

Trabajo Fin de Grado

Estudio para la selección de un sistema idóneo de empleo de RPAS para la localización de objetivos marítimos y corrección del tiro de artillería de costa.

Autor

CAC D. Alejandro Pérez Verdugo

Director académico: Dr. D. Alberto García Martín

Director militar: Cap. D. Rafael Martínez Valverde Nuche

Centro Universitario de la Defensa-Academia General Militar

2025



Agradecimientos

En primer lugar, quiero agradecer al Regimiento de Artillería de Costa 4 la oportunidad que me han brindado para poder aprovechar los cuarenta días de prácticas externas, tiempo en el cual, he podido aprender lo que es realmente la artillería de costa y el funcionamiento de esta gran unidad. Me gustaría agradecer al director militar de este trabajo, el capitán don Rafael Martínez Valverde Nuche, que ha dirigido este trabajo y me ha transmitido sus conocimientos y sus ganas de aprender.

En segundo lugar, me gustaría agradecer al teniente don Roberto Briosó Cortés y a los componentes de la 1ª Batería de armas del RACTA 4, que durante estos cuarenta días me han enseñado el funcionamiento del RACTA 4.

Además, me gustaría agradecer al doctor don Alberto García Martín su labor como director académico, debido a la gran ayuda que ha supuesto en el desarrollo del proyecto, además del gran interés mostrado en el desarrollo, y los conocimientos que ha obtenido a lo largo de estos años en la docencia.

Por último, no puedo dejar de agradecer a mi familia, amigos, compañeros de sección y especialidad fundamental, ya que no sólo en este trabajo me han apoyado incondicionalmente, sino a lo largo de estos cinco años de Academia. En especial, me encantaría destacar las enseñanzas que me han inculcado mis padres desde pequeño, en la que todo esfuerzo tiene su recompensa, y agradecer el apoyo que me han brindado durante toda mi vida.

Gracias a todos.





RESUMEN

La Artillería de Costa (ACTA) es la fuerza del Ejército de Tierra especializada en la defensa del litoral. Sus cometidos principales incluyen la protección de zonas estratégicas, la garantía de la seguridad del tráfico marítimo y el apoyo a otras fuerzas ante amenazas procedentes del mar. Para ello, tiene en dotación sistemas de mando y control, armamento específico y capacidades de detección, localización e identificación de objetivos. Sin embargo, la creciente complejidad de las misiones de vigilancia y control del espacio marítimo ha puesto de manifiesto la necesidad de dotar a estas unidades con RPAS (*Remotely Piloted Aircraft Systems*) para posibilitar la localización precisa de objetivos marítimos y la corrección en tiempo real del tiro, mejorándose así la precisión y reduciéndose los tiempos de respuesta.

En este contexto, el objetivo general de este trabajo es evaluar e identificar el mejor sistema de RPAS para la localización de objetivos marítimos y corrección del tiro de artillería de costa teniendo en cuenta las particularidades del GACTA I/4. Para ello se ha diseñado una metodología estructurada en tres fases: (i) conocer la doctrina, la orgánica y el material en dotación del GACTA I/4; (ii) conocer distintos sistemas de RPAS para localización de objetivos marítimos y corrección del tiro de artillería de costa; y (iii) analizar las ventajas y limitaciones de cada uno de los sistemas estudiados al objeto de identificar el idóneo para el GACTA I/4. En la realización del estudio se implementó el método de análisis multicriterio *Analytic Hierarchy Process* (AHP). La aplicación de este método se sustenta en la correcta caracterización del GACTA I/4, la adecuada selección de distintos sistemas de RPAS y la conformación de un panel de expertos adecuado para realizar evaluaciones fundamentadas y fiables. Estas evaluaciones se obtuvieron mediante un cuestionario, cuyos resultados se analizaron cuidadosamente con un software específico, permitiéndose así calcular el vector de prioridad global de cada alternativa propuesta y las razones de inconsistencia (RI) que garantizan la coherencia y validez del análisis.

Los resultados del estudio muestran que, entre los cinco RPAS evaluados (Searcher MK III, Atlantic I, Fulmar, Orbiter 3 y Scan Eagle), el sistema Orbiter 3 obtiene la mayor puntuación global atendiendo a todos los criterios considerados. Esto es debido a que este RPAS obtiene la puntuación más alta en el criterio que mayor ponderación recibe en la aplicación de método AHP (Calidad de cámaras y sensores) y, además, presenta puntuaciones altas-medias en el resto de los criterios importantes según la ponderación obtenida ("Alcance", "Operatividad en condiciones climatológicas adversas", "Autonomía" y "Facilidad de despegue y aterrizaje").

En conclusión, desde un punto de vista teórico, pero sustentado por un método de análisis multicriterio, el sistema Orbiter 3 se erige como el RPAS más adecuado para ser integrado en la estructura orgánica del GACTA I/4 de cara a mejorar sus capacidades en la tarea de localización de objetivos marítimos y corrección del tiro, mejorándose así la precisión, rapidez y alcance actuales.

PALABRAS CLAVE

Grupo de Artillería de Costa (GACTA I/4), Intelligence Surveillance Target Acquisition Reconnaissance (ISTAR), medios de observación, Analytic Hierarchy Process (AHP).



ABSTRACT

The Coastal Artillery (ACTA) is the branch of the Spanish Army specialized in coastal defense. Its main missions include the protection of strategic areas, ensuring maritime traffic security, and supporting other forces against sea-based threats. To this end, it is equipped with command and control systems, specialized weaponry, and capabilities for detecting, locating, and identifying targets. However, the increasing complexity of maritime surveillance and control missions has highlighted the need to equip these units with RPAS (Remotely Piloted Aircraft Systems) to enable the precise location of maritime targets and real-time fire correction, thereby improving accuracy and reducing response times.

In this context, the general objective of this study is to evaluate and identify the most suitable RPAS system for the detection of maritime targets and coastal artillery fire correction, taking into account the specific characteristics of GACTA I/4. To achieve this, a methodology was designed and structured in three phases: (i) to understand the doctrine, organization, and equipment of GACTA I/4; (ii) to analyze different RPAS systems for maritime target detection and coastal artillery fire correction; and (iii) to assess the advantages and limitations of each system in order to identify the most suitable one for GACTA I/4.

The study applied the Analytic Hierarchy Process (AHP) multicriteria analysis method. The application of this method relies on the accurate characterization of GACTA I/4, the appropriate selection of various RPAS systems, and the establishment of a qualified panel of experts to carry out well-founded and reliable evaluations. These evaluations were obtained through a questionnaire, and the results were carefully analyzed using specialized software, allowing for the calculation of the global priority vector for each proposed alternative and the inconsistency ratios (RI) that ensure the coherence and validity of the analysis.

The results of the study show that among the five RPAS evaluated (Searcher MK III, Atlantic I, Fulmar, Orbiter 3, and Scan Eagle), the Orbiter 3 system achieved the highest overall score based on all considered criteria. This is because the Orbiter 3 obtained the highest score in the criterion with the greatest weight in the AHP method (Quality of cameras and sensors) and also achieved medium-to-high scores in the other key criteria according to their weighting ("Range," "Operability under adverse weather conditions," "Autonomy," and "Ease of take-off and landing").

In conclusion, from a theoretical standpoint supported by a multicriteria analysis method, the Orbiter 3 system stands out as the most suitable RPAS to be integrated into the organizational structure of GACTA I/4, enhancing its capabilities in maritime target detection and artillery fire correction, thereby improving current precision, speed, and operational reach.

KEYWORDS

Coastal Artillery Group (GACTA I/4), Intelligence Surveillance Target Acquisition Reconnaissance (ISTAR), means of observation, Analytic Hierarchy Process (AHP).



INDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	I
RESUMEN.....	III
ABSTRACT	IV
INDICE DE CONTENIDO	V
INDICE DE FIGURAS.....	VII
INDICE DE TABLAS	VIII
ABREVIATURAS, SIGLAS Y ACRÓNIMOS	IX
DECLARACIÓN DE USO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL	XI
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA.....	3
2.1. OBJETIVOS Y ALCANCE	3
2.2. METODOLOGÍA	3
3. ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO.....	8
3.1. Sistema actual para localización de objetivos marítimos y corrección del tiro de artillería en el GACTA I/4.	8
3.2. La utilización de RPAS para la designación de objetivos y corrección de tiro.	8
4. DESARROLLO: ANÁLISIS Y RESULTADOS	11
4.1. Doctrina, orgánica y material en dotación del GACTA I/4.	11
4.2. Sistemas de RPAS para localización de objetivos marítimos y corrección del tiro de artillería de costa.	13
4.2.1. Searcher MK III	15
4.2.2. Atlantic I	17
4.2.3. Fulmar.....	18
4.2.4. Orbiter 3	19
4.2.5. Scan Eagle	20
4.3. Análisis de las ventajas y limitaciones de cada uno de los sistemas estudiados al objeto de identificar el idóneo para el GACTA I/4.	21
4.3.1. Definición del problema.	21
4.3.2. Estructuración del problema.	22
4.3.3. Determinación del grupo de expertos de los criterios y de cada una de las alternativas de los criterios.....	24
4.3.4. Obtención de la tabla de síntesis.	28
5. CONCLUSIONES	30
BIBLIOGRAFÍA.....	32
ANEXOS	34
ANEXO A CUESTIONARIO PARA EL DESARROLLO DEL MÉTODO AHP.	34



**ANEXO B CONFERENCIA EXPLICATIVA AL GRUPO DE EXPERTOS PREVIA A LA
COMPARACIÓN DE CRITERIOS Y ALTERNATIVAS..... 40**



INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ejemplo estructura jerárquica AHP. Fuente: Yepes, V. (2022)	6
Figura 2 Escala de Saaty. Fuente: Saaty, 2008.....	6
Figura 3 Matriz comparativa de criterios. Fuente: Elaboración propia.....	7
Figura 4 Organigrama de la estructura operativa del GACTA I/4. Fuente: Elaboración propia.	11
Figura 5 Searcher MK III. Fuente: INTA. (2013). Flight Manual SEARCHER MK III.....	16
Figura 6 Atlantic I. Fuente: Space, A. D. (2012). Atlantic I UAV Flight Manual.	17
Figura 7 Fulmar. Fuente: ASELSAN. (2014). Fulmar 500-A Airborne Maritime Surveillance Radar System.....	18
Figura 8 Orbiter 3, Fuente: Group, A. (2015). Orbiter 3 User Manual.	19
Figura 9 Scan Eagle. Fuente: Inc., I. (2013). Scan Eagle Unmanned Aircraft System Standard Operating Procedures.	20
Figura 10 Diagrama de las 2 primeras fases del método AHP. Fuente: Elaboración propia.	23



INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación de RPAS según OTAN. Fuente: Ejército de Tierra, MADOC (2016). PD4-301.....	15
Tabla 2 Características del Searcher MK III. Fuente: Elaboración propia.	16
Tabla 3 Características del Atlantic I. Fuente: Elaboración propia.	17
Tabla 4 Características del Fulmar. Fuente: Elaboración propia.	18
Tabla 5 Características del Orbiter 3. Fuente: Elaboración propia.	19
Tabla 6 Características del Scan Eagle. Fuente: Elaboración propia.	21
Tabla 7 Cuadro resumen de las características de las alternativas. Fuente: Elaboración propia.	23
Tabla 8 Matriz comparativa de criterios. Razón de inconsistencia (RI) = 0,098<0,10. Fuente: Elaboración propia.	24
Tabla 9 Matriz comparativa de alternativas en base al criterio "Autonomía". Razón de inconsistencia (RI) = 0,028<0,10. Fuente: Elaboración propia.	25
Tabla 10 Matriz comparativa de alternativas en base al criterio "Alcance". Razón de inconsistencia (RI) = 0,064<0,10. Fuente: Elaboración propia.	25
Tabla 11 Matriz comparativa de alternativas en base al criterio "Facilidad de despegue y aterrizaje". Razón de inconsistencia (RI) = 0,071<0,10. Fuente: Elaboración propia.	26
Tabla 12 Matriz comparativa de alternativas en base al criterio "Operatividad en condiciones climáticas adversas". Razón de inconsistencia (RI) = 0,060<0,10. Fuente: Elaboración propia.	26
Tabla 13 Matriz comparativa de alternativas en base al criterio "Personal necesario". Razón de inconsistencia (RI) = 0,068<0,10. Fuente: Elaboración propia.	27
Tabla 14 Matriz comparativa de alternativas en base al criterio "Calidad de cámaras y sensores". Razón de inconsistencia (RI) = 0,059<0,10. Fuente: Elaboración propia.	27
Tabla 15 Matriz comparativa de alternativas en base al criterio "Tiempo de puesta en servicio". Razón de inconsistencia (RI) = 0,075<0,10. Fuente: Elaboración propia.	28
Tabla 16 Matriz de decisión. Fuente: Elaboración propia.	29



