

Tecnología para la efectividad de la vigilancia marítima del siglo XXI

Technology for the effectiveness of maritime surveillance of the 21st century

Recibido: 31 de agosto del 2021 | Aceptado: 06 de diciembre del 2021

Omar Duarte Razo

<https://orcid.org/0000-0001-5441-8929>

Jefe Sección 14 Base Aeronaval de la Paz SEMAR

Licenciado en Ciencias Navales por la Heroica Escuela Naval Militar con la Especialidad de Piloto Aviador Naval Ala Móvil. Ha seguido el Curso de Mando Naval en el Centro de Estudios Superiores Navales de la Secretaría de Marina Armada de México y el Programa de Comando y Estado Mayor (COEM) - Maestría en Estrategia Marítima en la Escuela Superior de Guerra Naval de la Marina de Guerra del Perú.

Email: bear_antz@yahoo.com.mx

30

Resumen: El presente artículo presenta una simulación de un estudio comparativo de plataformas aéreas que pueden ser empleadas en la vigilancia marítima, analizando la conveniencia operativa de la utilización de una aeronave tripulada o un vehículo aéreo no tripulado (UAV), sustentada bajo la Teoría de Análisis de Operaciones. En el presente artículo se puede apreciar, en base a las herramientas analíticas disponibles, cuál resulta más eficiente y cuál más eficaz en operaciones de vigilancia marítima, bajo condiciones ambientales y de operación definidas, así como dimensiones y actividades del blanco específicas. De la comparativa se concluye que la plataforma que cumple con los criterios de adaptabilidad y aceptabilidad para una vigilancia diurna es la aeronave tripulada y para realizar una vigilancia nocturna con un valor aceptable de eficacia y un mayor valor de eficiencia, la plataforma que cumple con los criterios de adaptabilidad y aceptabilidad es la aeronave no tripulada con el empleo de cinco aeronaves, de tal forma que esta información puede ser empleada como elemento de juicio para una correcta toma de decisiones del comandante, de acuerdo con la información y tiempo disponible en el teatro de operaciones.

Palabras clave: Efectividad, eficacia, eficiencia, aeronave tripulada, UAV, vigilancia.

Abstract: This article presents a simulation of a comparative study of aerial platforms that can be used in maritime surveillance, analyzing the operational convenience of using a manned aircraft or an unmanned aerial vehicle (UAV), supported under the Operations Analysis Theory. This article shows, based on the analytical tools available, which is more efficient and which is more effective in maritime surveillance operations, under defined environmental and operating conditions, as well as specific target dimensions and activities. From the comparison it is concluded that, the platform that meets the adaptability and acceptability criteria for daytime surveillance is the manned aircraft, while for a night surveillance, with an acceptable value of effectiveness and a higher value of efficiency, the platform that meets with the criteria of adaptability and acceptability is the unmanned aerial vehicle with the use of five aircraft, in such a way that this information can be used as an element of judgment for a correct commanders decision-making, according to the information and time available at the operations theater.

Key words: *Effectiveness, efficacy, efficiency, manned aircraft, UAV, surveillance.*

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente los Estados ribereños tienen el gran reto de llevar a cabo una estricta vigilancia sobre su zona de mar, esto a fin de proteger sus recursos naturales de la depredación y evitar la realización de actos ilícitos. Las fuerzas navales de los estados ribereños, como responsables de combatir los ilícitos en el mar mediante el empleo de unidades de superficie y aéreas, efectúan patrullaje y vigilancia en las zonas de mayor sensibilidad y de interés, a fin de velar por el estado de derecho en sus zonas marítimas, entendiéndose por patrullaje el destacamento de fuerzas de mar, aire o tierra con el propósito de recopilar información o llevar a cabo una misión de destrucción, de acoso o de limpieza (NATO, 2019). Por otro lado, la vigilancia marítima fue definida por la Comisión Europea como "la comprensión efectiva de todas las actividades realizadas en el mar que podrían afectar la seguridad, la economía o el medio ambiente de la Unión Europea y sus estados miembros" (Bosilca, 2016). En la Unión Europea (UE), la vigilancia marítima se realiza para usos militares (por ejemplo, en operaciones de lucha contra la piratería) y para tareas no militares (como control de fronteras, búsqueda y rescate, o protección del medio marino) en las aguas bajo la soberanía y la jurisdicción de los estados miembros, pero también en las aguas internacionales donde la UE tiene intereses de seguridad atractivos. Asimismo, la Organización del Atlántico Norte (NATO, 2019) define la vigilancia marítima como: La

observación sistemática de las áreas marinas superficiales y subacuáticas por todos los medios disponibles, principalmente con el fin de localizar, identificar y determinar los movimientos de barcos, submarinos y otros vehículos, amigos y enemigos, que procedan en o bajo la superficie de los mares y océanos del mundo. Podríamos decir que la vigilancia es la observación sistemática del espacio aéreo, ciberespacio, de la superficie o áreas bajo la superficie, lugares, personas o cosas, por medios visuales, auditivos, electrónicos, fotográficos u otros (Staff, 2021).

