link diseñado para 150 Km, altitud máxima de operación de 15.000 pies y un uso principal de vigilancia y reconocimiento, por lo cual se puede incluir al UAV dentro de la Categoría II de la OTAN, que corresponde a UAVs tácticos.

Tabla 2

Resumen de la guía de clasificación de UAS de la OTAN

Categoría	Peso	Alcance	Altitud	Uso Principal	Ejemplos
Categoría I (Pequeños)	Hasta 150 kg	< 50 km	Baja (< 5,000 pies)	Vigilancia táctica, reconocimiento y operaciones locales.	DJI Matrice, RQ-11 Raven
Categoría II (Tácticos)	150–600 kg	50–200 km	Media (5,000–10,000 pies)	ISR (Inteligencia, Vigilancia, Reconocimiento) a nivel de brigada/batallón; apoyo táctico.	Hermes 450, RQ-7 Shadow, Bayraktar TB2
Categoría III (Estratégicos)	Más de 600 kg	> 200 km	Alta (10,000–65,000 pies)	ISR estratégico, adquisición de objetivos, operaciones persistentes de largo alcance.	Hermes 900, MQ-1 Predator, MQ-9 Reaper

Debe comprenderse que, en ciertos contextos, el elemento de interés podría ser un elemento que interactúa con el elemento técnico que es el UAV, por ejemplo, nuevas formas de emplear el sistema UAV para establecer otros resultados, es decir, se mantiene el elemento técnico, pero debe modificarse la doctrina o los procedimientos. Una tecnología considerada de manera general no puede aplicarse en esta evaluación de utilidad, y por tanto primero debe aplicarse en un elemento o sistema técnico y luego se evalúa su utilidad por la afectación a la capacidad. En el caso del sistema desarrollado para el DOCR, la tecnología de los UAVs se aplica como elemento de interés dentro del sistema UAS de vigilancia y reconocimiento.

diferencia de utilidad militar desde la perspectiva de usuario se establece la comparativa técnica del sistema UAV del DOCR con requerimientos técnicos presentados en 2015. Se realiza la comparativa considerando los mayores rangos de alcance requeridos como punto inicial de análisis, donde los radios de misión varían desde los 50 Km hasta los 350 Km, evidenciando los niveles de uso en niveles operativo y estratégico por las áreas de cobertura que se desean para las aeronaves UAV. Igualmente, los sistemas de lanzamiento son otra de las principales diferencias pues deben adaptarse a las condiciones de las unidades militares a las cuales se buscaba incorporar la tecnología, tal como se presenta la Tabla 3.

2.2. Actor militar

La utilidad militar depende también de los actores militares, es decir de los usuarios o beneficiarios, pues diferentes unidades ven afectadas de distintas maneras las capacidades producto de los elementos de interés. Adicionalmente el nivel de acción de la unidad también influye en la evaluación de una utilidad militar, si es a nivel táctico o estratégico. Para poder establecer la

Tabla 3
Requerimientos operativos para aeronaves UAVs

Actor militar	Alcance	Empleo normal	Altitud normal de operación	Despegue / aterrizaje	Radio de misión	Soporte primario	Autonomía
DOCR	Largo	Vigilancia y reconocimiento	Hasta 15.000 pies	Automático en aeródromo	150 km	Ala fija	54 horas
Fuerza 1	Largo	Vigilancia y reconocimiento	15.000 pies	Manual catapulta y recuperación por menor impacto	50 km	Ala fija	5-6 horas
Fuerza 2	Mediano	Vigilancia y reconocimiento	500 pies	Manual y autónomo en pista	15 km	Catapulta o despegue vertical en ambiente marino	5-6 horas
Fuerza 3	Gran alcance	Vigilancia y reconocimiento	Sobre 3.500 pies	Manual y autónomo en pista	350 km	Ala fija	4 horas

La introducción de UAVs para usos militares a nivel mundial fue proceso gradual que se realizó en diferentes niveles de despliegue. Las primeras opciones fueron las aeronaves en el nivel de grandes unidades militares que podían llevar a cabo operaciones tácticas importantes y operaciones sostenidas en el campo de batalla. Posteriormente se fueron integrando en todos los niveles de las operaciones militares, desde lo táctico a lo estratégico. A nivel sudamericano el nivel de desarrollo de tecnología también depende del actor militar. El ejemplo más grande se puede señalar con la iniciativa de la Unión de Naciones Suramericanas (UNASUR) en 2014 donde se planteó el proyecto para el desarrollo y producción de un vehículo aéreo no tripulado para uso de los países de la región, a cargo del Consejo de Defensa Suramericano (CDS) (Molina et al., 2019). Estas reuniones determinaron que el Proyecto Regional se enfocaría en desarrollar un UAV estratégico mientras que los países miembros se podrían enfocar en UAV de tipo táctico como el presentado por el Proyecto DOCR. Esto considerando que los requerimientos técnicos de los actores militares de cada país eran más homogéneos para una aeronave estratégica de largo alcance, pues los requerimientos tácticos eran muy diferentes dependiendo de las condiciones geográficas, sociales, políticas y económicas del país (Sánchez, 2014).

Considerando lo anteriormente expuesto, se establece que la integración de UAVs en las Fuerzas Armadas es un proceso que cuenta con experiencias en países que tienen desafíos en seguridad similares a los que presenta actualmente Ecuador. Tal es el caso de Colombia, donde

se ha podido mejorar las capacidades de vigilancia e inteligencia, especialmente en la lucha contra el narcotráfico, así como en el combate a grupos armados ilegales. Estas aeronaves no tripuladas permiten realizar una vigilancia continua en zonas que son remotas o de difícil acceso, monitoreando actividades ilícitas en tiempo real, logrando una planificación y ejecución más eficiente y efectiva de las operaciones militares. Específicamente en operaciones contra el narcotráfico, a través de cámaras de alta resolución y sensores infrarrojos, los UAV han detectado laboratorios de procesamiento y cultivos ilícitos de droga inicialmente ocultos en la selva. Igualmente, se han utilizado para ataques de precisión, recopilando información que ha permitido la eliminación de altos comandantes de grupos guerrilleros, como los realizados contra las FARC en la operación Fénix en 2008. Los resultados obtenidos impulsaron el desarrollo de tecnologías autóctonas como el UAV Quimbaya, aeronave que también podría catalogarse como tipo II en la clasificación OTAN y que es actualmente comercializada por la empresa estatal CIAC. Estas experiencias, en escenarios similares al nuestro, presentan indicios de una adecuada aplicabilidad de este tipo de aeronaves en el Ecuador.