ABREVIATURAS, SIGLAS Y ACRÓNIMOS

A2/AD	ANTI ACCES/AREA DENIAL
ACA	ARTILLERÍA DE CAMPAÑA
ACTA	ARTILLERÍA DE COSTA
AHP	ANALYTIC HIERARCHY PROCESS
AIS	AUTOMATIC IDENTIFICATION SYSTEM
BDA	BATTLE DAMAGE ASSESSMENT
BLIO	BATERÍA DE LOCALIZACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE OBJETIVOS
CAP	CAPITÁN
CCS	CENTRO DE COORDINACIÓN DE SALVAMENTO DE TARIFA
CDI	CENTRO DE IMPACTO
CDU	CONTROL DISPLAY UNIT
ET	EJÉRCITO DE TIERRA
FER	FASE DE EVALUACIÓN DE RESULTADOS
GACTA I/4	GRUPO DE ARTILLERÍA DE COSTA I/4
GAIL	GRUPO DE ARTILLERÍA DE INFORMACIÓN Y LOCALIZACIÓN
IAI	ISRAEL AIRCRAFT INDUSTRIES
IFF	IDENTIFICATION FRIEND OR FOE
IR	INFRARED RADIATION
ISTAR	INTELLIGENCE SURVEILLANCE TARGET ACQUISITION RECONNAISSANCE
MVSM	MANDO DE VIGILANCIA DE SEGURIDAD MARÍTIMA
OAV	OBSERVADOR AVANZADO
PASI	PLATAFORMA AÉREA SENSORIZADA DE INTELIGENCIA
POMO	PUESTO DE OBSERVACIÓN MÓVIL
POVIL	PUESTO MÓVIL DE OBSERVACIÓN Y VIGILANCIA
RACTA 4	REGIMIENTO DE ARTILLERÍA DE COSTA 4
RAE	RADAR DE EXPLORACIÓN
RI	RAZÓN DE INCONSISTENCIA
RMP	RECOGNIZED MARITIME PICTURE
RPAS	SISTEMA DE AERONAVES PILOTADAS REMOTAMENTE



Alejandro Pérez Verdugo

SCR	SISTEMAS DE CONTROL REMOTO
TFG	TRABAJO FIN DE GRADO
TV	TELEVISIÓN
UDACTA	UNIDAD DE DEFENSA DE ARTILLERÍA DE COSTA
WSM	WEIGHTED SUM MODEL
ZO	ZONA DE OPERACIONES



DECLARACIÓN DE USO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Se empleó un modelo de IA, Chat GPT 5.0, para realizar correcciones gramaticales y mejorar la claridad del lenguaje en el documento final del TFG. Los datos ingresados fueron exclusivamente partes del texto del trabajo, sin incluir información confidencial o personal, asegurando así la integridad de la información.





1. INTRODUCCIÓN

Los Sistemas de Aeronaves Pilotadas Remotamente (RPAS) han adquirido una gran importancia en los conflictos armados en la actualidad, hasta el punto de estar transformando completamente la naturaleza de la guerra moderna, así como las tácticas y estrategias empleadas por las fuerzas armadas (Özvural, 2020) (Rutte, 2025). Este cambio resulta evidente en la guerra entre Rusia y Ucrania, donde se ha constatado la eficacia de los RPAS tanto en misiones de reconocimiento como en operaciones ofensivas, destacando por su bajo coste operativo y su capacidad para neutralizar sistemas de armas considerablemente más costosos. En dicho conflicto, Ucrania ha demostrado que, pese a su inferioridad numérica, el uso masivo, descentralizado y flexible de RPAS puede equilibrar el desarrollo del conflicto frente a un adversario tecnológicamente superior (Allen & Bondar, 2025). Este fenómeno no constituye un caso aislado, sino una tendencia que se está extendiendo a otros escenarios bélicos, como se evidencia en el conflicto entre Israel y Hamás (Özdemir, 2024), donde el empleo intensivo de RPAS confirma la evolución de los enfrentamientos hacia sistemas más autónomos y tecnológicamente integrados.

Entre las ventajas más significativas de los RPAS en operaciones militares destaca la reducción del riesgo humano, la alta precisión en la designación y neutralización de objetivos y la capacidad de operar en entornos complejos o de alto riesgo. Esta última ventaja es de vital importancia en escenarios A2/AD (*Anti-Access/Area Denial*), donde el despliegue de tropas supondría un gran riesgo (Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2016). Además, la versatilidad de estos sistemas permite su configuración modular según la naturaleza de la misión, adaptando su carga útil a las necesidades operativas. Junto a los efectos físicos, no debe pasarse por alto el impacto psicológico que los RPAS generan sobre las tropas enemigas, al representar una amenaza persistente y difícil de contrarrestar, lo que limita la libertad de acción del adversario y actúa, por tanto, como un elemento de disuasión adicional (Khwaja, 2022).

Pese a sus numerosas ventajas, el empleo de RPAS presenta limitaciones operativas y tecnológicas derivadas de su carácter relativamente reciente. Entre los principales desafíos se encuentra la integración con otros sistemas de armas y plataformas de mando y control, lo que hace necesaria la implementación de herramientas específicas que permitan una coordinación eficaz y una interoperabilidad plena. Al tratarse de una tecnología en continua evolución, estos sistemas requieren actualizaciones, mejoras constantes para mantener su eficacia y tener protección ante ataques cibernéticos, lo que implica una inversión sostenida y un incremento progresivo del presupuesto destinado a su desarrollo y mantenimiento (Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2016).

En el ámbito nacional, la Artillería de Costa constituye el conjunto de unidades del Ejército de Tierra especialmente diseñadas, organizadas y equipadas para la defensa del litoral. Su misión principal es la protección de zonas e instalaciones de interés estratégico, la garantía de la seguridad del tráfico marítimo y el apoyo a las fuerzas terrestres y navales frente a amenazas procedentes del mar. Para ello, dispone de sistemas de mando y control, armamento de diversas características y sistemas de detección, localización e identificación de objetivos (Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2016).

En este contexto, la integración de RPAS en la Artillería de Costa se presenta como un elemento de gran valor añadido, al posibilitar la localización precisa de objetivos marítimos y la corrección en tiempo real del tiro de artillería. Potencias como Estados Unidos (Center for a New American Security, 2025) o Israel (Israel Aerospace Industries, 2023) ya han desarrollado capacidades similares, demostrando la eficacia de estos sistemas en la optimización de recursos, la mejora de la precisión y la reducción de los tiempos de respuesta. Su implantación supondría un avance cualitativo en la autonomía operativa y tecnológica de las Fuerzas Armadas españolas, disminuyendo la dependencia de terceros países y reforzando la capacidad de control y defensa del espacio marítimo nacional.



Conscientes de la importancia de este desarrollo, el Grupo de Artillería de Costa I/4 (GACTA I/4) ha manifestado la necesidad de identificar el sistema RPAS más adecuado para la detección de objetivos marítimos y la corrección del tiro, motivo que ha motivado la realización del presente Trabajo Fin de Grado (TFG). Así, el objetivo principal de este estudio es evaluar distintos sistemas RPAS aplicables a la localización de objetivos marítimos y a la corrección del fuego de artillería de costa con el fin de determinar el más idóneo para las particularidades operativas del GACTA I/4.

Para alcanzar este objetivo, la memoria se estructura de la siguiente manera:

- **Objetivos y metodología.** En esta sección se establecen el objetivo general y los objetivos específicos del trabajo, así como el alcance del estudio y la metodología diseñada para su desarrollo, detallando las fases y herramientas empleadas.
- **Antecedentes y marco teórico.** En este apartado se exponen los fundamentos conceptuales y antecedentes técnicos que contextualizan el problema objeto de estudio.
- **Desarrollo: análisis y resultados.** En esta parte se presentan los resultados obtenidos tras la aplicación de la metodología, estructurados en función de los objetivos específicos planteados.
- **Conclusiones.** En este apartado se recogen los principales hallazgos y aportaciones del trabajo, junto con posibles líneas de investigación futura.
- **Anexos.** Finalmente, se incluyen una serie de anexos que amplían los aspectos tratados en el cuerpo principal del TFG.



2. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

2.1. OBJETIVOS Y ALCANCE

El objetivo de este trabajo es evaluar e identificar el mejor sistema de RPAS para la localización de objetivos marítimos y corrección del tiro de artillería de costa teniendo en cuenta las particularidades del GACTA I/4. Para el cumplimiento de este objetivo general es necesaria la consecución de una serie de objetivos específicos que se exponen a continuación:

- Conocer la doctrina, la orgánica y el material en dotación del GACTA I/4.
- Conocer distintos sistemas de RPAS para localización de objetivos marítimos y corrección del tiro de artillería de costa.
- Analizar las ventajas y limitaciones de cada uno de los sistemas estudiados al objeto de identificar el idóneo para el GACTA I/4.

Es importante delimitar a quién va dirigido este estudio y hasta dónde va a llegar. Como ha quedado reflejado en la introducción, el empleo de RPAS es muy beneficioso para la localización de objetivos marítimos y corrección del tiro de artillería de costa, razón por la cual la unidad de destino de las PEXT, el GACTA I/4, solicitó la realización del presente trabajo. El GACTA I/4 se integra en el Regimiento de Artillería de Costa 4 (RACTA 4), que es el único que desempeña esta función de artillería de costa en el Ejército de Tierra (Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2016). Dado que este regimiento solo cuenta con el GACTA I/4 como grupo de artillería, este proyecto se circunscribe a la resolución de un problema específico, y el análisis y los resultados obtenidos no pueden considerarse directamente extrapolables a otros grupos de artillería, los cuales poseen misiones y requisitos operativos distintos.

Por otro lado, es relevante señalar que las limitaciones temporales y los recursos materiales y económicos disponibles impidieron desarrollar un enfoque práctico que permitiera la comparación exhaustiva de diferentes sistemas RPAS dentro del marco del estudio. Por consiguiente, se adoptó una aproximación teórica fundamentada en la utilización de una herramienta de análisis multicriterio reconocida y ampliamente empleada en la toma de decisiones, tanto en el ámbito académico como en la gestión pública y privada: el Proceso Analítico Jerárquico (*Analytic Hierarchy Process*, AHP). La aplicación de esta metodología se sustenta en la adecuada resolución de los dos primeros objetivos específicos del presente TFG, así como en la selección de un panel de expertos idóneo, capaz de aportar evaluaciones fundamentadas y fiables para el análisis comparativo de los sistemas RPAS.

2.2. METODOLOGÍA

La metodología planteada para la consecución del objetivo principal se articula en tres fases, que están íntimamente ligadas con los objetivos específicos planteados:

- **Fase 1. Conocimiento de la doctrina, la orgánica y el material en dotación GACTA I/4.** Este conocimiento se basa en la utilización de dos fuentes de información: (i) los manuales de adiestramiento y doctrina, Normas Operativas del Regimiento de Artillería de Costa nº 4 e Instrucciones Particulares relativos a la artillería de costa; y (ii) la experiencia previa de los efectivos destinados en el GACTA I/4.
- **Fase 2. Conocimiento de distintos sistemas de RPAS para localización de objetivos marítimos y corrección del tiro de artillería de costa.** Esta fase se fundamenta también en dos fuentes de información: (i) búsqueda en fuentes restringidas y abiertas (biblioteca virtual del Ministerio de Defensa, manuales técnicos, empresas productoras de los materiales e Internet) y (ii) el conocimiento previo del personal que presta servicio en el RACTA 4 y en otras UCO's que han trabajado con RPAS.
- **Fase 3. Análisis de las ventajas y limitaciones de cada uno de los sistemas**



estudiados al objeto de identificar el idóneo para el GACTA I/4. Este análisis se fundamentará en los resultados obtenidos en los puntos anteriores. La herramienta utilizada para determinar qué sistema de armas es el idóneo será el AHP.