Se consideró como escenario un área tipo con características compatibles con diversos escenarios de América Latina como área de mayor interés “A”. Las unidades navales de vigilancia marítima en funciones de Guardia Costera tienen como función inherente, a las responsabilidades de las fuerzas navales, realizar operaciones de patrullaje y vigilancia a fin de contrarrestar las actividades ilícitas que se pretendan cometer o cometan en el área de interés.

Como base teórica se asumió el Análisis de Operaciones (AO), la cual es definida por el Instituto Naval de Estados Unidos (1968) como un método científico para proveer al decisor con las bases cuantitativas para las decisiones correspondientes a las operaciones bajo su control. Así mismo, la teoría de decisiones plantea que las decisiones deben ser fundamentadas en funciones de utilidad y optimización de los recursos disponibles para la mejor efectividad (Simons, citado en Rampello, 2019), lo que permitirá tomar la mejor decisión y/o propuesta que incremente las capacidades de fuerzas navales.

Es evidente el empleo de una herramienta que permita una mejor vigilancia a los estados ribereños. Se desarrollan estudios y modelos técnico – industrial para la defensa que favorezca a la gestión de recursos, materiales y de personal lo que habrá de permitir sustancialmente un eficiente manejo presupuestario en los países de Latinoamérica (Suárez Saponaro, 2020). Es así que actualmente, la vigilancia marítima del mar Báltico es llevada a cabo por la Junta de la Policía y la Guardia de Fronteras de Estonia (PPA) y emplea el CAMCOPTER (R) S-100, un conjunto de aeronaves pilotadas por control remoto (RPAS), las mismas que son suministradas por la Agencia Europea de Seguridad Marítima (EMSA) lo que también se hace extensivo a Finlandia. (Schiebel, 2021).

Incluso existen estudios como el de Baquero y Vásquez (2019) en Ecuador, quienes concluyen que los drones del GMREC permiten el cumplimiento de su misión, de planeamiento y ejecución de operaciones técnicas de inteligencia, exploración aeromarítima, de vigilancia y control en el territorio nacional, habiéndose convertido en una herramienta de apoyo a las operaciones militares. Para Balampanis (2018), con respecto a las ciencias marinas y en términos más

generales, a las operaciones costeras o marítimas, el empleo de robots aéreos conlleva una serie de ventajas, incluidas la redundancia de la información y la seguridad del operador. Mora (2018) en su artículo ¿La Clave para el Desarrollo y la Seguridad en África? escribe que los drones han provocado una gran revolución y que serán parte de la vida diaria en los próximos años, enfatizando que en África, debido a las insuficiencias en el ámbito de seguridad, sanidad y agroalimentario, han tenido gran desarrollo.

Asimismo, en el Perú, Calle y Terán (2020) indicaron que las UAV's permiten tener un amplio conocimiento del campo de batalla, alcanzar la superioridad de manejo de la información y que la implementación de estas tecnologías permitirá un efectivo comando y control. En tanto, Vergara, et ál. (2019) en su estudio sobre el empleo de vehículos aéreos no tripulados concluyó que son de utilidad para la vigilancia y monitoreo de sectores peligrosos, evidenciando su contribución al integrar de manera experimental en la tecnología, la electrónica y las operaciones de evacuación y rescate. Así mismo, Ibáñez (2021) destaca que las características que diferencian a los UAV de las aeronaves convencionales son que las misiones que actualmente llevan a cabo corresponden a las de patrullaje, reconocimiento, búsqueda y seguimiento.

Como se puede observar, estas actividades se cumplen de acuerdo con la disponibilidad de herramientas, por un lado, la capacidad física y técnica adecuada de una tripulación de vuelo bien entrenada, y por el otro la confianza en las nuevas tecnologías de videovigilancia y de sus plataformas correspondientes. Hablando de eficacia y eficiencia en el desarrollo de estas actividades de vital importancia para el Estado, y teniendo en consideración los costos de operación, los riesgos para las tripulaciones y la probabilidad de detección es ¿Cuál es la efectividad de las diversas unidades aéreas empleadas en la vigilancia marítima del área de interés "A"? Cuando estos enfrentan los retos logísticos y operativos de una organización ¿Qué es más eficaz y qué es más eficiente?