Para el caso de estudio, el UAV será evaluado para su empleo teniendo como actor militar al centro de operaciones del Comando Conjunto en Manta, el cual se activó en junio de 2024, y considerando los criterios de la OTAN para el uso y despliegue de un UAV de Categoría II, por lo cual el UAV del proyecto DOCR es analizado considerando su utilización en misiones

de inteligencia, vigilancia, reconocimiento, para apoyo táctico a nivel de brigada / ala de combate / escuadra naval.

2.3. Contexto

El contexto busca establecer para qué y para quién se utiliza el elemento de interés, así como el estado del sistema de capacidades, es decir, el propósito que tiene el actor militar. Este propósito incluye los objetivos militares para una misión dentro de un entorno operativo. En el caso de las UAV, el propósito se relaciona con el uso y las aplicaciones potenciales que se establecieron para el proyecto DOCR. Considerando la carga útil de sensores electro ópticos, los UAVs tenían como uso potencial la vigilancia y reconocimiento de fronteras, apoyo aéreo con información e imágenes en tiempo real para el cumplimiento de la misión de Fuerzas Armadas, apoyo en desastres naturales, vigilancia de recursos naturales, monitoreo de oleoducto y recursos estratégicos.

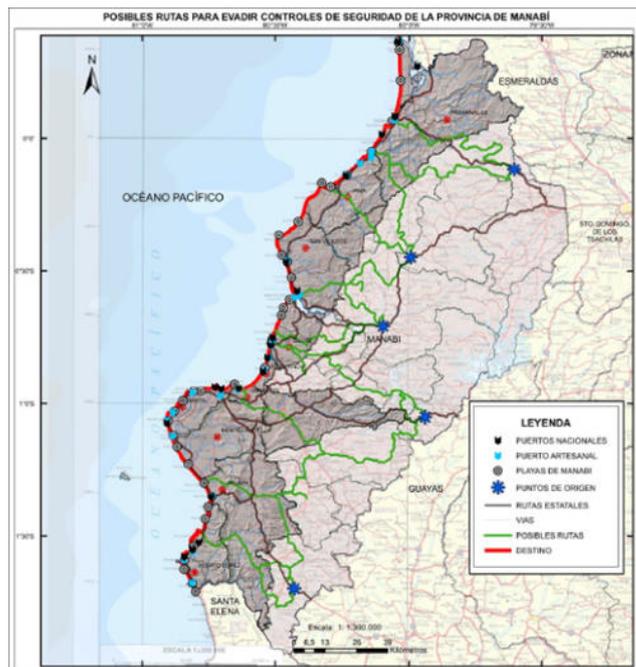
Una de las necesidades que surgen de los nuevos escenarios de inseguridad en el país, es el control de zonas específicas ya que el conflicto armado no internacional ha provocado que los grupos delincuenciales o terroristas excedan los límites regionales en el país (Andrade et al., 2023). Las Fuerzas Armadas del Ecuador han reforzado la seguridad ubicando nuevas unidades de vigilancia militar en todo el territorio ecuatoriano (Pantoja & Fuentes, 2022). Entre los mecanismos utilizados para la vigilancia y reconocimiento se tiene los patrullajes aéreos y terrestres, actividades que demandan gran cantidad de

recursos para sostener y mantener la presencia militar alrededor de la zona. Para optimizar las acciones de patrullaje de las Fuerzas Armadas se puede emplear un sistema de detección, observación, comunicación y reconocimiento, con la presencia de UAVs. Como se puede establecer el contexto de uso de la tecnología UAV se enfoca en vigilancia y reconocimiento como capacidad a la cual debe apoyar cualquier tecnología que se vaya a integrar o desarrollar.

En este escenario, para el análisis de contexto se plantea como zona de operación la provincia de Manabí, donde debido a sus playas desoladas y regiones desérticas, se han establecido zonas y rutas de comercio ilegal de estupefacientes, con todas las actividades delincuenciales relacionadas (Silva, 2018), ver Figura 1. Para determinar la utilidad militar de las tecnologías se establece parámetros específicos que debe cumplir la tecnología. Las misiones de vigilancia y reconocimiento se realizarán desde la ciudad de Manta, por lo cual se tendrá al norte un alcance de 172 km, al sur de 102 km, 145 km al este y 20 km al oeste siguiendo el borde de playa, con un techo de operación de 15.000 pies, altura de reconocimiento óptima de 2.500 pies, inicio de las operaciones 5 días posteriores a la fecha cero, salida desde aeropuerto o aeródromo, imágenes a ser recolectadas para análisis en tiempo real, visualización primaria en Manta, réplica a otros puntos para conocimiento en otros centros de mando y control. La solución no debe implicar costos adicionales de fondos de inversión, sino establecer únicamente costos de operación.

Figura 1

Posibles rutas para evadir controles de seguridad de la provincia de Manabí.



Nota. Tomado de (Silva, 2018)

Las aeronaves no tripuladas podrían integrarse efectivamente a las operaciones militares en el escenario planteado en Manabí al considerar las variables de elemento de interés, actor militar y contexto. Como elemento de interés, el UAV del proyecto DOCR contribuye a la capacidad de vigilancia y reconocimiento mediante el uso de sensores electroópticos avanzados y transmisión de datos en tiempo real, características que lo posicionan como una herramienta muy útil para las Fuerzas Armadas. En cuanto al actor militar, su empleo por parte del Centro de operaciones del Comando Conjunto en Manta, permite realizar misiones de vigilancia y reconocimiento, ajustándose a las necesidades específicas de las unidades beneficiarias de las distintas fuerzas. Finalmente, el contexto operativo en la provincia de Manabí, caracterizado por la presencia de rutas de comercio ilegal y actividades delictivas en zonas de difícil acceso, demanda soluciones tecnológicas avanzadas para la recopilación de información, fin contribuir a garantizar la seguridad nacional.