A continuación, se citan y describen las herramientas utilizadas a lo largo de la metodología que se acaba de describir:

- **Consulta de bibliografía e informes especializados.** La bibliografía (incluyendo dentro de este término Normas Operativas del Regimiento e Instrucciones Particulares) e informes especializados se ha utilizado para identificar y analizar las características específicas que necesita un RPAS para poder localizar los objetivos marítimos y la corrección del tiro de artillería de costa. Además, se ha utilizado para conocer y saber aplicar correctamente el método AHP.
- **Obtención de información complementaria.** Para complementar y profundizar en la información obtenida en la bibliografía e informes se mantuvieron contactos específicos con empresas civiles, como AERTEC Solutions o Airbus Defence and Space (Airbus DS) y con efectivos destinados en el GAIL II/63 y, especialmente, en el GACTA I/4. En este aspecto destacan las aportaciones del teniente D. Roberto Brioso Cortés, jefe de la Sección de Piezas de la 1º Batería del RACTA 4, del Capitán D. José Antonio Llerena Torrejón, jefe de la 1º Batería del RACTA 4, y el director militar (DIRMIL) de este TFG, el Capitán D. Rafael Martínez Valverde Nuche.
- **Encuestas.** Una encuesta es una técnica de recogida de datos cuantitativos, donde se recopilan de forma estructurada las respuestas de una muestra representativa, mediante un cuestionario estandarizado y diseñado para explorar variables específicas, consiguiendo así describir tendencias, actitudes u opiniones dentro de una población (Creswell, 2013).

Esta herramienta se utilizó dentro de la aplicación del método AHP que se explicará a continuación. En concreto, se utilizó en la fase comparativa de criterios y alternativas propuestas con el propósito de conocer el punto de vista de los encuestados.

Para la elección del grupo de expertos, es decir, los encuestados, se excluyó a la tropa debido a que se requería una visión global, algo que solo los oficiales y suboficiales son capaces de conseguir, gracias a su formación y ejecución de tareas de planeamiento. Además, se tuvo en cuenta que estos encuestados tuviesen varios años de experiencia con la artillería de costa. Así, el grupo de expertos se conformó principalmente por siete miembros del GACTA I/4: el teniente coronel jefe y seis jefes de batería (dos capitanes y cuatro tenientes).

Previamente a la distribución del cuestionario, se impartió una conferencia informativa en la que se explicaban los criterios de decisión, las alternativas propuestas, el objetivo del TFG, el método AHP y el procedimiento para rellenar correctamente las encuestas. Una vez finalizada la conferencia informativa, se distribuyeron las encuestas al grupo de expertos en formato físico, y estos la rellenaron, para posteriormente recoger estos datos necesarios para el estudio.

El modelo de la encuesta, recogido en el Anexo A, se basa en la utilizada en el Máster Universitario en Formación del Profesorado de Educación Secundaria de la Universidad Internacional de la Rioja (Montés-Martínez, 2016). Como se puede observar, la encuesta recogida en el Anexo A se divide en 3 partes:

- Primera parte: donde se explican los criterios de decisión y las posibles alternativas para solventar el problema.
- Segunda parte: se muestran unas tablas con características de cada tipo de RPAS según los criterios elegidos.
- Tercera parte: se muestran tablas de comparación al encuestado, que debe



rellenar, para así evaluar las alternativas según el criterio elegido.

- **Analytic Hierarchy Process (AHP).** El Proceso Analítico Jerárquico constituye un método de apoyo multicriterio para la toma de decisiones, que permite descomponer un problema complejo en diferentes niveles jerárquicos, facilitando así su análisis estructurado y la priorización de alternativas. Este enfoque fue desarrollado por Thomas L. Saaty (1980) como una herramienta capaz de evaluar decisiones que incorporan tanto criterios objetivos como subjetivos, mediante comparaciones sistemáticas entre los elementos implicados

El principio fundamental del AHP radica en que cualquier problema de decisión puede representarse como una jerarquía compuesta por distintos niveles. En el nivel superior se sitúa el objetivo general del análisis, en los niveles intermedios se ubican los criterios y subcriterios que influyen en la decisión, y en el nivel inferior se encuentran las alternativas a evaluar. Esta estructuración facilita la comprensión del problema, al dividirlo en componentes más manejables y coherentes desde el punto de vista lógico y analítico. Para su ejecución, se distinguen las siguientes fases (Saaty, 2008):

1. Definición de la estructura jerárquica del problema, descomponiéndolo en su objetivo principal, los criterios y subcriterios de decisión, y las alternativas a considerar.
2. Emisión de juicios comparativos por pares, tanto entre criterios como entre alternativas, utilizando la escala fundamental de Saaty, con el fin de determinar la importancia relativa de cada elemento.
3. Cálculo de los pesos o prioridades, a partir de las matrices de comparación, para establecer la influencia de cada criterio o alternativa dentro de su nivel jerárquico.
4. Síntesis global de resultados, integrando los pesos obtenidos para determinar la alternativa óptima de acuerdo con las prioridades globales.

Antes de analizar en detalle cada fase, resulta pertinente destacar que la principal ventaja del AHP frente a otros métodos multicriterio, como pueden ser el *Weighted Sum Model* (WSM) (Zelei, 2021) o el método de *Scoring* (Arcidiacono & al., 2023), es su capacidad para efectuar comparaciones por pares. Mientras que en los modelos tradicionales los pesos se asignan de manera directa, el AHP obtiene sus ponderaciones a partir de evaluaciones recíprocas entre los elementos, lo que aporta mayor rigor, consistencia y fiabilidad analítica. Por tanto, se considera una herramienta particularmente eficaz en procesos de decisión caracterizados por su complejidad y alto grado de incertidumbre.

La primera y segunda fase, conceptualmente sencillas, resultan determinantes para la validez del análisis, ya que condicionan los resultados de las fases posteriores. Consisten en identificar con precisión el problema, definir los criterios de decisión y establecer las alternativas, que, posteriormente serán objeto de evaluación. Una delimitación insuficiente del problema puede conducir a resultados ambiguos o inconsistentes, por lo que es esencial formular un esquema jerárquico claro y bien acotado.

Los criterios de decisión se utilizan para valorar las alternativas y, debido a su complejidad, pueden subdividirse en subcriterios. Por ejemplo, al adquirir una cámara fotográfica, el criterio “calidad de imagen” puede desglosarse en subcriterios como “resolución”, “comportamiento con baja luminosidad” o “fidelidad cromática”. Los valores asignados a los subcriterios son determinados por expertos mediante comparaciones por pares dentro del nivel correspondiente. La identificación de criterios y alternativas suele realizarse a través de técnicas de generación de ideas (*brainstorming*), estableciendo prioridades y descartando los elementos menos relevantes.

La Figura 1 muestra un ejemplo esquemático de la estructura jerárquica generada



mediante el método AHP. A medida que se incrementa el número de subdivisiones, el modelo adquiere una mayor complejidad analítica.

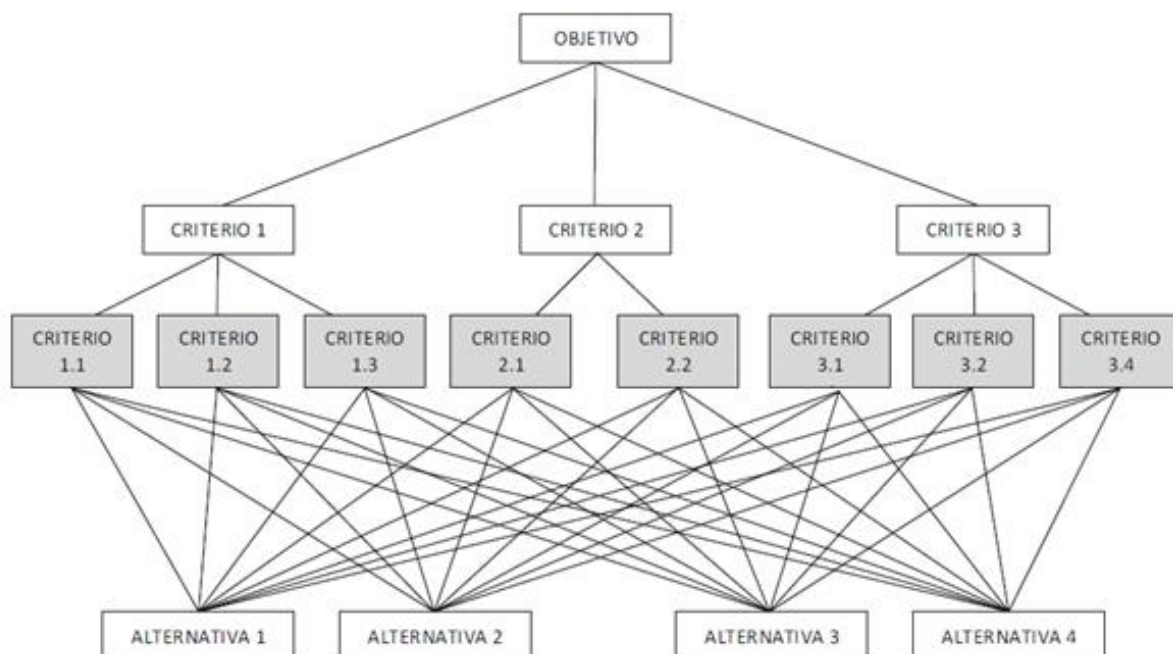


Figura 1 Ejemplo estructura jerárquica AHP. Fuente: Yepes, V. (2022)

En la tercera fase se realizan comparaciones binarias entre los criterios y entre las alternativas, aplicando la escala fundamental de Saaty (Figura 2), que asigna valores del 1 al 9 en función del grado de importancia relativa entre los elementos evaluados.

Escala de Saaty		Escala recíproca de Saaty	
1	Igual importancia entre ambos elementos	1	Igual importancia entre ambos elementos
3	Débil importancia de un elemento sobre otro	1/3	Débilmente menos importante un elemento sobre otro
5	Moderada importancia de un elemento sobre otro	1/5	Menos importancia de un elemento sobre otro
7	Fuerte importancia de un elemento sobre otro	1/7	Mucho menos importancia de un elemento sobre otro
9	Importancia absoluta de un elemento sobre otro	1/9	Absolutamente menos importante un elemento sobre otro
2, 4, 6, 8	Valores intermedios	1/2, 1/4, 1/6, 1/8	Valores intermedios

Figura 2 Escala de Saaty. Fuente: Saaty, 2008.



Las comparaciones se presentan en matrices cuadradas, de las cuales se derivan los pesos relativos para cada criterio y alternativa. La primera de estas matrices corresponde a la comparación de criterios, de dónde se obtiene el vector de pesos de cada uno de ellos (Figura 3).

CRITERIOS	A	B	C
A	1	1/7	3
B	7	1	1/9
C	1/3	9	1

Figura 3 Matriz comparativa de criterios. Fuente: Elaboración propia.

Una de las características más notables del AHP es su capacidad para evaluar la coherencia interna de los juicios comparativos. Este control se basa en dos propiedades fundamentales:

- Transitividad: si A es preferible a B y B a C, entonces A debe ser preferible a C.
- Proporcionalidad: si A es cinco veces más importante que B, y B seis veces más importante que C, entonces A debería ser treinta veces más importante que C.

El grado de coherencia se mide mediante el índice o razón de inconsistencia (RI), que debe ser inferior al 10 % para que los resultados se consideren válidos. Valores superiores indicarían juicios incoherentes, lo que obliga a revisar las comparaciones iniciales para garantizar la fiabilidad del análisis.

En la cuarta y última fase, se agregan los juicios de los expertos y se calculan los pesos finales de criterios y alternativas, empleando la media geométrica para combinar los valores individuales.

Si el coeficiente de coherencia obtenido es inferior al umbral del 10 %, se procede al cálculo de los vectores de prioridad, normalizando las matrices de comparación.