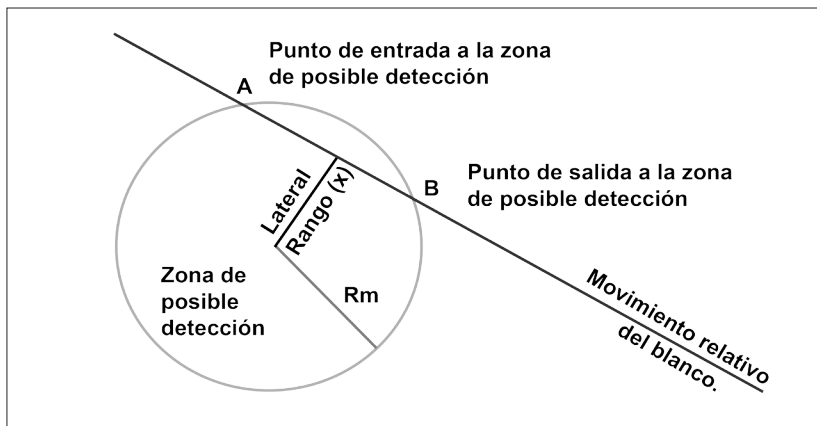
Para responder esta pregunta debemos considerar como objetivo, analizar las características de las plataformas en mención para determinar la medida de efectividad tanto en eficacia (probabilidad de detección) y eficiencia (costo beneficio) de las aeronaves tripuladas y las no tripuladas en la vigilancia marítima, para con ello establecer cuál es la más eficaz y eficiente, y que cumpla con los criterios de adaptabilidad y aceptabilidad, es decir, cuál es el que cumple con la misión de acuerdo a los requerimientos establecidos con la menor inversión de recursos.

El sustento matemático se encuentra asentado en los fundamentos teóricos que se muestran durante el desarrollo del presente estudio, empleándose la curva de alcance lateral, el ancho de barrido, detección de blancos distribuidos aleatoriamente, búsqueda aleatoria, plataformas aéreas y las definiciones de efectividad, eficacia y eficiencia. Las plataformas aéreas de vigilancia marítima consideradas fueron la aeronave tripulada tipo ala móvil y un UAV Clase 1 Categoría Ligero, de acuerdo con la clasificación de la OTAN.

Se consideró la curva de alcance lateral para calcular y definir las zonas de alcance máximo y normal, en este caso, el movimiento relativo entre un sensor y un blanco lo que permite determinar si la detección es o no posible, vale decir, cuando el blanco se aproxima o aleja de la zona de posible detección o cuando sale de ésta. Por lo tanto, el blanco seguirá una trayectoria dentro o a través de la zona de posible detección, asumiendo que dicha trayectoria sea una línea recta, la distancia del blanco al punto de máxima aproximación (PMA) al sensor se denomina distancia o alcance lateral, la cual tendrá dos valores uno positivo y otro negativo. El alcance lateral es una variable aleatoria, representada por “X” (Instituto Naval de Estados Unidos, 1968, pág. 100) tal como se expresa en la figura 1.

34

FIGURA 1
Zona de posible detección y alcance lateral.



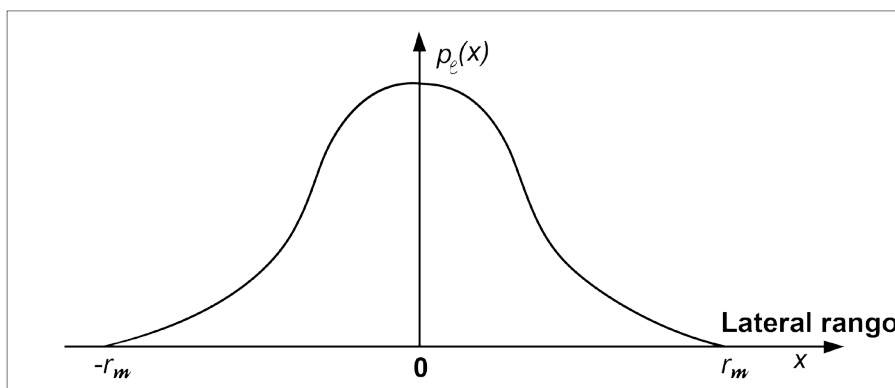
Fuente: Extraído de *Naval Operations Analysis* (1968).

La curva de alcance lateral se sustenta en la capacidad de determinar la probabilidad de detección acumulada a lo largo de la trayectoria en línea recta del

blanco con relación al sensor, dicha probabilidad aumenta al momento de ingresar a la zona de detección en el punto “A” hasta su salida por el punto “B”.