3. DIMENSIONES PARA LA EVALUACIÓN DE LA UTILIDAD MILITAR DE LA TECNOLOGÍA

3.1. Dimensión de efectividad militar

La efectividad militar relaciona directamente con la misión, por lo cual existe utilidad militar si la capacidad a la que contribuye el elemento de interés puede ser eficaz en un contexto específico. Es una medida de la capacidad para lograr el cumplimiento de misión, considerando el elemento de interés siendo empleado por personal representativo en el ambiente planificado o esperado para el empleo de Fuerzas Armadas. Se debe considerar que el sistema debería tener su efecto en el momento y costo adecuado, además, con un riesgo aceptable para que sea efectivo. El elemento de interés debe ajustarse al sistema de capacidades, empleando personal con experiencia y capacitación, disponiendo de doctrina, siguiendo un plan específico, etc. Como

indicadores de efectividad se tiene cumplimiento de los resultados deseados, cumplimiento de los objetivos de costos, cumplimiento del cronograma, cumplimiento de riesgos. Para evaluar la efectividad se procede a establecer qué y cómo se puede medir, por ello los indicadores elegidos dependen del caso de uso y del contexto, por tanto, para el análisis es importante la consideración a fecha cero del estado de las tecnologías.

Para la evaluación de las tres dimensiones de la utilidad militar estableció un marco de temporalidad que permita establecer la condición de la tecnología a una fecha fija. Este punto de referencia temporal se lo ha denominado fecha cero, que permite fijar a ese punto el estado de la tecnología. A la fecha cero, con el fin de ser utilizado para misiones de vigilancia y reconocimiento, el sistema UAV ya ha realizado pruebas con el sistema electro óptico instalado como carga útil, realizando transmisión de datos en tiempo real a tierra, y se dispone de 32 misiones de prueba en áreas de la región sierra y región amazónica (Vintimilla, 2016). La plataforma UAV del proyecto DOCR puede obtener imágenes en tiempo real al menos hasta un alcance de 85 km, superior al radio de transmisión de datos en tiempo real, la aeronave puede configurarse para establecer un patrón de ruta automático, donde la información se graba para posterior análisis de inteligencia, con radio de operación hasta 150 km.

Para establecer datos de misiones en zonas de conflicto se consideró la zona nororiental del Ecuador, caracterizada durante varios años por la presencia de delincuencia y grupos armados organizados. En esta zona se verificó la utilidad de los UAV del Proyecto DOCR para el monitoreo de oleoductos y apoyo a actividades contra minería ilegal, operando desde Santa Cecilia, provincia de Sucumbíos, con la participación de personal de inteligencia militar, en misiones de vigilancia y reconocimiento en radios de 25 km. De este modo se pudo establecer métricas comparativas con métodos tradicionales, cuyos resultados se presentan en la tabla 4.

Tabla 4
Resultados de operación del UAV en la provincia de Sucumbíos

Indicador	Resultados con UAV del Ministerio de Defensa	Resultados con métodos tradicionales
Detección de actividades ilícitas	Identificación de posibles áreas de actividades ilícitas en el área de operación.	Alto riesgo y mayor tiempo para recolección de evidencias.
	Monitoreo de oleoducto en un 40% del tiempo realizado por una patrulla terrestre motorizada	La comparativa requiere que se mantenga una vía o camino disponible en paralelo al oleoducto
Reducción de tiempos de respuesta	Reducción del tiempo de reconocimiento de objetivos al borde de área de operación de 5 horas a 22 minutos.	Tiempos prolongados debido a desplazamientos terrestres y logística compleja.

	Capacidad de despliegue inmediato en menos de 10 minutos.	Dependencia de movilización de unidades especiales.
	Transmisión en tiempo real de imágenes y coordenadas a la estación de mando y control.	Informes se obtienen posterior al patrullaje.
Mejora en la eficiencia operativa	Toma de decisiones y variaciones de misión en tiempo real.	Limitación de alcance y cobertura de las patrullas terrestres.
	Validación de la capacidad de operación desde una pista de asfalto y grava menor a 300 metros.	Dependencia de infraestructura aérea convencional para patrullaje aéreo.

Con las condiciones de operación de las aeronaves UAV se puede obtener la información en tiempo real y posterior para análisis de inteligencia en toda el área de la provincia de Manabí. La señal llega en tiempo real a la estación GCS en Manta, pero no está configurado para ser replicado a los centros de control en otros puntos. Al encontrarse un centro de toma de decisiones en el lugar de despegue de la aeronave se cumple el análisis en tiempo real en la GCS.

En el análisis de costos, la solución planteada no requiere fondos de inversión adicionales, pues la tecnología desarrollada puede ser incorporada de manera inmediata a la operación. Por tanto, los costos se establecen en gasto corriente para la operación desde Manta. Por otro lado, el cumplimiento de cronograma es factible, considerando el inicio de operaciones en 15 días. En la fecha cero, la plataforma UAV y el sistema se encuentran listos como tecnología en el centro de desarrollo. El despliegue del sistema desde las instalaciones en la región central sierra hasta el punto operativo y puesta a punto del sistema es de 5 días, por lo que se cumple el cronograma.

Los riesgos principales se encuentran en la pérdida de enlace de control, que puede afectar la operación de los sistemas de navegación y control al interior de la aeronave. Ante esto, a la fecha cero el sistema dispone de la programación automática de piloto automático para regreso al último punto de señal, y holding hasta recuperación de señal, de manera que la aeronave regrese y se mantenga en el último punto donde había control. Sin embargo, las pruebas en vuelo de esta característica del piloto automático no han sido realizadas con el UAV final del proyecto DOCR, siendo comprobadas anteriormente en un prototipo más pequeño y de menor alcance. Este riesgo limita los alcances de operación en determinados escenarios.