El vector de prioridad de las alternativas se representa como una columna, mientras que el de los criterios se expresa como una fila. Su producto matricial genera el vector de prioridades globales, que permite determinar la alternativa más adecuada.

Habitualmente, este procedimiento se implementa de forma automatizada mediante software especializado, que calcula los pesos y coeficientes de coherencia de forma directa. En este trabajo, el método AHP se ha materializado utilizando una aplicación desarrollada por la Academia de Logística del Ejército de Tierra, la cual fue proporcionada por el coronel D. Carlos Ruiz, profesor de Logística del Centro Universitario de la Defensa, adscrito al Grado en Ingeniería de Organización Industrial. Esta herramienta permite el cálculo automático de las ponderaciones y de los índices de consistencia de cada una de las matrices generadas, garantizando así la precisión y trazabilidad del proceso.



3. ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO

3.1. Sistema actual para localización de objetivos marítimos y corrección del tiro de artillería en el GACTA I/4.

Los sistemas de localización, identificación y dirección de tiro constituyen la infraestructura esencial para la ejecución de operaciones de vigilancia y control sobre zonas marítimas sometidas a protección. Estos sistemas permiten generar y mantener una Imagen Reconocida del Tráfico Marítimo (RMP: *Recognized Maritime Picture*), aportando la conciencia situacional necesaria para la planificación y conducción del fuego naval y de costa, así como para la toma de decisiones en misiones de seguridad marítima.

El Estrecho de Gibraltar representa un área de interés estratégico prioritaria para la vigilancia marítima, dado el elevado tránsito y la incidencia de actividades ilícitas en sus aguas. Por este motivo, el RACTA 4, tiene su ubicación en San Fernando, desde donde puede efectuar las misiones de vigilancia y control marítimo asignadas con eficacia operativa y cobertura geográfica adecuada y dar las instrucciones precisas a su único grupo de artillería el GACTA I/4 (Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2016).

La RMP obtenida a partir de los medios propios suele complementarse con aportes procedentes de organismos civiles y militares, con el objetivo de ampliar el sector de exploración y mejorar la calidad de la información. Entre las entidades que refuerzan y alimentan la RMP destacan el Mando de Vigilancia y Seguridad Marítima (MVSM) y el Centro de Coordinación de Salvamento de Tarifa (CCS), ambos actores relevantes en la notificación y seguimiento del tráfico de embarcaciones.

Asimismo, la información instrumental se integra frecuentemente con fuentes de origen civil como plataformas de seguimiento y sistemas automáticos de transmisión de datos. Entre estas herramientas cabe mencionar aplicaciones comerciales de seguimiento de buques (por ejemplo, *MarineTraffic*) y el Sistema de Identificación Automática (*Automatic Identification System*, AIS), que centraliza el registro e identificación de unidades marítimas y proporciona posiciones en tiempo real, facilitando la correlación y fusión de sensores en la RMP.

Es preciso subrayar la diferencia entre estructura orgánica y estructura operativa: la primera define los recursos orgánicos del RACTA 4, mientras que la segunda describe la capacidad efectiva desplegable para cumplir misiones. Debido a limitaciones en los medios orgánicos, el RACTA 4 realiza sus cometidos de Artillería de Costa (ACTA) mediante las Unidades de Defensa de Artillería de Costa (UDACTAs), donde se integran y despliegan los diferentes sistemas y recursos necesarios, garantizando así una capacidad operativa acorde con los requerimientos tácticos.

Dentro de la UDACTA generada, pueden llegar a existir hasta cuatro sistemas destinados a la localización, identificación y corrección del fuego que son empleados por el GACTA I/4:

- Radar de exploración (RAE)
- Puesto de observación móvil (POMO)
- Dirección de Tiro STD 9KA-410
- Puesto móvil de observación y vigilancia (POVIL)

La descripción técnica y doctrinal de estos sistemas se desarrolla en el apartado 4.1. “Doctrina, orgánica y material en dotación del GACTA I/4”.

3.2. La utilización de RPAS para la designación de objetivos y corrección de tiro.



Los sistemas RPAS pueden integrarse tanto en artillería de campaña, donde sustituirían el papel del Observador Avanzado (OAV), como en artillería de costa, donde su empleo permite relevar o complementar a sensores convencionales (radares de detección de superficie) y a sistemas de dirección de tiro como el STD 9KA-410. La adopción de RPAS modifica y centraliza varios cometidos clave del ciclo de fuego (Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2016), entre los que destacan:

- Identificación y designación de objetivos.
- Corrección del tiro.
- Evaluación de daños mediante la BDA.

Para garantizar el cumplimiento de estas funciones, cualquier plataforma RPAS destinada a misiones de observación y corrección de fuego debe incorporar una serie de capacidades mínimas:

- Cámaras y sensores
- Telémetro de alta precisión.
- Sistemas de posicionamiento global integrados.
- Enlace de datos seguro y en tiempo real

La eficacia del fuego de artillería depende de su precisión, potencia y profundidad de efectos operativos; sin embargo, factores dinámicos, como pueden ser las variaciones meteorológicas de última hora, imprecisiones en los cálculos de tiro o cambios imprevisibles en la conducta del objetivo, pueden degradar el rendimiento esperado. Por ello, resulta imprescindible disponer de información del objetivo con la mayor exactitud posible y de canales de transmisión que reduzcan al mínimo el tiempo entre observación y corrección. Además, las trayectorias balísticas se ven afectadas por fenómenos ambientales y de aerodinámica interna, por lo que la observación directa del punto de impacto y la aplicación rápida de correcciones son determinantes para alcanzar el efecto requerido (Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2011).

La corrección del fuego se basa en desplazar el Centro de Impacto (CDI) hasta la localización del objetivo mediante la modificación iterativa de los parámetros de tiro. Si la primera corrección no consigue alinear el CDI con el blanco, se repite el ciclo de observación y ajuste hasta alcanzar la precisión deseada.

Existen diversos métodos de corrección en artillería:

- Por coordenadas cartesianas
- Por coordenadas polares respecto al observador.
- Por incrementos del objetivo respecto al observador.

En la práctica operativa actual con RPAS, el método predominante es la corrección por coordenadas cartesianas en formato UTM: el RPAS transmite las coordenadas georreferenciadas del objetivo y, posteriormente, las del punto de caída para proceder a la corrección. El empleo de este método exige sincronización temporal precisa y sistemas de referencia comunes entre la plataforma aérea y la dirección de tiro.

Operacionalmente, la observación mediante RPAS se planifica mediante rutas compuestas por *waypoints*, que consideran la zona de seguridad asociada al tiro y la altitud mínima de vuelo para preservar la integridad de la aeronave. Las misiones ISTAR (*Intelligence, Surveillance, Target Acquisition, Reconnaissance*) constituyen el perfil operativo más adecuado para estas tareas, ya que engloban la obtención y transmisión de datos necesarios para la adquisición y seguimiento de blancos, la corrección de fuego y la BDA.



A partir de la encuesta realizada durante las prácticas externas con personal especializado en ACTA (Anexo A: Cuestionario para el desarrollo del método AHP), se han identificado las características operativas exigibles a las plataformas RPAS empleadas en misiones de observación y corrección de tiro:

- Autonomía: mínimo de cuatro horas.
- Alcance: mínimo cincuenta kilómetros.
- Facilidad de despegue y aterrizaje.
- Operatividad en condiciones climáticas adversas.
- Mínimo Personal necesario.
- Calidad de cámaras y sensores.
- Tiempo de puesta en servicio: máximo de quince minutos.

Así pues, el cumplimiento de estas capacidades operativas es imprescindible para que un RPAS pueda ser considerado como adecuado para la localización de objetivos marítimos y la corrección de tiro de artillería de costa.



4. DESARROLLO: ANÁLISIS Y RESULTADOS

4.1. Doctrina, orgánica y material en dotación del GACTA I/4.

Como se ha mencionado anteriormente en el apartado de la introducción, la Artillería de Costa constituye el conjunto de unidades del Ejército de Tierra especialmente diseñadas, organizadas y equipadas para la defensa del litoral. La misión principal de la Artillería de Costa es la protección de zonas e instalaciones de interés estratégico, la garantía de la seguridad del tráfico marítimo y el apoyo a las fuerzas terrestres y navales frente a amenazas procedentes del mar (Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2016). Para ello, dispone de sistemas de mando y control, armamento de diversas características y sistemas de detección, localización e identificación de objetivos.

El RACTA 4, y, por tanto, el GACTA I/4, no dispone orgánicamente de medios RPAS, aunque los utiliza en todas sus maniobras y períodos de instrucción al integrarlos para conformar la UDACTA. Según se desprende de los informes FER (que evalúan dichos ejercicios), esta necesidad operativa se solventa con la integración de otra unidad. Habitualmente, esto se consigue mediante la incorporación de personal y equipamiento del GAIL. La figura 4 muestra como es la integración de esta unidad en la estructura operativa del GACTA I/4.

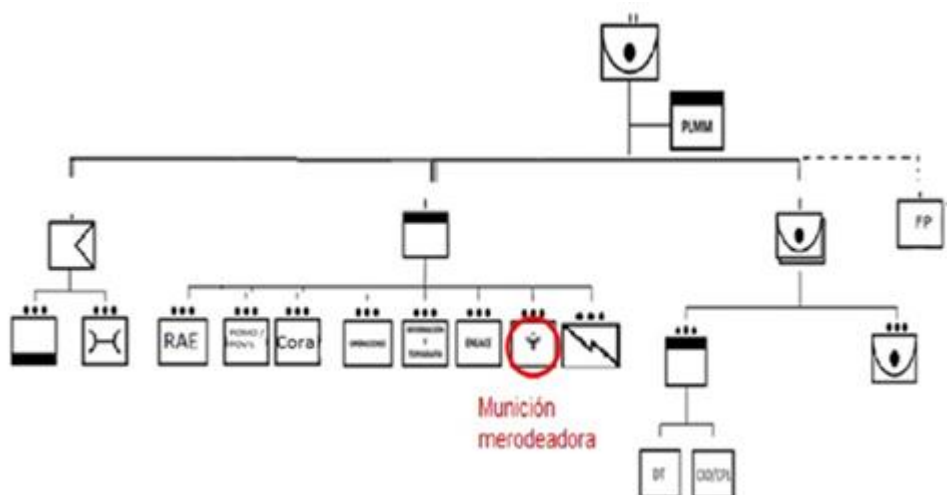


Figura 4 Organigrama de la estructura operativa del GACTA I/4. Fuente: Elaboración propia.

Como se ha mencionado en el apartado 3.1, los medios utilizados en la UDACTA para la localización, identificación y corrección del fuego son cuatro: el Radar de exploración (RAE), el Puesto de observación móvil (POMO), la Dirección de Tiro STD 9KA-410 y el Puesto móvil de observación y vigilancia (POVIL). A continuación, se explican los cometidos y las características básicas de cada uno de ellos:

1. Radar de exploración (RAE). El RAE constituye un sensor del sistema ACTA que opera mediante tecnología radar para la detección de embarcaciones en la zona marítima asignada, utilizando energía electromagnética. Este sistema presenta un alcance mínimo de 180 metros y máximo de 180 kilómetros, y está montado sobre un camión-cabina que le proporciona movilidad estratégica, pudiendo ser helitransportado en caso de requerirse despliegues expeditos (Ruiz Martín, 2017). Asimismo, dispone de autonomía operativa gracias a un grupo electrógeno incorporado.

El cometido principal del RAE consiste en la vigilancia marítima y la generación de la RMP, representando sobre carta náutica la posición geográfica, rumbo y velocidad de cada embarcación detectada. La información obtenida se transmite en tiempo real al Centro de Operaciones, permitiendo la coordinación de las acciones posteriores. El RAE se encuentra



encuadrado en la batería de localización e identificación de objetivos (BLIO) del regimiento de artillería de costa.

2. Puesto de observación móvil (POMO). El POMO es un sensor de carácter modular que integra dos cámaras, una de televisión (TV) y otra térmica (IR), para la detección e identificación de embarcaciones en su zona de acción. Su alcance máximo teórico es de 40 km, aunque en condiciones operativas habituales se considera efectivo hasta 25 km. Al igual que el RAE, se monta sobre un camión-cabina y puede ser helitransportado, encontrándose ambos sistemas contenidos en un shelter modular (Ruiz Martín, 2017).