La probabilidad acumulada de acuerdo con el Instituto Naval de Estados Unidos (1968) es representada por el gráfico mostrado en la figura 2 en donde a $P(x)$, para los valores de “X” se le llama curva de distancia lateral, la misma que representa la probabilidad acumulada de detección de un blanco en particular, considerando circunstancias ambientales, sensor en particular, entre otros aspectos. De presentarse una variación en los valores, originaría una curva diferente de distancia lateral.

FIGURA 2
Curva de distancia lateral.



Fuente: Obtenido de Wagner, Mylander and Sanders (1999).

Se empleó el ancho de barrido como medida de efectividad de un sensor, empleado para la planificación y análisis en operaciones de búsqueda de blancos, bajo condiciones ambientales específicas (Wagner et ál., 1999) cuyo valor es igual al área bajo la curva de distancia lateral. Para la unidad aérea tripulada, del tipo ala móvil, se empleó la tabla del Manual I.A.M.S.A.R. (2007, pág. 411) en donde se ingresó con los valores de altitud de vuelo, visibilidad y dimensiones del objeto de búsqueda a fin de obtener el ancho de barrido visual y para la unidad aérea no tripulada, se realizaron cálculos trigonométricos considerando las variables de condiciones de luz, visibilidad, características del sensor y altura de vuelo.

Otro elemento abordado fue la detección de blancos distribuidos aleatoriamente, que viene a ser la situación en donde un blanco determinado está aleatoriamente posicionado dentro del área donde el sensor realiza el barrido, siendo su posición desconocida, el rumbo y velocidad son estimados, y existe la probabilidad de que

éste sea detectado dentro de los límites del alcance lateral del barrido del sensor (Instituto Naval de Estados Unidos, 1968). El concepto aleatorio significa que al ser un proceso en donde el resultado no es predecible, el blanco puede o no encontrarse en una determinada área, existiendo la probabilidad de detectarlo si éste se encuentra dentro de las capacidades del alcance lateral límite del barrido del sensor.

Por otro lado, se realizó la búsqueda aleatoria referida a una búsqueda donde se presume que el blanco se encuentra dentro de un área y que por falta de información se presume que su posición es distribuida aleatoriamente dentro de esta área (Instituto Naval de Estados Unidos, 1968).

El área marítima de interés "A" en donde se realizó la simulación cuenta con una superficie de 682.42 mn², en la cual se asumió una visibilidad de 5 mn para la realización de los cálculos. El período de luz diurna varía durante el año, siendo que durante cuatro meses existe una condición de catorce horas de luz natural, por tal motivo se asumió un período de vigilancia diurna de catorce horas y de diez horas para la vigilancia nocturna. El tipo de blanco considerado se centró en una embarcación menor, la cual desarrolla actividades de pesca ilícita con velocidad nula.

Otros elementos considerados a comprobar fueron la efectividad que engloba tanto la eficacia como la eficiencia, en otras palabras, es alcanzar los resultados propuestos en el tiempo y con los costos más convenientes posibles (Mejia, 1998). Por ende, la eficacia (probabilidad de detección) fue el cálculo realizado para establecer el porcentaje de probabilidad de detección de un blanco, utilizando una aeronave tripulada de ala móvil y un UAV, las cuales pueden ser empleadas como unidades de vigilancia marítima. La eficiencia (costo beneficio) es la relación entre los resultados, costos y tiempos alcanzados versus los resultados, costos y tiempos esperados, obteniéndose de esta forma la identificación del tipo de unidad que cumple con los objetivos empleando la menor cantidad de recursos.

Los cálculos realizados para la simulación contribuyeron para evaluar los costos de operación, mantenimiento de las unidades aéreas, versus la eficacia y eficiencia en la vigilancia del área de interés permitiendo con ello, incrementar las capacidades operativas de las fuerzas navales en la lucha contra los ilícitos en el área de responsabilidad. La teoría de Análisis de Operaciones permite seleccionar la mejor decisión y/o propuesta que incremente las capacidades de las fuerzas navales. En materia de gestión brinda información que permite el manejo de los recursos presupuestarios y el desarrollo de un sistema de planificación que permita una utilización racional de los medios disponibles.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1 Diseño

Se empleó el enfoque cuantitativo y un diseño evaluativo y comparativo con la finalidad de la búsqueda de similitudes y disimilitudes, confrontando dos propiedades adelantando una explicación teórica del problema, lo que facilita una solución práctica, para ello no necesariamente se formuló una hipótesis.

2.2 Muestra

La muestra fue no probabilística intencional, se consideró una aeronave no tripulada (UAV) y una aeronave tripulada de tipo ala móvil, las cuales pueden ser empleadas en la vigilancia marítima en el área de interés "A".