En cuanto a otros posibles riesgos como ciberataques, interferencias electrónicas o fallos en la transmisión de datos, el UAV del Ministerio de Defensa integró en sus sistemas un equipamiento de comunicaciones que proporciona enlaces seguros y resilientes, incorporando cifrado avanzado para evitar accesos no autorizados, así como una probable manipulación de la información

transmitida. Para evitar la interferencia (jamming) así como una falsificación de datos, se operan en múltiples bandas de frecuencia y con una arquitectura definida por software para mayor flexibilidad. Además, para alcanzar una transmisión confiable de datos en tiempos real se utilizan mecanismos de corrección de errores y redundancia de enlaces de comunicación. Esto permite mitigar estos riesgos considerando la dependencia de los UAV en los sistemas de comunicación, control y transmisión de datos en tiempo real de la aeronave y estación de mando y control.

El resumen del análisis básico de efectividad militar se presenta en la la Fig. 2, donde se ha utilizado un gráfico radial para presentar los factores de evaluación en un formato circular. Se establecieron valores escalados donde cada eje tuvo una escala que señalaba los valores de cada factor, siendo los valores cercanos al centro menores y los más alejados los mayores, con una escala numérica de 0 a 10.

Figura 2

Evaluación de la dimensión de efectividad militar.



3.2. Dimensión de idoneidad militar

La idoneidad militar responde a la pregunta sobre qué tan adecuado es un sistema para una aplicación específica para una unidad, usuario o beneficiario en particular en un entorno operativo definido, con consideración a la interacción con otros elementos del

sistema de capacidad. Para ello se toman en cuenta los grados de adecuación de varios aspectos con relación al elemento de interés, como son entrenamiento, personal, material, información, doctrina, organización, infraestructura, logística e interoperabilidad. Debe resaltarse que los parámetros de evaluación de idoneidad de la metodología de utilidad militar son considerados también para enfoques de planificación de capacidades. Tal es el caso de la planificación por capacidades orientado la misión, establecida por la Fuerza Aérea de los Estados Unidos (USAF), que tiene por objetivo una preparación adecuada ante un futuro incierto mediante la optimización de capacidades. Esta metodología busca alinear las operaciones con la asignación de recursos, evaluar y tomar decisiones sobre el riesgo operacional y, sobre todo, promover soluciones a las deficiencias que puedan presentar sus capacidades en el espectro de la doctrina, organización, capacitación, material, liderazgo y educación, personal e instalaciones (James et al., 2005). Un enfoque similar utiliza la OTAN, que añade el concepto de interoperabilidad como parte de este espectro de aspectos con que se identifica las capacidades.

Para el caso presentado, a la fecha cero la aeronave UAV presenta diferentes grados de adecuación en varios aspectos. En cuanto al grado de adecuación del entrenamiento, el personal desarrollador del área de pruebas está capacitado en la operación de la aeronave, incluyendo la programación y cambio de parámetros de sus sistemas de navegación y comunicación, de manera similar, el personal técnico está capacitado en su mantenimiento e ingeniería de alto nivel. Sin embargo, está pendiente el entrenamiento de personal de una unidad operativa que pueda recibir la aeronave y el sistema UAV, que debería realizarse inicialmente con el personal de operación del desarrollador. De manera similar, en cuanto al personal de soporte de mantenimiento, las tareas pueden ser solventadas por el personal desarrollador, mientras se realiza una capacitación formal y entrenamiento en el trabajo al personal designado por las fuerzas.

En cuanto al grado de adecuación del personal al elemento de interés, el personal del centro de desarrollo dispone de experiencia en pruebas con el sistema y la aeronave UAV, pero no se dispone de personal operativo propio de una fuerza que esté capacitado y con experiencia en el sistema para su empleo en las operaciones militares. Se ha realizado pruebas sobre el análisis de información en tiempo real con el personal de inteligencia, por lo cual ese personal podría reintegrarse a una operación de manera inmediata y en este aspecto su contribución al empleo requeriría menor tiempo.

En cuanto a información, la aeronave y el sistema permite recopilar y difundir los datos que recibe del sensor electro óptico en tiempo real, para su análisis respectivo por los tomadores de decisiones. Los sistemas de comunicación desde la aeronave a la GCS en tierra disponen de encriptación para su seguridad y pueden

interconectarse a redes del Comando Conjunto para difundirla a centros de mando y control que no estén en Manta, aunque hasta la fecha cero no se ha realizado dicha integración.

A la fecha cero, la doctrina para el empleo del UAV no está establecida al ser una nueva tecnología. La doctrina debe crearse a partir de las especificaciones técnicas de la aeronave y la experiencia práctica producto de las operaciones, sin embargo, se cuenta con la experiencia de 32 misiones de prueba completas que aportan con las fortalezas y limitaciones de la aeronave en los vuelos realizados en distintas zonas de trabajo. En cuanto a los tipos de misiones, doctrinariamente las aeronaves UAV realizan misiones aéreas de vigilancia y de reconocimiento, pues se puede obtener información sobre las actividades de las fuerzas enemigas mediante la utilización de sensores. Adicionalmente, los vuelos no tripulados se han establecido como parte de las operaciones aéreas de apoyo a las operaciones terrestres y navales contra el narcotráfico. Sin embargo, las capacidades, empleo y funcionamiento específico de los UAVs requieren un enfoque diferente al de las aeronaves tripuladas. Por ello se requiere el proceso de generación de doctrina militar en Fuerza Armadas del Ecuador, que tiene como una de sus entradas a las nuevas tecnologías, como es el caso de los UAV. Por tanto, considerando la doctrina vigente para operaciones aéreas y las lecciones militares aprendidas que surgen de la operación de los nuevos sistemas, se deberá generar una actualización de la doctrina.