El POMO tiene como función principal proporcionar imágenes de las trazas detectadas, facilitando su identificación en tiempo real (Díaz Miranda, 2016). Operativamente, el RAE detecta la traza y la remite al Centro de Operaciones, que a su vez instruye al POMO para su visualización y confirmación de identificación. El POMO, al igual que el RAE, se encuentra encuadrado en la batería de localización e identificación de objetivos (BLIO) del regimiento de artillería de costa.

3. Dirección de Tiro STD 9KA-410. La Dirección de Tiro STD 9KA-410 es el sistema responsable de permitir que las piezas de artillería mantengan el apuntado continuo sobre objetivos en movimiento. Este sistema transforma los datos relativos a distancia, rumbo, orientación y velocidad del objetivo en información de tiro interpretable por la Unidad de Control y Visualización (CDU) de cada pieza, posibilitando acciones de fuego precisas y eficaces.

El STD 9KA-410 está compuesto por diversos elementos: un radar de exploración, un calculador de piezas, dos consolas de seguimiento radar, un calculador principal y un sistema optrónico que incluye cámara TV, IR y telémetro láser con su propia consola de seguimiento. El radar de exploración alcanza hasta 52 km, mientras que el sistema optrónico llega a 40 km. Entre sus limitaciones destacan la incapacidad de seguir más de dos trazas simultáneamente y un error probable de 20 metros sobre un objetivo situado a 8 km.

4. Puesto móvil de observación y vigilancia (POVIL). El POVIL es un sensor que integra una cámara CORAL, destinada a misiones de vigilancia y exploración en la zona asignada. Sus funciones son equivalentes a las del POMO, aunque ofrece información de mayor calidad y alcance, gracias a las capacidades superiores de su sistema de imagen.

En cuanto al cometido del GAIL, es necesario reseñar que este grupo trabaja a un nivel operacional y táctico y realiza cometidos y funciones ISTAR que, mayoritariamente, en relación con la artillería, se identifican con el reconocimiento y el levantamiento de objetivos, además de evaluar la efectividad de las acciones de fuego en profundidad (Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2016). Estas funciones son muy necesarias a la hora de realizar acciones de fuego, aunque actualmente en la artillería de costa se puede realizar mediante el POMO, el POVIL, el RAE, la dirección de tiro STD 9KA-410 o mediante la cámara optrónica, que realizan tanto levantamiento de objetivos como corrección de la acción de fuego. Sin embargo, se manifiestan varios problemas. El primero y más relevante, resulta la peligrosidad para el personal si se realizan acciones de fuego en profundidad, debido a que tienen que estar lo suficientemente cerca como para poder visualizarlo. El segundo en importancia se manifiesta en el momento de realizar una acción de fuego, ya que se utiliza la cámara optrónica para aplicar correcciones o confirmar los efectos provocados en el objetivo. Por lo tanto, tiene que haber visión directa desde la cámara optrónica hasta el objetivo, siendo así imposible de realizar este cometido si las condiciones climatológicas no lo permiten.

Además se prevé que si se siguen obteniendo obuses con mayor calibre, o munición con la posibilidad de disparar más lejos, surge otro gran inconveniente si no se incorporan medios RPAS, debido a que la artillería de costa sigue el siguiente modelo de funcionamiento: en primer lugar, la dirección de tiro STD 9KA-410 o la cámara optrónica detectan al objetivo y realizan el levantamiento del objetivo; en segundo lugar, se le envían los datos de tiro a los obuses 155/52 y se realiza la acción de fuego; por último, en tercer lugar, la dirección de tiro STD 9KA-410 o la cámara optrónica visualiza la acción de fuego e informa de las correcciones que hay que realizar



a la acción de fuego, y los efectos conseguidos con esta. Todo esto se puede llegar a conseguir sin medios RPAS, debido a que, actualmente el alcance de la dirección de tiro STD 9KA-410 es de 52 kilómetros aproximadamente, y el de la cámara optrónica es de 20 kilómetros, siendo similar el alcance del obús 155/52 que es el que se utiliza actualmente en el RACTA 4, aunque esta situación sería muy diferente si el obús poseyera mayor alcance y tuviese que batir un objetivo a mayor alcance del que se puede alcanzar actualmente, debido a que no se podría realizar correctamente las correcciones, ni la evaluación de daños de combate (BDA: *Battle Damage Assessment*) (Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2011). Por lo tanto, es evidente que sería necesario y recomendable la incorporación de medios RPAS propios a el RACTA 4, para así no tener que depender de ninguna integración de otra unidad, debido a los motivos expuestos anteriormente.

En consecuencia, podemos observar que todas estas desventajas pueden ser solventadas mediante el uso de sistemas de RPAS. Pese a esta solución evidente, actualmente no existen medios ni personal relacionado con los RPAS en la Artillería de Costa. Este problema de falta de medios y personal se solventa actualmente mediante las integraciones, es decir, cuando se conforma una UDACTA, se le agregan los medios necesarios de otras unidades. Sin embargo, esto es una deficiencia, al obligar el movimiento del personal y material principalmente desde el GAIL, que cuesta tanto dinero como tiempo. Además, este personal y medios pueden estar ya implicados en otra actividad o con otra unidad realizando otros cometidos, inhabilitando la posibilidad del uso de RPAS en la Artillería de Costa. Este problema, evidencia la necesidad tanto de recursos y personal instruido, especialmente en el ámbito RPAS, en las unidades de Artillería de Costa.

4.2. Sistemas de RPAS para localización de objetivos marítimos y corrección del tiro de artillería de costa.

Tal y como se había señalado al final del subapartado 3.2., el grupo de expertos del RACTA 4 seleccionado para el análisis AHP determinó unas capacidades operativas mínimas para que un sistema RPAS pueda ser considerado como adecuado para la localización de objetivos marítimos y la corrección de tiro de artillería de costa (Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2016). A continuación, se recogen esos criterios y se explica el motivo por el que han sido escogidos:

- **Autonomía.** La autonomía constituye un criterio fundamental en la evaluación de un RPAS, ya que determina el tiempo que la aeronave puede permanecer en vuelo sin necesidad de reabastecimiento o sustitución de baterías o combustible. Una mayor autonomía permite prolongar las misiones de reconocimiento, vigilancia o adquisición de objetivos, reduciendo la necesidad de relevos y aumentando la continuidad de la información obtenida. En el ámbito táctico, esto se traduce en una mayor capacidad de observación persistente y en una mejora de la eficiencia operativa de las unidades que lo emplean.
- **Alcance.** El alcance operativo del RPAS define la distancia máxima a la que puede operar respecto a su estación de control, manteniendo un enlace de datos estable y seguro. Este parámetro es esencial en misiones ISTAR (*Intelligence, Surveillance, Target Acquisition and Reconnaissance*), donde la distancia entre el operador y la zona de interés puede ser considerable. Un mayor alcance permite cubrir áreas más extensas, realizar reconocimientos en profundidad y mantener la seguridad de las unidades al operar desde posiciones más alejadas del frente o de posibles amenazas. Cabe destacar que, como se ha mencionado anteriormente, se necesita un mayor alcance a los sistemas de localización y corrección actuales en ACTA, de tal manera que un sistema RPAS que no supere el alcance que ya se obtiene por los medios actuales, debe ser considerado como no útil.



- **Facilidad de despegue y aterrizaje.** La simplicidad y adaptabilidad de los sistemas de despegue y aterrizaje son determinantes para la operatividad del RPAS, especialmente en entornos donde la infraestructura es limitada o inexistente. Sistemas como lanzaderas, redes o paracaídas de recuperación proporcionan una gran flexibilidad táctica, al permitir el despliegue desde plataformas terrestres o navales. Cuanto más autónomo y sencillo sea el proceso de lanzamiento y recuperación, menor será la dependencia de personal y medios auxiliares, lo que incrementa la rapidez de reacción y la capacidad de operar en diferentes escenarios.
- **Operatividad en condiciones climáticas adversas.** La capacidad del RPAS para mantener su rendimiento en condiciones meteorológicas desfavorables (viento fuerte, lluvia, niebla o tormentas de arena) es un factor decisivo en su evaluación. Dado que las operaciones militares no siempre pueden planificarse en entornos óptimos, la robustez del sistema ante estas condiciones garantiza la continuidad de las misiones y reduce el riesgo de pérdida o daño del equipo. Un RPAS que mantenga la estabilidad y fiabilidad de sus sensores en condiciones adversas proporciona una ventaja operativa significativa.
- **Personal necesario.** El número de operadores y personal de apoyo requerido para el manejo y mantenimiento del sistema influye directamente en la eficiencia logística y en la rapidez de despliegue. Los sistemas que requieren menos personal resultan más ágiles y económicos, facilitando su integración en unidades con recursos humanos limitados. Además, una menor dotación operativa permite una reducción del riesgo humano y una mayor capacidad de movilidad táctica, lo que resulta especialmente relevante en operaciones de carácter expedicionario o en despliegues rápidos.
- **Calidad de cámaras y sensores.** La calidad y variedad de los sensores embarcados, como pueden ser las cámaras electroópticas, infrarrojas, telémetros láser o radares de apertura sintética (SAR), son los que determinan la eficacia del RPAS en misiones de observación, adquisición de objetivos y evaluación de daños. Un sistema con alta resolución y capacidad de visión diurna y nocturna proporciona información más precisa y detallada, facilitando la toma de decisiones a los mandos. Por tanto, este criterio incide directamente en la calidad del producto ISTAR generado por la plataforma.
- **Tiempo de puesta en servicio.** El tiempo requerido desde la preparación del sistema hasta su entrada en operación es un indicador clave de la capacidad de reacción del RPAS. En entornos tácticos, la rapidez con la que puede ponerse en vuelo resulta crítica para responder a amenazas emergentes o para aprovechar ventanas temporales de observación. Un tiempo de puesta en servicio reducido contribuye a una mayor agilidad operativa y a una mejor sincronización con el resto de los medios de la unidad.

Todos los sistemas escogidos en el estudio cuentan con estas características y requerimientos mínimos (ver apartado 4.2).

Además, otros dos criterios que se tuvieron en cuenta fueron la clasificación de los RPAS que hace la OTAN (Tabla 1) y el tipo de misión que pueden realizar (misiones de apoyo o ISTAR).

Desde el punto de vista de la clasificación de la OTAN (Tabla 1), se descartó la clase III debido a que dentro de esta categoría se encuentran los RPAS pensados para poder utilizar armamento, cuestión está que está fuera del objetivo de este trabajo. Por tanto, se escoge la clase I y la clase II dado que están pensados principalmente para desempeñar misiones ISTAR. Sin embargo, es necesario reseñar que no se consideraron los tipos Micro y Mini de la clase I dado que su alcance es inferior a cincuenta kilómetros y, por ello, no llegarían a mejorar el alcance que tienen los medios actuales en artillería de costa. De tal forma, se concluye que el estudio va a buscar sistemas de RPAS que sean de clase I tipo Small y la clase II al completo, además van a desempeñar misiones de tipo ISTAR. A continuación, mostramos los sistemas escogidos para el estudio.



Teniendo en cuenta el criterio del tipo de misión, se diferencian dos tipos de RPAS (Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2016): (i) los de apoyo, que se utilizan en misiones en las que se requiera de armamento o municiones específicas; o (ii) ISTAR, que se emplean para la obtención de información, es decir, para el reconocimiento, levantamiento de objetivos, y evaluar la efectividad de las acciones de fuego en profundidad. Lógicamente, los que están alineados con el objetivo del TFG son los que realizan misiones ISTAR. Es de reseñar que el GAIL está acostumbrado a trabajar con RPAS que realicen este tipo de misión, por lo que no sería necesario realizar una nueva instrucción en el GACTA I/V, sino asignar a su orgánica efectivos formados en el GAIL.