2.3 Instrumento

El instrumento de recolección de datos fue la ficha bibliográfica, donde se analizaron los registros obtenidos de la simulación de Duarte Razo (2019). Para el análisis de datos de la información se aplicaron las técnicas de determinación del cálculo de la probabilidad de detección en una búsqueda aleatoria y la de determinación del cálculo de eficiencia. Los datos fueron procesados empleando hojas de cálculo y el software MATLAB.

3. RESULTADOS

Para el análisis de eficacia y eficiencia se consideró el sensor de búsqueda y ancho de barrido de las plataformas aéreas empleadas en la vigilancia del área de interés "A".

Como se observa en la Tabla 1, se simuló que la aeronave tripulada tipo ala móvil no cuenta con sensores para la búsqueda y detección de contactos de superficie, motivo por el cual, está limitado a la búsqueda visual. El UAV posee un sensor óptico con capacidad de búsqueda diurna e infrarrojo para la nocturna.

TABLA 1
Sensores de búsqueda de las plataformas aéreas empleadas en la vigilancia del área de interés "A"

Plataforma	Sensor de búsqueda
Aeronave tripulada	Visual
UAV	Cámara óptica e IR

Fuente: Datos provienen de la muestra de estudio.

Como se observa en la Tabla 2, los resultados de eficacia de las aeronaves en operación diurna se calcularon con la fórmula de probabilidad de detección, considerándose de acuerdo con los periodos de luz natural los cuales corresponden a catorce horas en el día y diez horas para la noche en la zona donde se efectuó la simulación, aplicando la fórmula de probabilidad de detección en donde se tiene como constata el área de vigilancia.

TABLA 2
Eficacia de unidades de vigilancia marítima diurna.

Aeronave	Vigilancia diurna			
	Área Vigilancia	Velocidad Crucero	Autonomía (Hrs)	Probabilidad Detección
Tripulada	682.42 mn2	120 nds	3	87.22 %
UAV	682.42 mn2	55 nds	14	69.07 %

Nota. Condiciones operacionales diurnas y valores simulados de eficacia de la aeronave tripulada y UAV.

Con respecto a la eficiencia (costo beneficio) en operación diurna, para: 1) Aeronave tripulada, los resultados alcanzados corresponden al tiempo empleado para la vigilancia diurna es decir a tres horas, dando como resultado una probabilidad de detección de 87.22%. Para la obtención de los costos se multiplicó el valor de hora de operación de la aeronave por las horas de operación (tres horas). Para los resultados esperados se tomó el valor de 1, correspondiente a la máxima probabilidad de detección. En los costos esperados se empleó el valor del costo de la aeronave que por su costo de operación resultó el más bajo, el cual corresponde al UAV. En cuanto al tiempo esperado, se consideró el tiempo empleado por la aeronave para realizar la vigilancia diurna correspondiente a tres horas. 2) Respecto al UAV, los resultados alcanzados corresponden a catorce horas de vuelo, obteniéndose una probabilidad de detección de 69.07%. Para los costos alcanzados se multiplicó el costo de hora de operación del UAV por el tiempo de la vigilancia el cual corresponde a 14 horas. Para los resultados esperados se tomó el valor de 1, correspondiendo éstos a la máxima probabilidad de detección. En los costos esperados se empleó el valor del costo de la aeronave que por su costo de operación resultó el más bajo, el cual corresponde a este tipo de aeronave. Para el tiempo esperado se contempló el tiempo que es empleado por la aeronave

para realizar la vigilancia diurna la cual corresponde a 14 horas. La aeronave que obtuvo una mayor eficiencia en la vigilancia diurna corresponde a la aeronave tripulada con un 25.78% en razón a que tiene la mayor probabilidad de detección. (Ver Tabla 3).

TABLA 3

Eficiencia unidades de vigilancia marítima diurna.

<u>Aeronave</u>	<u>Vigilancia diurna</u>
Tripulada	25.78%
UAV	14.80%

Fuente: Valores simulados de eficiencia para las aeronaves en operaciones de vigilancia diurna

De los valores obtenidos para la vigilancia diurna, la plataforma aérea que obtiene los mejores valores de eficacia y eficiencia en el período diurno de vigilancia es la aeronave tripulada tipo ala móvil, toda vez que alcanzó los valores de 87.22% y 25.78% respectivamente, en un período de tres horas de operación en el área y ampliando en 0.4 horas el período de vigilancia, se alcanza un valor cerca al 90% de probabilidad de detección.