La doctrina se basa en los conceptos teóricos, así como la validación de las experiencias, con lo cual se establecen los mejores aspectos operacionales y de seguridad para las aeronaves UAV. Adicionalmente, se deberá tomar como referencia documentos como los acuerdos de estandarización de la OTAN (STANAG) que establecen procesos, términos, y condiciones para equipos y procedimientos militares, tal es el caso de la STANAG 4586 que establece las interfaces estándar del sistema de control para la interoperabilidad de los UAV de la OTAN. Con ello, la doctrina operativa establecerá procedimientos estandarizados para planificación, ejecución y análisis de misiones, garantizando la seguridad operativa y optimizando el uso de los UAVs para la seguridad y defensa del estado ecuatoriano. Adicionalmente, en el mundo no existe un entrenamiento específico para la operación de los UAV del Proyecto DOCR del Ministerio de Defensa Nacional, ya que es un diseño propio, y por tanto, se requiere adaptar un proceso de capacitación general, a las especificaciones de la aeronave desarrollada. Bajo este enfoque, se debe realizar el entrenamiento específico para operadores, actualización de procedimientos y revisión de metodologías de operación. Este esquema debe tomar como marco de referencia documentos como la STANAG 4670 que es una guía recomendada para la formación de operadores designados de vehículos aéreos no tripulados. Por tanto, la capacitación debe enfocarse

en misiones tácticas, integración con unidades terrestres y análisis de inteligencia, así como la interoperabilidad con sistemas de mando y control.

La organización de desarrollo dispone de una estructura claramente definida, tanto para la operación experimental como para el mantenimiento de la aeronave. En la unidad operativa se debería establecer la organización adecuada para la operación con el UAV y su sistema, considerando las estructuras existentes y como modelo la estructura de operación de UAVs de la Fuerza Naval que ya dispone de varios años de experiencia en operación aeromarítima. Aporta también la experiencia de operaciones aéreas de la Fuerza Aérea y Fuerza Terrestre acantonada en el sector.

En cuanto a infraestructura, considerando que la zona de Manta dispone de un ala de combate de la Fuerza Aérea y de una estación aeronaval de la Fuerza Naval, se cuenta con infraestructura y locaciones adecuadas como hangares, plataformas, pista y zonas administrativas para la operación del sistema. En cuanto al material, el equipamiento tecnológico que compone la aeronave y el sistema UAV es actualizado y cumple con estándares y protocolos para su empleo en operaciones militares. La logística para mantenimiento nivel 1, es decir en línea de vuelo, está disponible, pero a nivel 2, que son las inspecciones intermedias y revisión de

sistemas más complejos, se tiene una limitación con el stock de repuestos de componentes mayores, pues al ser diferente la consideración de punto de reorden de un proyecto de desarrollo que de una unidad en operaciones, implica que a la fecha cero el reemplazo de componentes mayores podría retrasar la continuación de operaciones de acuerdo al tiempo requerido para la obtención de nuevos pedidos.

Finalmente, la interoperabilidad se debe considerar tanto en los aspectos técnicos como operativos. En cuanto a la parte técnica uno de los puntos principales es evitar la interferencia de frecuencias con otros sistemas que utilizan principalmente enlaces para sus sistemas de control. Sin embargo, la posibilidad de interferencia es mínima pues existe los rangos independientes de uso de frecuencias con los UAVs de la zona, en base a los estudios de ingeniería aprobados para la asignación de frecuencias exclusivas de operación. Por otro lado, la interoperabilidad en operaciones está pendiente pues el sistema no fue probado en conjunto con otras fuerzas o unidades, sino en forma independiente, con sus componentes operando únicamente con recursos del sistema UAV del Proyecto DOCR. Todos los aspectos señalados anteriormente pueden visualizarse en la Fig. 3.

Figura 3

Evaluación de la dimensión de idoneidad militar



Considerando los parámetros presentados, el sistema UAV sería completamente idóneo si se dispone de personal capacitado para la operación y mantenimiento del sistema, se implementa la interface de transmisión de la información con las redes existentes en Comando Conjunto, se desarrolla la doctrina para el empleo de los medios y se dispone de un adecuado soporte logístico para las aeronaves. Con estos aspectos completados

es posible beneficiarse de manera idónea de las capacidades del sistema UAV. Entonces, es necesario que las unidades militares puedan establecer una estructura organizacional adecuada para la operación de estas aeronaves, determinar las mejores maneras de operar las aeronaves y establecer cambios para mejorar la capacidad con la integración del sistema de UAVs.

3.3. Dimensión de asequibilidad

La asequibilidad es una medida de cumplimiento a los recursos máximos que un actor militar ubica en el elemento de interés en un período definido por el contexto. Se relaciona con la existencia de una financiación limitada y con el hecho que el costo de ciclo de vida en un programa de adquisición debe ser concordante con los proyectos de inversión establecidos. Los indicadores que la metodología presenta incluyen costo del ciclo de vida, costo total de la propiedad, otras medidas de costo de propiedad y recursos ubicados.

El costo del ciclo de vida considera todos los costos que se darán durante la vida de un sistema, incluyendo la adquisición, la operación, el soporte e incluso lo que costaría ya no utilizarlo. En cambio, el costo total de propiedad adicionalmente incluye costos indirectos y fijos vinculados al ciclo de vida del proyecto, por ejemplo, instalaciones compartidas, equipo de apoyo común, personal de mando de la unidad, administración, supervisión, entre otros. Por estas consideraciones adicionales el costo total de propiedad se constituye en una excelente alternativa para fines presupuestarios, procesos de optimización, establecimiento del uso de los sistemas, análisis financiero, entre los principales (Erdman & Mitchum, 2013).

La nueva tecnología UAV presentan como una de sus ventajas la relación calidad-precio (Chaturvedi et al., 2019), pues se pueden adquirir y operar a un coste menor en comparación con el coste de aeronaves tripuladas. La diferencia de costos se produce en relación a motores, fuselajes, consumo de combustible, entrenamiento de pilotos, coordinación y apoyo. Una comparación de costos de un sistema aéreo no tripulado en comparación con una aeronave tripulada que realiza el mismo tipo de misión y tamaño similar es un 62% del costo recurrente de hora de vuelo, un 78% del costo de adquisición por aeronaves y un 83% del costo de ciclo de vida por hora de vuelo a favor de la tecnología de los UAV (Keating et al., 2021).