Tabla 1 Clasificación de RPAS según OTAN. Fuente: Ejército de Tierra, MADOC (2016). PD4-301

Tipo de tarjeta operador (DUO)	Clasificación por peso máximo al despegue (MTOW)	Techo aproximado de vuelo sobre el terreno (AGL)	Categoría (Clasificación OTAN) y acrónimo	Ejemplo de aeronave (RPA)	Tipo de empleo	Radio normal de misión
Tipo II	Clase III >600 kg Pesado	65.000 ft / 20.000 m	Combat/Strike UCAV	Reaper	Estratégico	Sin límite (BLOS)
		65.000 ft / 20.000 m	High Altitude Long Endurance HALE	Global Hawk	Estratégico	
		45.000 ft / 14.000 m	Medium Altitude Long Endurance MALE	Heron TP	Organización Operativa Conjunta	
	Clase II >150 y ≤600 kg Medio	10.000 ft / 3.000 m	Tactical TUAV	Searcher MK-III	Mando Componente Terrestre	200 km (LOS)
Tipo I	Clase I ≤150 kg Ligero	5.000 ft / 1.500 m	Small >15 kg	Scan Eagle	División Brigada	50 km (LOS)
		3.000 ft / 900 m	Mini <15 kg	Raven RQ-11 B	Grupo Táctico Compañía	10 km (LOS)
		200 ft / 60 m	Micro Peso <15 kg y potencia <66 Jul	Black Widow	Sección Pelotón	2 km (LOS)

A continuación, se describen los cinco sistemas RPAS que cumplen con las características y requerimientos mínimos establecidos por el grupo de expertos del RACTA 4 y se corresponden a las categorías OTAN y tipo de misión señaladas:

4.2.1. Searcher MK III

El Searcher MK III (Figura 5) es un RPAS de tipo OTAN II, clase II, dentro de la categoría TUAV, desarrollado por Israel Aircraft Industries (IAI) y adquirido por el Ministerio de Defensa en diciembre de 2007. Actualmente, esta plataforma es utilizada en el Ejército de Tierra, específicamente por la unidad GAIL II/63, la cual despliega equipos reducidos que se integran en las UDACTAs de ACTA.



Figura 5 Searcher MK III. Fuente: INTA. (2013). *Flight Manual SEARCHER MK III*.

Su misión principal está orientada a funciones *ISTAR* (*Intelligence, Surveillance, Target Acquisition, Reconnaissance*), centradas en el reconocimiento y vigilancia de puntos de interés o zonas requeridas, transmitiendo los datos obtenidos en tiempo real. Asimismo, es conocido como Plataforma Aérea Sensorizada de Inteligencia (PASI), denominación que refleja su capacidad para operaciones de obtención de información gracias a su amplia autonomía y alcance operativo.

El Searcher MK III realizó su primer despliegue operativo en Zona de Operaciones en Afganistán en 2008. Su mantenimiento ha sido gestionado por la empresa INDRA, incluyendo la instalación de actualizaciones de sistemas críticos, como el Identificación Amigo o Enemigo (*Identification Friend or Foe, IFF*), así como diversos protocolos de codificación implementados progresivamente a lo largo de los años.

La siguiente tabla recoge los datos de este RPAS en relación con los siete criterios establecidos por el el grupo de expertos del RACTA 4.

Tabla 2 Características del Searcher MK III. Fuente: *Elaboración propia*.

Autonomía	14 horas
Alcance	200 km
Facilidad de despegue y aterrizaje	Pista
Operatividad en condiciones climáticas adversas	Limitada
Personal necesario	9 personas
Calidad de cámaras y sensores	Muy alta y precisa
Tiempo de puesta en servicio	20 minutos

4.2.2. Atlantic I

El Atlantic I (Figura 6) es un RPAS de tipo I, clase I, perteneciente a la categoría Small, desarrollado por la empresa Sistemas de Control Remoto (SCR) (Remoto, 2017). Actualmente se encuentra en dotación con el personal instruido del GAIL II/63, desempeñando misiones ISTAR, centradas en la obtención de información y vigilancia de áreas de interés.



Figura 6 Atlantic I. Fuente: Space, A. D. (2012). Atlantic I UAV Flight Manual.

Su misión principal se dedica exclusivamente a funciones ISTAR (*Intelligence, Surveillance, Target Acquisition, Reconnaissance*), centradas en el reconocimiento y vigilancia de puntos de interés o zonas requeridas, transmitiendo los datos obtenidos en tiempo real.

En cuanto a su carga útil, el Atlantic I permite la integración de cámaras de televisión (TV) e infrarrojas (IR), Radar de Apertura Sintética (SAR), telémetros y altímetros láser. Las cámaras poseen capacidad de seguimiento de objetivos a largas distancias, tanto en condiciones diurnas como nocturnas, ofreciendo una resolución elevada que garantiza una alta calidad de imagen y precisión en la obtención de datos.

A continuación, se muestran los datos de este RPAS en relación con los siete criterios establecidos por el grupo de expertos del RACTA 4.

Tabla 3 Características del Atlantic I. Fuente: Elaboración propia.

Autonomía	5 horas
Alcance	130 km
Facilidad de despegue y aterrizaje	Lanzadera/Pista
Operatividad en condiciones climáticas adversas	Limitada
Personal necesario	2 personas
Calidad de cámaras y sensores	Muy alta y precisa

Tiempo de puesta en servicio	15 minutos
------------------------------	------------

4.2.3. Fulmar

El Fulmar (Figura 7) es un RPAS de tipo I, clase I, dentro de la categoría Small, desarrollado conjuntamente por Thales España y Wake Engineering, y adquirido por el Ministerio de Defensa en noviembre de 2017. Actualmente, esta plataforma se encuentra en dotación en la Brigada Aragón I y ha sido desplegada en Malasia y Australia, para llevar a cabo misiones de vigilancia y reconocimiento.



Figura 7 Fulmar. Fuente: ASELSAN. (2014). Fulmar 500-A Airborne Maritime Surveillance Radar System.

La misión principal que realiza el Fulmar son las funciones *ISTAR* (*Intelligence, Surveillance, Target Acquisition, Reconnaissance*), centradas en el reconocimiento y vigilancia de puntos de interés o zonas requeridas, transmitiendo los datos obtenidos en tiempo real.

Su sistema de captación de imágenes dispone de alta resolución y precisión, con capacidad de seguimiento de objetivos tanto en condiciones diurnas como nocturnas. Además, incorpora un sistema *gimbal*, que consiste en una plataforma giroscópica destinada a estabilizar la cámara, aislándola de vibraciones y movimientos no deseados, garantizando así una captura de imagen estable y precisa durante el vuelo (ASELSAN, 2014).

Los datos recogidos acerca de este RPAS, en relación con los siete criterios establecidos por el grupo de expertos del RACTA 4, se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 4 Características del Fulmar. Fuente: Elaboración propia.

Autonomía	7 horas
Alcance	90 km
Facilidad de despegue y aterrizaje	Lanzadera/Red
Operatividad en condiciones climáticas adversas	Limitada



Personal necesario	3 personas
Calidad de cámaras y sensores	Decente
Tiempo de puesta en servicio	30 minutos

4.2.4. Orbiter 3

El Orbiter 3 (Figura 8) es un RPAS de tipo I, clase I, perteneciente a la categoría Small, desarrollado por Aeronautics y adquirido por el Ministerio de Defensa en octubre de 2018, pasando a dotación del Ejército de Tierra en febrero de 2019. Esta plataforma cuenta con una amplia experiencia operativa, acumulando más de 220.000 horas de vuelo, y es utilizada por distintos ejércitos en el ámbito internacional, incluyendo Grecia, Tailandia e Israel.



Figura 8 Orbiter 3, Fuente: Group, A. (2015). Orbiter 3 User Manual.

El Orbiter 3 se distingue por su desempeño en misiones ISTAR, lo que le ha conferido un elevado prestigio dentro de los RPAS actualmente en uso. Presenta una huella acústica prácticamente indetectable y un enlace de datos altamente seguro, dificultando su interceptación desde fuentes externas. Esta plataforma ha sustituido al Scan Eagle en zonas de operaciones, como ocurrió durante la operación “*Inherent Resolve*” en Irak.

En cuanto a sus características técnicas, el Orbiter 3 dispone de una alta resistencia a ataques cibernéticos, permitiendo operar incluso en entornos con denegación de señal GPS. Su sistema de imagen ofrece alta resolución y precisión, superando notablemente la capacidad del Scan Eagle, y mantiene una baja firma sonora. Una característica diferenciadora es la posibilidad de operar dos aeronaves simultáneamente desde una misma estación de control en tierra, optimizando las misiones de vigilancia y reconocimiento (Group, 2015).

La siguiente tabla muestra los datos de este RPAS en relación con los siete criterios establecidos por el el grupo de expertos del RACTA 4.

Tabla 5 Características del Orbiter 3. Fuente: Elaboración propia.

Autonomía	7 horas
Alcance	150 km

Facilidad de despegue y aterrizaje	Lanzadera/Paracaídas
Operatividad en condiciones climáticas adversas	Moderadamente buena
Personal necesario	3 personas
Calidad de cámaras y sensores	Muy alta y precisa
Tiempo de puesta en servicio	10 minutos

4.2.5. Scan Eagle

El Scan Eagle (Figura 9) es un RPAS de tipo I, clase I, dentro de la categoría Small, desarrollado por la empresa estadounidense Boeing Insitu y posteriormente integrado en la dotación de la Armada Española. Se encuentra en servicio en España desde 2015, cumpliendo misiones ISTAR y acumulando aproximadamente 1.100 horas de vuelo en operaciones contra el terrorismo en Irak, lo que le ha proporcionado una amplia experiencia en Zonas de Operaciones (ZO).



Figura 9 Scan Eagle. Fuente: Inc., I. (2013). Scan Eagle Unmanned Aircraft System Standard Operating Procedures.

De manera empírica, se ha observado que el Scan Eagle posee la capacidad de operar en condiciones de tormentas de arena y climatología adversa. Su despegue es altamente versátil gracias a una lanzadera de dimensiones reducidas, permitiendo operar tanto en entornos terrestres como desde plataformas navales (Inc., 2013).

Principalmente, el Scan Eagle realiza cometidos propios de las funciones ISTAR (*Intelligence, Surveillance, Target Acquisition, Reconnaissance*), centradas en el reconocimiento y vigilancia de puntos de interés o zonas requeridas, transmitiendo los datos obtenidos en tiempo real.

En cuanto a la transmisión de datos, el Scan Eagle utiliza un Data Link que permite el envío de información en tiempo real con elevada seguridad en las comunicaciones. Su carga útil admite



cámaras IR y optrónicas, capaces de alternar modos de funcionamiento de manera inmediata. La resolución de la cámara alcanza 170 aumentos, permitiendo incluso la identificación de expresiones faciales a distancias de hasta tres kilómetros. El alcance del Data Link es de 100 km, sumando todas las otras características que posee, se consolida el Scan Eagle como un sistema idóneo y fiable para el cumplimiento de las misiones asignadas a la ACTA.

La siguiente tabla agrupa y muestra todos los datos recogidos de este RPAS, en relación con los siete criterios establecidos por el grupo de expertos del RACTA 4.

Tabla 6 Características del Scan Eagle. Fuente: Elaboración propia.

Autonomía	20 horas
Alcance	100 km
Facilidad de despegue y aterrizaje	Lanzadera/Skyhook
Operatividad en condiciones climáticas adversas	Excelente
Personal necesario	9 personas
Calidad de cámaras y sensores	Moderadamente buena
Tiempo de puesta en servicio	10 minutos

4.3. Análisis de las ventajas y limitaciones de cada uno de los sistemas estudiados al objeto de identificar el idóneo para el GACTA I/4.

Tal y como se indicó en el apartado de Objetivo y metodología, una vez analizada la doctrina, orgánica y material en dotación del GACTA I/4 y seleccionados los RPAS que cumplen los criterios establecidos por el grupo de expertos seleccionado en esta unidad, se procede a aplicar el método de análisis multicriterio AHP. Este enfoque permite seleccionar el RPAS más idóneo para el cumplimiento de los cometidos de ACTA, considerando las diversas variables relevantes y la valoración de un panel de expertos. En los siguientes apartados, se expone de manera detallada las diferentes fases que constituyen el método AHP.