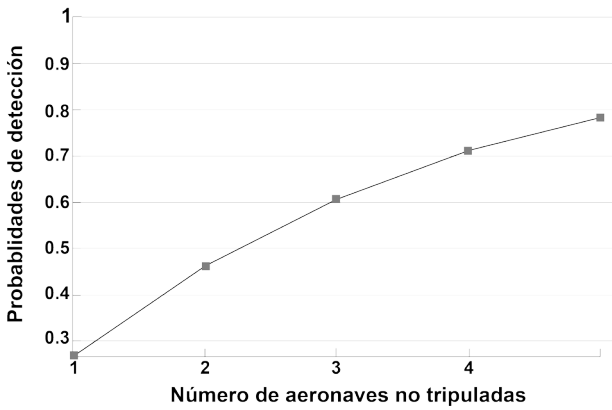
Para los resultados de eficacia y eficiencia de las aeronaves en operación nocturna, en lo correspondiente a eficacia, se simuló que la aeronave tripulada tipo ala móvil no es compatible con equipos de visión nocturna, por tal motivo no está en capacidad de efectuar vigilancia nocturna, de tal forma que la probabilidad de detección tiene valor de 0, y en lo que respecta al UAV, al tener un sensor electro óptico con capacidad de visión infrarroja, se obtuvo como resultado una probabilidad de detección de menos del 60%, observándose, como se indicó anteriormente, que el ángulo de visión horizontal al ser menor, da como resultado un valor menor a la probabilidad de detección respecto a la vigilancia diurna.

Según los resultados, para el período de vigilancia nocturna, se obtiene que el UAV alcanza una probabilidad de detección menor que la aeronave tripulada, en el supuesto de que la aeronave tripulada de tipo ala móvil contase con dispositivos de visión nocturna (NVG), ya que éste hubiese obtenido una probabilidad de detección del 80.71% junto a una eficiencia del 41.52%.

Teniendo en consideración que la eficacia en la vigilancia nocturna del UAV es de un valor menor al deseado, se realizó simulación para determinar el número de UAV's necesarios para optimizar la eficiencia y eficacia, obteniéndose así, que para una probabilidad de detección de 78.37% son necesarios cinco UAV's. (Ver Figura 3).

FIGURA 3

Eficacia aeronave tripulada ala móvil con capacidad NVG versus cinco UAV's.



Fuente: Datos provienen de la muestra de estudio.

TABLA 4

Eficacia aeronave tripulada ala móvil con capacidad NVG versus cinco UAV's.

<u>Aeronave</u>	<u>Vigilancia Nocturna</u>
Tripulada	80.71 %
UAV	78.37%

Nota. Valores simulados de eficacia para las aeronaves en operaciones de vigilancia nocturna.

Para determinar la eficacia de la aeronave tripulada tipo ala móvil con capacidad NVG y de cinco UAV's, como se observa en la Figura 3, se siguieron las siguientes acciones a fin de obtener los respectivos anchos de barrido de las aeronaves:

1. Para la aeronave tripulada tipo ala móvil con dispositivos de visión nocturna (NVG) se aplicó un factor de corrección al ancho de barrido diurno, el cual, una vez aplicado al ancho de barrido diurno arrojó un ancho de barrido corregido para NVG. De la misma manera, se asumió el valor de 80% como un valor de eficacia (probabilidad de detección) aceptable, considerándose para el cálculo un período de 6 horas, del cálculo se obtuvo la probabilidad de detección de 80.71%

2. Respecto al UAV, se dividió el área total de búsqueda en 2, 3, 4 y 5 áreas, para que operen 2, 3, 4, y 5 aeronaves de este tipo, obteniéndose una probabilidad de detección con valor de 78.37%.

Es así como la aeronave tripulada tipo ala móvil es la más eficaz, dado que presenta una mayor probabilidad de detección en un período de 6 horas tal como se observa en la Tabla 4.

TABLA 5

Eficiencia aeronave tripulada ala móvil con capacidad NVG versus cinco UAV's

<u>Aeronave</u>	<u>Vigilancia Nocturna</u>
Tripulada (NVG)	41.38 %
Cinco UAV's	45.85 %

Nota: Valores simulados de eficiencia para las aeronaves en operaciones de vigilancia nocturna.

En lo referente a la eficiencia de la aeronave tripulada tipo ala móvil con capacidad de visión nocturna (NVG) contrastado a cinco UAV's, para el cálculo se tomó en consideración el costo aproximado correspondiente al entrenamiento anual, empleando dispositivos de visión nocturna (NVG) de una tripulación de vuelo; multiplicando el costo de la hora de operación de la aeronave tripulada tipo ala móvil por las horas de vuelo, en forma análoga, se multiplicó el número de UAV's por el valor de la hora de vuelo unitario, y por las horas de operación, en donde:

1. Para la aeronave tripulada tipo ala móvil con dispositivos de visión nocturna, los resultados alcanzados corresponden al valor de la probabilidad de detección, en vigilancia nocturna, de 80.71% para un período de 6 horas. Para los resultados esperados se tomó el valor de 1 el cual corresponde a la máxima probabilidad de detección. En lo referente a los costos esperados, se consideró el menor costo de operación de la aeronave, que para el caso corresponde al UAV, igualmente para un período de operación de 6 horas.