Para el análisis de asequibilidad en el análisis de costos del caso de estudio, se realiza una comparación de dos plataformas aéreas que permiten el cumplimiento de la misión. El sensor electroóptico para vigilancia y reconocimiento puede emplearse desde una aeronave no tripulada UAV como en una aeronave tripulada. En la aeronave tripulada, a la fecha cero, está realizada la instalación de un sensor electro óptico en la aeronave Twin Otter, que es la alternativa como plataforma para vigilancia y reconocimiento de los UAVs (Leon et al., 2020). El sensor se controla con un operador que dispone de un monitor al interior del avión, con capacidad de grabación de información, para posterior análisis de inteligencia. Las misiones de prueba de esta configuración incluyen dos vuelos de configuración de equipos en instalaciones provisionales en helicópteros en zonas de costa, y un vuelo de prueba con instalación de pod aerodinámico en el Twin Otter, la instalación

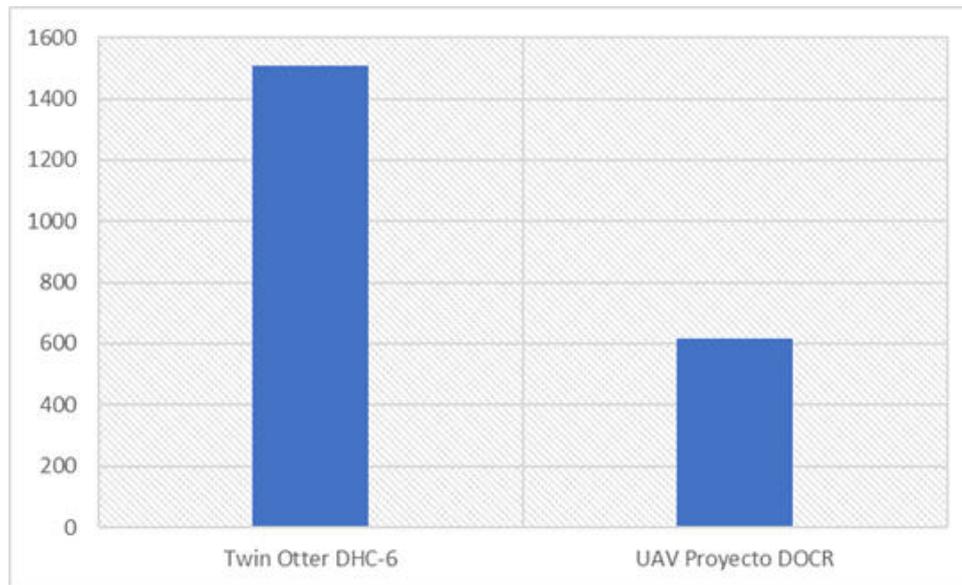
no afecta el rendimiento de la aeronave y no existen variaciones en las capacidades de transporte de personal y carga. A la fecha cero no se ha realizado en el avión una modificación para instalación de equipos de comunicaciones que enlacen la señal en tiempo real a tierra. Las pruebas en vuelo realizadas, reemplazando la plataforma área del UAV por una aeronave Twin Otter, permite obtener las imágenes y grabarlas para posterior análisis de inteligencia.

La condición para el análisis de asequibilidad es que la aeronave tripulada establezca en su vuelo parámetros similares a los establecidos para el UAV. Para la misión de vigilancia se considera una altura de operación hasta 15.000 pies, altura óptima de detección 2000 pies, área de exploración radio de 150 km, y grabación de imágenes para posterior análisis de inteligencia. Al ser la aeronave tripulada un avión que puede realizar tareas adicionales como transporte de personal, se plantea como comparativa respecto al UAV el uso de una medida económica diferente al costo total de propiedad y el costo del ciclo de vida, considerando solamente la operación en las misiones específicas. Por tanto, se analiza como medida económica el costo de hora de vuelo, pues considera aspectos como número de horas de vuelo planificadas por año, números de aeronaves disponibles, año del cálculo, insumos para la operación, mantenimientos programados por horas de vuelo, mantenimiento programado por tiempo calendario, entrenamiento concurrente, depreciación del costo de la aeronave, tiempo de vida útil, costo de la mano de obra para operación, costo del seguro de la aeronave anual, entre los principales. Tomando en consideración estos aspectos se determina que la plataforma UAV en comparación con una aeronave DHC-6 Twin Otter tiene un costo de hora de vuelo que es un 41% del costo de la aeronave tripulada, como se establece en la Fig. 4.

En el análisis general, el actor militar tiene como objetivo encontrar la alternativa de plataforma aérea que le proporcione la máxima utilidad militar. Como los dos tipos de plataforma aérea cumplen los requisitos de efecto deseado, la plataforma aérea que permita el máximo efecto deseado, y que tenga el menor costo, es decir la más asequible al actor militar, tiene la mayor utilidad militar. Debe recalarse que, si se varía el efecto deseado, por ejemplo, toma de decisiones en tiempo real, se requiere obtener y transmitir la información del sensor igualmente en tiempo real, y por tanto el análisis debe modificarse pues el efecto deseado no puede obtenerse para ambas plataformas.

Figura 4

Comparación de costo de hora de vuelo para análisis de la dimensión de asequibilidad



Para mejorar la toma de decisiones estratégicas se realiza una proyección de costos a largo plazo que requiere contemplar el mantenimiento, la actualización tecnológica y la expansión de la flota de UAVs. Para esta proyección se considera un horizonte de 10 años, comenzando con la operación de una flota de 03 aeronaves UAV y 01 estación de mando y control en tierra. Al quinto año se incrementará la flota con un

UAV adicional y una EMCT adicional. El costo de adquisición de cada UAV es de 360.000 dólares y de una EMCT es de 90.000 dólares. El costo de mantenimiento preventivo anual es de 26.000 dólares por UAV y de la EMCT es de 10.000 dólares. Al quinto año se realizará una actualización tecnológica del equipamiento de cada uno de los UAV por 292.500 dólares. El detalle de esta proyección se presenta en la tabla 5.