4.3.1. Definición del problema.

Se definió que el objetivo del análisis AHP era evaluar e identificar el mejor sistema de RPAS para la localización de objetivos marítimos y corrección del tiro de artillería de costa teniendo en cuenta las particularidades del GACTA I/4, tanto orgánicas como materiales. En primer lugar, “evaluar” porque se pretende dar una puntuación cuantitativa o un peso a las alternativas, que son esos “sistemas de RPAS”. En segundo, se resaltan los conceptos de “objetivos marítimos” y “artillería de costa”, debido a que, actualmente los RPAS están siendo utilizados con frecuencia en artillería de campaña, pero aún no se utilizan oficialmente en artillería de costa.



4.3.2. Estructuración del problema.

Una vez definido el problema, se determinaron los criterios y las alternativas que se evaluarían en el método AHP.

Los criterios seleccionados son consensuados por el panel de expertos del GACTA I/4 que se han recogido y explicado en el anterior apartado 4.2.

Una vez determinados los criterios, se procede a evaluar las alternativas propuestas, que se identifican con los cinco modelos de RPAS descritos también en el apartado 4.2. A continuación, se recoge un breve resumen de estos sistemas, mientras que la tabla 2 recoge de forma conjunta los valores de los criterios de cada uno de ellos.

- **Searcher MK III:** destaca por su elevada autonomía y alcance, lo que le permite realizar misiones de reconocimiento y vigilancia correctamente, y transmitir la información en tiempo real. Además, presenta una huella radar y sonora muy reducida, lo que dificulta su detección por parte del adversario. Sin embargo, requiere un elevado número de personal para su correcto funcionamiento, lo que supone una mayor carga logística y de coordinación.
- **Orbiter 3:** ofrece una gran capacidad de observación y reconocimiento, con una cámara de alta precisión y un sistema de transmisión de datos seguro y resistente a interferencias o ataques cibernéticos. Su huella sonora es prácticamente indetectable, lo que refuerza su capacidad de operar de forma discreta. Como limitación, su sistema de aterrizaje mediante paracaídas y protecciones inflables puede presentar dificultades en áreas reducidas o con obstáculos.
- **Atlantic I:** se caracteriza por su diseño simple y fiabilidad, además puede operar con un número reducido de operadores. Dispone de cámaras de alta resolución con capacidad diurna y nocturna, lo que facilita una observación precisa de los objetivos. Sin embargo, su necesidad de una pista de aterrizaje de grandes dimensiones limita su empleo en zonas con espacio restringido.
- **Fulmar:** destaca la estabilidad de su cámara, mediante un sistema *gimbal* es capaz de eliminar vibraciones y giros no deseados, consiguiendo así mejores imágenes que con otros sistemas RPAS. Su tiempo de puesta en servicio es reducido y requiere poco personal, lo que favorece su rápida puesta en servicio. Sin embargo, su alcance y autonomía resultan moderados en comparación con otros sistemas, lo que condiciona su empleo considerablemente en misiones de larga duración o gran profundidad.
- **Scan Eagle:** se distingue por su gran autonomía y versatilidad, además destaca que puede realizar su despegue y aterrizaje, tanto desde tierra como desde plataformas navales. Su sistema de lanzamiento y aterrizaje mediante el dispositivo “*Skyhook*” optimiza las maniobras en espacios reducidos y aporta una gran seguridad operativa. A pesar de sus ventajas, el Orbiter 3 ha sustituido al Scan Eagle en operaciones como “*Inherent Resolve*” en Irak.

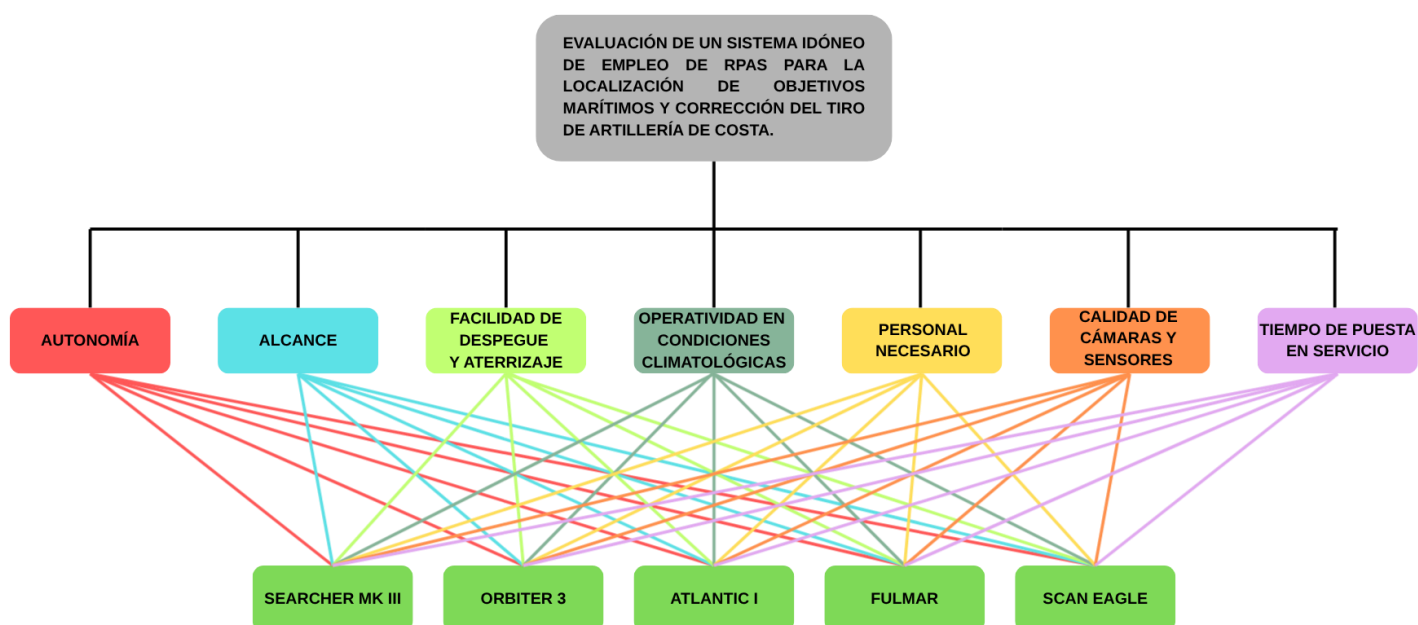


Tabla 7 Cuadro resumen de las características de las alternativas. Fuente: Elaboración propia.

	SEARCHER MK III	ATLANTIC I	FULMAR	ORBITER 3	SCAN EAGLE
Autonomía	14 horas	5 horas	7 horas	7 horas	20 horas
Alcance	200 km	130 km	90 km	150 km	100 km
Facilidad de despegue y aterrizaje	Pista	Lanzadera/Pista	Lanzadera/Red	Lanzadera/Paracaídas	Lanzadera/Skyhook
Operatividad en condiciones climáticas adversas	Limitada	Limitada	Limitada	Moderadamente buena	Excelente
Personal necesario	9 personas	2 personas	3 personas	3 personas	9 personas
Calidad de cámaras y sensores	Muy alta y precisa	Muy alta y precisa	Decente	Muy alta y precisa	Moderadamente buena
Tiempo de puesta en servicio	20 minutos	15 minutos	30 minutos	10 minutos	10 minutos

A modo de síntesis, la Figura 10 muestra el resumen de las dos primeras fases del método AHP ejecutado. En el primer nivel aparece el objetivo principal del análisis, en el segundo los criterios elegidos y en el tercero los sistemas de armas que son alternativas. En este caso, no existen subcriterios de ningún criterio, ya que no se ha considerado necesario. Los siete criterios elegidos se relacionan con cada una de las cinco alternativas y las alternativas, a su vez, reciben su evaluación de cada uno de los criterios de evaluación establecidos.

Figura 10 Diagrama de las 2 primeras fases del método AHP. Fuente: Elaboración propia.





4.3.3. Determinación del grupo de expertos de los criterios y de cada una de las alternativas de los criterios.

La tercera fase del proceso se centra en el grupo de expertos, quienes desempeñan un papel vital en el método AHP. Esta fase consiste en la determinación y ponderación de los distintos criterios según las diferentes alternativas propuestas.

Estos datos se lograron mediante una encuesta realizada al grupo de expertos. Para la correcta realización de la encuesta se impartió previamente una sesión informativa en la que se exponían los criterios de decisión, las alternativas propuestas, así como el método AHP que utilizamos para este estudio, incluyendo la metodología a seguir para rellenar correctamente el cuestionario. La encuesta se encuentra en el Anexo A. “Cuestionario para el desarrollo del método AHP”. La presentación PowerPoint utilizada en la citada sesión informativa está recogida en el Anexo B. “Conferencia explicativa al grupo de expertos previa a la comparación de criterios y alternativas”. Tras esta presentación, se entregó el cuestionario en formato físico y se solicitó que lo rellenaran con coherencia.

De acuerdo con el método AHP, los resultados se procesaron aplicando la media geométrica, prestando atención a la proporción de los valores. Los promedios obtenidos se trasladaron a matrices de comparación pareadas (ver Tablas 3-10).

Las matrices de comparación pareadas son introducidas en el software de análisis de la Academia de Logística del Ejército de Tierra citado con anterioridad. Este software permitió calcular las correspondientes razones de inconsistencia (RI). Si estas superan el valor de 0,10, se consideran inconsistentes y se invalidan los resultados, obligando a rehacer la encuesta hasta que las razones de inconsistencia se encuentren en valores permitidos. Esto no sucedió, por lo que en este estudio todas las razones de inconsistencia se encuentran por debajo de este umbral.

La Tabla 8 presenta la matriz de comparación de criterios sobre los cuales se evalúan las alternativas seleccionadas. Del análisis se concluye que el criterio “Calidad de cámaras y sensores” es considerado el de mayor importancia según el grupo de expertos, debido a que obtuvo la mayor valoración en todas las comparaciones. Por otro lado, los criterios “Personal Necesario” y “Tiempo de puesta en servicio” no alcanzan mayor importancia a la que presentan otros criterios en sus evaluaciones, únicamente el criterio “Tiempo de puesta en servicio” es de mayor importancia por el grupo de expertos que el criterio “Personal Necesario”.

Tabla 8 Matriz comparativa de criterios. Razón de inconsistencia (RI) = 0,098 < 0,10. Fuente: Elaboración propia.

CRITERIOS	Autonomía	Alcance	Facilidad de despegue y aterrizaje	Operatividad en condiciones climáticas	Personal necesario	Calidad de cámaras y sensores	Tiempo de puesta en servicio
Autonomía	1	1/3	3	1/3	3	1/5	3
Alcance	3	1	5	3	5	1/3	3
Facilidad de despegue y aterrizaje	1/3	1/5	1	1/5	3	1/7	3
Operatividad en condiciones climáticas	3	1/3	5	1	5	1/3	3
Personal necesario	1/3	1/5	1/3	1/5	1	1/7	1/3
Calidad de cámaras y sensores	5	3	7	3	7	1	5
Tiempo de puesta en servicio	1/3	1/3	1/3	1/3	3	1/5	1



La Tabla 9 muestra la comparación de alternativas en base al criterio “Autonomía”, donde los expertos, en base a los datos proporcionados otorgan la mejor puntuación al Scan Eagle respecto al resto. Por el lado contrario, el Atlantic I es el que consigue peor puntuación, al no predominar sobre ninguno.

Tabla 9 Matriz comparativa de alternativas en base al criterio "Autonomía". Razón de inconsistencia (RI) = 0,028<0,10. Fuente: Elaboración propia.

Autonomía	SEARCHER MK III	ATLANTIC I	FULMAR	ORBITER 3	SCAN EAGLE
SEARCHER MK III	1	5	3	1	1/3
ATLANTIC I	1/5	1	1/3	1/5	1/7
FULMAR	1/3	3	1	1/3	1/5
ORBITER 3	1	5	3	1	1/3
SCAN EAGLE	3	7	5	3	1

La Tabla 10 muestra la comparación de alternativas en base al criterio “Alcance”, donde los expertos, en base a los datos proporcionados dan una mejor puntuación al Searcher MK III respecto al resto, dado que este RPAS tiene hasta 200 kilómetros de alcance. En el lado contrario se encuentra el Fulmar, que sólo al sólo llegar hasta 90 kilómetros, por lo que recibe la peor puntuación.

Tabla 10 Matriz comparativa de alternativas en base al criterio "Alcance". Razón de inconsistencia (RI) = 0,064<0,10. Fuente: Elaboración propia.