- 2) Para el UAV, los resultados alcanzados corresponden a un 78.37% de probabilidad de detección en un período de 10 horas. En lo referente a los costos alcanzados, se consideró el valor de operación de este mismo tipo de aeronave, multiplicada por cinco y un período de operación de 10 horas. Para los resultados esperados se tomó el valor de 1 el cual corresponde a la máxima probabilidad de detección. Los costos esperados corresponden al valor del costo de la aeronave que por su costo de operación resultó ser el más bajo, el mismo que corresponde al UAV en el período correspondiente a 10 horas.

La aeronave que obtuvo la mayor eficiencia en la vigilancia nocturna corresponde a los cinco UAV's, con un valor de 45.85% (ver Tabla 5).

4. DISCUSIÓN

A nivel teórico, se busca la mejor decisión y/o propuesta que incremente las capacidades de las fuerzas navales en base al Análisis de Operaciones (Instituto Naval de Estados Unidos, 1968) siguiendo las etapas para una toma de decisiones propuesta por Simons (citado en Rampello, 2019) iniciándose con la identificación del problema, que es la vigilancia del área de interés "A" con las plataformas aéreas tripulada tipo ala móvil y el UAV en operaciones de vigilancia marítima a fin de evitar la comisión de actos ilícitos, continuando con la asignación de criterios de selección y el desarrollo de alternativas para luego la evaluación de la efectividad de la decisión.

La aeronave tripulada tipo ala móvil arrojó una probabilidad de detección de 87.22 %, siendo la más eficaz en la vigilancia diurna, sin embargo, al no estar en capacidad de efectuar vigilancia nocturna, la probabilidad de detección se reduce a 0. Correspondientemente, el UAV obtiene una probabilidad de detección de 69.07% durante la vigilancia diurna y una probabilidad de detección de menos del 60% en la nocturna. El UAV permite a las fuerzas navales cumplir con sus funciones de vigilancia marítima, lo que coincide con Balampanis (2018) en lo concerniente a que el empleo de robots aéreos conlleva a una serie de ventajas, incluidas la redundancia de la información y la seguridad del operador. Coincidentemente, Mora (2018) manifiesta que los vehículos no tripulados han provocado una revolución en el ámbito de seguridad, sanidad y agroalimentario. Adicionalmente, Ibáñez (2021) indica que las características de los UAV los hace idóneos para llevar a cabo acciones de patrullaje, reconocimientos, búsquedas y seguimiento.

Para el presente artículo se simuló que la aeronave tripulada tipo ala móvil no está dotada de dispositivos de visión nocturna (NVG), motivo por el cual, no se le considera en las operaciones de vigilancia nocturnas; sin embargo, el UAV sí posee dispositivos infrarrojos posibilitándole la búsqueda y detección nocturna siendo así la mejor alternativa coincidente con los propósitos de Baquero y Vásquez (2019) quien además concluye, que los Drones del GMREC permiten el cumplimiento de la misión.

La decisión de no considerar la aeronave tripulada tipo ala móvil para operaciones de vigilancia nocturna, se optó por considerar que la inversión en el entrenamiento de una tripulación de vuelo para la unidad de ala móvil se asemeja al de operar cinco UAV's, evitando así el riesgo que representan los vuelos nocturnos. Empleando cinco UAV's en un período de 10 horas se alcanzaría la probabilidad de detección de 78.37% con una eficiencia de 45.85%.

Desde la perspectiva de la tecnología, los UAV contribuyen en la tecnología y la electrónica (Vergara et ál. 2019) y en base al análisis de la medida de efectividad, se determinó qué plataforma aérea es la más conveniente para la vigilancia marítima diurna y nocturna respectivamente. Su utilización permitiría un mejor conocimiento del área de operaciones al implementar tecnologías que permiten la modernización y un sistema de comando y control efectivo (Calle y Terán, 2020).

5. CONCLUSIONES

Luego de analizar los resultados podemos concluir que la aeronave tripulada tipo ala móvil es la que mejor se adecúa para la vigilancia diurna del área de interés "A", ya que satisface los criterios de adaptabilidad y aceptabilidad toda vez que cumple la misión de vigilancia en el menor tiempo, alcanzando un alto grado de eficacia, así como de eficiencia.