Tabla 5

Proyección de costos del sistema UAV del Proyecto DOCR

Concepto	Año 0	Año 1-4	Año 5	Año 6-9	Año 10	Total
Adquisición de UAVs	1.080.000	-	-	-	-	1.080.000
Adquisición de EMCT inicial	90.000	-	-	-	-	90.000
Adquisición de UAVs adicional	-	-	360.000	-	-	360.000
Adquisición de EMCT adicional	-	-	90.000	-	-	90.000
Mantenimiento anual	-	88.000	-	-	-	352.000
Mantenimiento anual	-	-	124.000	496.000	-	620.000
Mantenimiento anual	-	-	-	-	124.000	124.000

Actualización tecnológica	-	-	877.500	-	-	877.500
Actualización tecnológica	-	-	-	-	1.170.000	1.170.000
Total de costos	1.170.000	88.000	1.361.500	496.000	1.170.000	4.285.500

En este caso, estamos proporcionando a un actor militar la solución para el contexto particular de vigilancia y reconocimiento, pero deberá establecer el máximo efecto posible deseado, sin dejar de ser asequible para el actor militar. En general, cuando se dispone de los datos de las medidas económicas, como por ejemplo un costo de propiedad estimado y un presupuesto de referencia, se puede establecer de manera sencilla una medida de asequibilidad. Y esta asequibilidad debe, en última instancia, valorarse o priorizarse junto con la efectividad militar y la idoneidad militar para formar una medida equilibrada de la utilidad militar.

Para tomar decisiones se puede clasificar las opciones, compilando el resultado de la evaluación mediante métodos cuantitativos, que producen una evaluación numérica o escalar. Se establece que un sistema de aeronaves no tripuladas, en el contexto de las operaciones militares de ámbito interno y para la capacidad de vigilancia y reconocimiento, ofrece la probabilidad de lograr los objetivos establecidos a un costo menor que otras alternativas. Sin embargo, la tecnología al haber sido desarrollado recientemente requiere mayor experiencia en operación por las

unidades militares, mejorar su soporte logístico y adaptar una organización para su empleo.

Para reducir la subjetividad de la evaluación y dar más peso a factores cuantificables se puede establecer una técnica de toma de decisiones multicriterio, como es la metodología AHP (Analytic Hierarchy Process). Para ello, se definen como criterios las dimensiones y como subcriterios los indicadores de cada dimensión. Por ejemplo, el primer criterio sería la dimensión de la efectividad militar y los subcriterios el cumplimiento de los objetivos de costos, el cumplimiento del cronograma y el cumplimiento de los riesgos. La estructura jerárquica del AHP para la utilidad militar establece como objetivo principal evaluar la utilidad militar, los criterios son la efectividad militar, la idoneidad militar y la asequibilidad. Posterior se establece la comparación de pares, realizando comparaciones entre los subcriterios para asignarles pesos relativos utilizando una escala de 1 a 9, para las relaciones de importancia entre los subcriterios, tal como lo establece la tabla 6. Este tipo de matriz se debe completar para todos los criterios y subcriterios. Se deben realizar comparaciones similares para la idoneidad militar y la asequibilidad.

Tabla 6
Ejemplo de comparación de pares para la efectividad militar

Crterios/Subcriterios	Cumplimiento de resultados	Cumplimiento de objetivos de costos	Cumplimiento de cronograma	Cumplimiento de riesgos
Cumplimiento de resultados deseados	1	3	5	7
Cumplimiento de los objetivos de costos	1/3	1	3	5
Cumplimiento del cronograma	1/5	1/3	1	3
Cumplimiento de riesgos	1/7	1/5	1/3	1

El cálculo de los pesos de cada subcriterio se inicia con la suma de las columnas de la matriz de comparación de pares, luego se normaliza la matriz y se promedia las filas con lo cual se obtienen los pesos que asignan importancia relativa a cada subcriterio dentro del criterio correspondientes. Posteriormente, se procede a evaluar las alternativas disponibles en relación con cada subcriterio, mediante una escala de 1 a 9 para comparar cómo cada alternativa cumple con cada subcriterio. Finalmente se calcula la utilidad militar total de una

alternativa multiplicando los valores de cada subcriterio por su peso, sumando los resultados ponderados de todos los subcriterios para cada criterio y sumando los puntajes ponderados de los criterios para obtener una puntuación total. De esta manera, el resultado final será una puntuación que refleja la utilidad militar total de la alternativa, considerando todas las dimensiones y subcriterios.

CONCLUSIONES

Se ha presentado como caso de aplicación del concepto de utilidad militar a la evaluación de la tecnología de UAVs orientado a mejorar la capacidad de vigilancia y reconocimiento en el escenario actual de incremento de la inseguridad en Ecuador. Considerando que una capacidad debe obtenerse mediante múltiples combinaciones de medios y formas, se confirma que la plataforma aérea, en este caso el UAV, por sí sola no es una capacidad pues requiere de un conjunto interdependiente de recursos y actividades para la operación.

Las aeronaves no tripuladas (UAVs), con el enfoque situacional del elemento de interés, de un actor militar y el contexto, representan una tecnología que puede ser integrada para mejorar las capacidades de vigilancia y reconocimiento de las Fuerzas Armadas, permitiendo una mejor gestión de recursos e integración. Adicionalmente, las aeronaves no tripuladas han demostrado ser una solución asequible, pero el efecto ideal en la capacidad se obtiene cuando el sistema de UAVs dispone de personal de operaciones y mantenimiento calificado y con experiencia, comunicaciones para integrarse y operar en un sistema de mando y control, y un sistema logístico de soporte que permita rápida respuesta a los requerimientos de operación. Finalmente se establece que el despliegue de aeronaves no tripuladas y sus sistemas de apoyo en áreas críticas como la provincia de Manabí puede fortalecer la capacidad de respuesta de Fuerzas Armadas ante actividades ilícitas.

La aplicación de una metodología para el concepto de utilidad militar ha establecido una evaluación basada en aspectos cualitativos. La evaluación permite identificar las fortalezas y limitaciones de una tecnología que se quiere adoptar para una capacidad, y permite a los tomadores de decisiones plantear alternativas sobre cambios o adaptaciones en la organización para aprovechar al máximo la tecnología, establecer procedimientos o tácticas que permitan producir un mayor efecto, decidir la integración o adquisición de la misma o cambios para mejorar las capacidades con su integración.

Sin embargo, la utilidad militar todavía puede verse influenciada por la perspectiva de los evaluadores y afectar a las conclusiones que determinan los tomadores de decisiones. Por tanto, estudios posteriores pueden emplear metodologías más complejas que reduzcan aún más la subjetividad, tal es el caso de métodos estructurados para la toma de decisiones y que consideran múltiples alternativas como por ejemplo el Proceso Analítico Jerárquico o AHP por sus siglas en inglés.

Referencias

- Andersson, K., Bang, M., Marcus, C., Persson, B., Sturesson, P., Jensen, E., & Hult, G. (2015). Military utility: A proposed concept to support decision-making. *Technology in Society*, 43, 23–32. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2015.07.001>
- Andrade, C., Dellasoppa, E. E., & Carrión Mena, F. C. (2023). *La seguridad como excepción ¿Hacia dónde va Ecuador? In La transnacionalización del crimen y la violencia.* www.caapecuador.org
- Argoti, M. (2019). Modelo de planificación de la defensa en el Ecuador: porque planificar en base a capacidades. *Revista de Ciencias de Seguridad y Defensa*, IV(4).
- Armas, P. (2015). Ficha Informativa de Proyecto 2015 Detección, Observación, Comunicación, Reconocimiento.
- Bangkui, F., Yun, L., Ruiyu, Z., & Qiqi, F. (2020). Review on the technological development and application of UAV systems. *Chinese Journal of Electronics* (Vol. 29, Issue 2, pp. 199–207). Chinese Institute of Electronics. <https://doi.org/10.1049/cje.2019.12.006>
- Chaturvedi, S. K., Sekhar, R., Banerjee, S., & Kamal, H. (2019). Comparative review study of military and civilian unmanned aerial vehicles (UAVs). *INCAS Bulletin*, 11(3), 181–182. <https://doi.org/10.13111/2066-8201.2019.11.3.16>
- DoD. (2024, October 10). DM2 - Capability. https://dodcio.defense.gov/Library/DoD-Architecture-Framework/dodaf20_capability_mm/
- Erdman, T., & Mitchum, C. (2013). Life-Cycle Cost Analysis for Small Unmanned Aircraft Systems Deployed Aboard Coast Guard Cutters. www.acquisitionresearch.net
- Gassara, A., & Bouassida Rodriguez, I. (2021). Describing correct UAVs cooperation architectures applied on an anti-terrorism scenario. *Journal of Information Security and Applications*, 58. <https://doi.org/10.1016/j.jisa.2021.102775>
- James, M., Mr, J. /, & Herslow, R. (2005). The United States Air Force Approach to Capabilities-Based Planning & Programming (CBP&P), Part 1: Planning. Analytical Support to Defence Transformation, 1–10. <http://www.rto.nato.int/abstracts.asp>.
- Keating, E., Kerman, J., & Arthur, D. (2021). *Usage Patterns and Costs of Unmanned Aerial Systems At a Glance.* www.cbo.gov/publication/57090
- Konert, A., & Balcerzak, T. (2022). Military autonomous drones (UAVs) - From fantasy to reality. Legal and Ethical implications. *Transportation Research Procedia*, 59, 292–299. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.11.121>
- Leon, G., Salazar, F., & Buele, J. (2020). Implementation of an Electro-optical Sensor in the Twin Otter FAE Plane for the Strengthening of the Strategic Surveillance Capacity. *Revista Ibérica de Sistemas de Tecnología e Información.* <https://www.researchgate.net/publication/342344339>
- Liu, Y., Liu, H., Tian, Y., & Sun, C. (2020). Reinforcement learning based two-level control framework of UAV swarm for cooperative persistent surveillance in an unknown urban area. *Aerospace Science and Technology*, 98. <https://doi.org/10.1016/j.ast.2019.105671>

- Mohsan, S. A. H., Othman, N. Q. H., Li, Y., Alsharif, M. H., & Khan, M. A. (2023). Unmanned aerial vehicles (UAVs): practical aspects, applications, open challenges, security issues, and future trends. *Intelligent Service Robotics* (Vol. 16, Issue 1, pp. 109–137). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. <https://doi.org/10.1007/s11370-022-00452-4>
- Molina, C., Ferrera, H., Leiva, A., Sahade, D., & Arnoriaga, J. (2019). Análisis y comparación de la evolución y desarrollo de UAVs en el marco mundial y regional. *Revista de La Escuela Superior de Guerra Aérea*.
- Montoya, P., & Vásquez, R. (2019). Empleo de los UAV en las operaciones de seguridad y vigilancia en las áreas estratégicas en el Ecuador. *Revista de Ciencias de Seguridad y Defensa*, IV.
- NATO. (2010). Strategic Concept of Employment for Unmanned Aircraft Systems in NATO. www.japcc.org
- Pantoja, N., & Fuentes, V. (2022). Polivalencia de fuerzas armadas en situación de crisis: Ecuador y Chile. *Revista de La Academia Del Guerra Del Ejército Ecuatoriano*, 15(1), 12. <https://doi.org/10.24133/age.n15.2022.09>
- Rasmussen, A., Sabic, H., Saha, S., & Nielsen, I. E. (2023). Supplier selection for aerospace & defense industry through MCDM methods. *Cleaner Engineering and Technology*, 12, 100590. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.clet.2022.100590>
- Sanchez, A. (2014). COHA Report: Drones in Latin America.
- Silfverskiöld, S., Andersson, K., & Lundmark, M. (2021). Does the method for Military Utility Assessment of Future Technologies provide utility? *Technology in Society*, 67. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2021.101736>
- Silva, H. (2018). Identificación y localización de posibles rutas para evasión de controles de seguridad. Caso de estudio: el narcotráfico en la zona costera de la provincia de Manabí. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Vintimilla, E. (2016). Informe situación Proyecto DOCR.
- Yaacoub, J. P., Noura, H., Salman, O., & Chehab, A. (2020). Security analysis of drones systems: Attacks, limitations, and recommendations. *Internet of Things* (Netherlands) (Vol. 11). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2020.100218>