Para el período nocturno, se ha evaluado que el empleo de un solo UAV no satisface el criterio de adaptabilidad ya que el valor de la eficacia se encuentra por debajo del requerido. En tal sentido, con la simulación se evaluó que con la intervención de cinco UAV's, se podría alcanzar un grado de aceptabilidad y adaptabilidad adecuado, con un bajo costo de operación y una eficacia próxima al valor deseado, con la ventaja adicional que no se arriesga a tripulación alguna, por las características de ser una aeronave no tripulada.

Finalmente, de la comparación de los valores de eficacia y eficiencia en ambas plataformas aéreas, se desprende la información en la cual, durante el empleo de los medios tradicionales, así como de aquellos tecnológicamente modernos, éstos son operativamente complementarios en la consecución de los objetivos del Comandante responsable de la correcta toma de decisiones en el teatro de operaciones, siempre que se observe la información metodológica obtenida mediante la aplicación rigurosa del Análisis de Operaciones.

REFERENCIAS

- Balampanis F. (2018). *Distributed approaches for coverage missions with multiple heterogeneous UAVs for coastal areas*. (Tesis Doctoral). Universidad de Sevilla.
- Baquero P. y Vásquez R. (2019). Empleo de las 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. <http://geol.espe.edu.ec/wp-content/uploads/2019/02/art4-5.pdf>
- Bosilca L. (2016). The use of satellite technologies for maritime surveillance: an overview of EU initiatives. *INCAS Bulletin*, 8 (1), 153.
- Calle L. y Terán L. (2020). *La implementación de vehículos aéreos no tripulados en el sistema de comando y control Wiracocha de las Fuerzas Armadas del Perú 2020*. Escuela Militar de Chorrillos. Lima, Perú. Recuperado de <http://repositorio.escuemilitar.edu.pe/handle/EMCH/624>
- Duarte O. (2019). *Efectividad de las Unidades de la Armada de México para la vigilancia Marítima en el Alto Golfo de California*. (Tesis de Maestría en Estrategia Marítima). Escuela Superior de Guerra Naval. Lima, Perú.
- Ibañez J. (2021). Operaciones UAV en las armadas. *Revista General de Marina*, 280 (4), 749. <https://armada.defensa.gob.es/archivo/rgm/2021/05/rgmmay2021cap10.pdf>
- Instituto Naval de Estados Unidos (1968). *Naval Operations Analysis*. George Banta Company.
- Manual I.A.M.S.A.R. (2007). *International Aeronautical and Maritime Search and rescue Manual*, Vol. II. IMO/ICAO (411).
- Mejía C. (1998). Octubre. *Indicadores de efectividad y eficacia*. Retrieved from Planning Consultoría Gerenciales. Recuperado de: http://www.planning.com.co/bd/valor_agregado/Octubre1998.pdf
- Mora J. (2018). *¿La clave para el desarrollo y la seguridad en África?* Instituto Español de Estudios Estratégicos. España, Recuperado de: https://www.ieee.es/Galerias/fichero/docs_analisis/2018/DIEEEA19-2018_Drones-Clave_Desarrollo_SeguridadAfrica_JAMT.pdf
- NATO. (2019). AAP-06. Oficina de Estandarización NATO.
- Rampello S. (2019). *Los sesgos en la toma de decisiones*. Perspectivas de las Ciencias Económicas y Jurídicas, 9(1). Recuperado de: <https://cerac.unlpam.edu.ar/index.php/perspectivas/article/view/3662>
- Schiebel H. (2021). *El Camcopter® S-100 de Schiebel realiza la vigilancia marítima para la EMSA en Estonia*. Recuperado de: <https://desarrollodefensaytecnologiabelica.blogspot.com/2021/04/el-camcopter-s-100-de-schiebel-realiza.html>
- Staff O. (2021). *DOD Dictionary of Military and Associated Terms*. Recuperado de: <https://www.jcs.mil/Portals/36/Documents/Doctrine/pubs/dictionary.pdf>
- Suárez Saponaro J. (2020). *Un nuevo modelo industrial de defensa para la Argentina*. Recuperado de: <https://bit.ly/3licpQl>
- Vergara A., Paliza E., e Yrigoin, J. (2019). *Empleo de vehículos aéreos no tripulados por el Ejército y su participación de primera respuesta ante desastres naturales*. (Tesis de Maestría en Ciencias Militares con mención en Planeamiento Estratégico y Toma de decisiones), Escuela Superior de Guerra del Ejército-Posgrado. Recuperado de: <http://repositorio.esge.edu.pe/handle/ESGEEPG/209>
- Wagner D., Mylander C., & Sanders T. (1999). *Passive Sonar Equation*. Naval Operations Analysis 3.