Alcance	SEARCHER MK III	ATLANTIC I	FULMAR	ORBITER 3	SCAN EAGLE
SEARCHER MK III	1	5	7	3	3
ATLANTIC I	1/5	1	3	1/3	1/5
FULMAR	1/7	1/3	1	1/5	1/7
ORBITER 3	1/3	3	5	1	1/3
SCAN EAGLE	1/3	5	7	3	1

La Tabla 11 muestra la comparación de alternativas en base al criterio “Facilidad de despegue y aterrizaje”, donde los expertos otorgan una valoración positiva a los RPAS Fulmar y Orbiter 3, debido a que estos poseen un sistema de aterrizaje de emergencia y pueden desplegar tanto en plataformas terrestres como navales. El Atlantic I es el que recibe la valoración más negativa por parte del grupo de expertos, al necesitar una pista de grandes dimensiones para el despegue.



Tabla 11 Matriz comparativa de alternativas en base al criterio "Facilidad de despegue y aterrizaje". Razón de inconsistencia (RI) = 0,071<0,10. Fuente: Elaboración propia.

Facilidad de despegue y aterrizaje	SEARCHER MK III	ATLANTIC I	FULMAR	ORBITER 3	SCAN EAGLE
SEARCHER MK III	1	5	1/3	1/3	1/3
ATLANTIC I	1/5	1	1/5	1/5	1/5
FULMAR	3	5	1	1	3
ORBITER 3	3	5	1	1	3
SCAN EAGLE	3	5	1/3	1/3	1

La Tabla 12 muestra la comparación de alternativas en base al criterio "Operatividad en condiciones climáticas adversas". Los RPAS mejor valorados para este criterio son el Searcher MK III y el Scan Eagle, debido a que se ha podido comprobar en las innumerables horas de vuelo en ZO, donde podían actuar con completa normalidad bajo fuertes tormentas de arena. El Atlantic I es el que recibe la valoración más negativa en este aspecto, al presentar dificultad para poder operar correctamente bajo condiciones climáticas abruptas o no ideales.

Tabla 12 Matriz comparativa de alternativas en base al criterio "Operatividad en condiciones climáticas adversas". Razón de inconsistencia (RI) = 0,060<0,10. Fuente: Elaboración propia.

Operatividad en condiciones climáticas adversas	SEARCHER MK III	ATLANTIC I	FULMAR	ORBITER 3	SCAN EAGLE
SEARCHER MK III	1	7	3	3	1
ATLANTIC I	1/7	1	1/5	1/7	1/7
FULMAR	1/3	5	1	1/3	1/3
ORBITER 3	1/3	7	3	1	1/3
SCAN EAGLE	1	7	3	3	1

La Tabla 13 muestra la comparación de alternativas en base al criterio "Personal necesario". El grupo de expertos destacó de forma positiva el Atlantic I, al sólo necesitar 2 personas para poder operar correctamente. La peor valoración en este aspecto la recibió el Searcher MK III, debido a que necesita 9 personas.



Tabla 13 Matriz comparativa de alternativas en base al criterio "Personal necesario". Razón de inconsistencia (RI) = 0,068<0,10. Fuente: Elaboración propia.

Personal necesario	SEARCHER MK III	ATLANTIC I	FULMAR	ORBITER 3	SCAN EAGLE
SEARCHER MK III	1	1/7	1/7	1/3	1/5
ATLANTIC I	7	1	3	7	5
FULMAR	7	1/3	1	5	3
ORBITER 3	3	1/7	1/5	1	1/3
SCAN EAGLE	5	1/5	1/3	3	1

La Tabla 14 muestra la comparación de alternativas en base al criterio "Calidad de cámaras y sensores". En este criterio, el Orbiter 3 es el que obtiene la mejor puntuación, debido al hecho de que presenta una calidad de imágenes superior al resto de RPAS. En este caso es el Atlantic I el que recibe la peor puntuación debido a que no posee tanta resolución con respecto a los otros RPAS considerados.

Tabla 14 Matriz comparativa de alternativas en base al criterio "Calidad de cámaras y sensores". Razón de inconsistencia (RI) = 0,059<0,10. Fuente: Elaboración propia.

Calidad de cámaras y sensores	SEARCHER MK III	ATLANTIC I	FULMAR	ORBITER 3	SCAN EAGLE
SEARCHER MK III	1	5	3	1/3	1/3
ATLANTIC I	1/5	1	1/3	1/7	1/7
FULMAR	1/3	3	1	1/5	1/3
ORBITER 3	3	7	5	1	3
SCAN EAGLE	3	7	3	1/3	1

Finalmente, la Tabla 15 muestra la comparación de alternativas en base al criterio "Tiempo de puesta en servicio". En este criterio, el Searcher MK III obtiene la mejor puntuación por presentar un tiempo de puesta en servicio algo inferior a unos 20 minutos. Hay que reseñar que, aunque este es también el mismo tiempo que utiliza el Atlantic I, este RPAS recibe una peor valoración que el Searcher MK III debido a que ve incrementado considerablemente su tiempo si no se encuentra en condiciones climatológicas favorables o ideales.



Tabla 15 Matriz comparativa de alternativas en base al criterio "Tiempo de puesta en servicio". Razón de inconsistencia (RI) = 0,075<0,10. Fuente: Elaboración propia.

Tiempo de puesta en servicio	SEARCHER MK III	ATLANTIC I	FULMAR	ORBITER 3	SCAN EAGLE
SEARCHER MK III	1	3	3	5	3
ATLANTIC I	1/3	1	1/3	1/3	1/3
FULMAR	1/3	3	1	1/3	1/3
ORBITER 3	1/5	3	3	1	3
SCAN EAGLE	1/3	3	3	1/3	1

4.3.4. Obtención de la tabla de síntesis.

Tal y como se ha indicado en el apartado de Objetivos y metodología, en esta cuarta fase del método AHP se calculan los pesos de los criterios de decisión teniendo en cuenta los resultados obtenidos en las fases anteriores. De esta forma se obtiene la valoración final de cada alternativa por cada criterio, con su respectiva ponderación de cada uno de ellos, denominado esto como "Vector de prioridad global".

Como se puede observar en la tabla 11, el sistema de RPAS Orbiter 3 obtuvo la mayor puntuación de Vector de prioridad global (0,2882), con lo que se identifica como el sistema idóneo para la localización de objetivos marítimos y corrección de acciones de fuego en la artillería de costa. Esto se debe, principalmente, a que ha conseguido ocupar el primer puesto de importancia de los RPAS en el criterio de mayor peso, "Calidad de cámaras y sensores", debido a su alta calidad de imagen y resolución. No es de extrañar que sea el sistema de RPAS idóneo para este cometido, dado que como se ha comentado con anterioridad, el Orbiter 3 ha sustituido al Scan Eagle en ZO.

Sin embargo, hay que señalar que, aunque el Orbiter 3 haya sustituido al Scan Eagle en ZO, esto no significa que le supere en todos los aspectos, en el único aspecto que le supera es en el criterio de "Operatividad en condiciones climatológicas adversas", en el que el Orbiter 3, a pesar de poder soportar fuertes tormentas de arena, se encuentra por debajo del Scan Eagle, dado que este tiene prestaciones superiores en otros escenarios climatológicos adversos (Insitu Inc., 2023).

También hay que destacar que Orbiter 3 es considerado, junto al Fulmar, de los mejores RPAS en el criterio "Facilidad de despegue y aterrizaje". Esto se debe a que su sistema de despegue se puede incorporar a camiones para lograr mayor movilidad y flexibilidad, además de presentar un sistema de aterrizaje principal, que es el paracaídas guardado en el fuselaje, y un sistema de aterrizaje alternativo si fuese necesario con la red. En cuanto al criterio de "Autonomía" se coloca en segundo puesto, al contar con 7 horas de vuelo. En el criterio de "Alcance", que tiene una gran ponderación, se ubica en el tercer puesto, con 150 kilómetros, una cifra más que suficiente para cumplir con la misión encomendada al GACTA I/4. Por último, hay que señalar que el criterio de "Personal necesario" se sitúa en penúltimo lugar, mientras que en el criterio "Tiempo de puesta en servicio" se sitúa en el segundo lugar. Ambas posiciones tienen gran incidencia en la posición de predominancia alcanzada por Orbiter 3, dados que estos dos últimos son los criterios de menor importancia tenían para el grupo de expertos.



Alejandro Pérez Verdugo

Tabla 16 Matriz de decisión. Fuente: Elaboración propia.

	Peso de los criterios	SEARCHER MK III	ATLANTIC I	FULMAR	ORBITER 3	SCAN EAGLE
Autonomía	0,0941	0,201	0,0427	0,0862	0,201	0,4691
Alcance	0,2244	0,4521	0,0724	0,0373	0,1516	0,2866
Facilidad de despegue y aterrizaje	0,0607	0,115	0,044	0,3303	0,3303	0,1805
Operatividad en condiciones climáticas adversas	0,1627	0,1582	0,038	0,0813	0,1831	0,3382
Personal necesario	0,0299	0,0366	0,5022	0,2651	0,0647	0,1314
Calidad de cámaras y sensores	0,3766	0,1582	0,038	0,0813	0,4562	0,2664
Tiempo de puesta en servicio	0,0516	0,4494	0,0664	0,1017	0,2267	0,1558
Vector de prioridad global		0,2662	0,0611	0,0977	0,2882	0,2868



5. CONCLUSIONES

Una vez obtenidos los resultados de este trabajo, se extraen las siguientes conclusiones, en relación con los tres objetivos específicos planteados:

En cuanto al primer objetivo específico propuesto, se concluye que los medios que utiliza el RACTA 4 para la localización de objetivos marítimos y corrección del tiro de artillería son completamente funcionales y operativos. Pero a medida que la tecnología, las tácticas y los métodos que se utilizan en la guerra evolucionan, se evidencia la necesidad de sistemas productores de fuego con mayor alcance y, con ello, sistemas de localización de objetivos marítimos y corrección del fuego de artillería de costa con mayor alcance a los actuales, igualando o incluso superando el alcance de los productores de fuego. Los sistemas RPAS cumplen a la perfección con esta misión, por lo que se actualmente se realizan las integraciones UDACTA. Sin embargo, se ha puesto de manifiesto la necesidad y adecuación de que el RACTA 4 disponga de estos RPAS y del personal que permite su funcionamiento integrado directamente en su orgánica.

En relación con el segundo objetivo específico, se ha descrito y caracterizado los sistemas de RPAS que han sido utilizados por el Ejército español que cumplen con los criterios señalados por el panel de expertos seleccionado en el RACTA 4 – GACTA I/4 para esta tarea y la aplicación del análisis AHP, además de con los criterios de clasificación OTAN y tipo de misión. En concreto, del Ejército de Tierra se han seleccionado los RPAS Searcher MK III, el Orbiter 3 (ambos en estado operativo) y el Fulmar (en pruebas), de la Armada el Scan Eagle (operativo) y, finalmente, del Ejército del Aire y del Espacio, el Atlantic I (en pruebas). Cabe destacar las limitaciones operativas y logísticas de determinados RPAS que condicionan la composición y el empleo de las UDACTAs como, por ejemplo, la necesidad de una dotación amplia y de una logística compleja para operar cualquier sistema de RPAS, destacando en este sentido el Searcher MK III. Por el contrario, el Atlantic I presenta una mayor autonomía debido a su diseño simple y fiable, aunque se ve limitado en gran medida por su plataforma de despegue, que es una pista de grandes dimensiones, y por su tiempo de puesta en servicio, que es mejorable. En lo que se refiere a sistemas de despegue más ágiles, nos encontramos con el Fulmar que ofrece una solución interesante, además de contar con su sistema *gimbal* que se encarga de estabilizar las cámaras para obtener una mayor calidad de las imágenes y, con ello, facilita la identificación y localización de objetivos. Además, cabe destacar que necesita poco personal para ser operado. Sin embargo, su alcance y autonomía son inferiores a otros sistemas de RPAS. Por otra parte, el Scan Eagle agrupa cualidades y características muy positivas, como su rapidez de puesta en servicio, su alta autonomía o gran alcance y un sistema de aterrizaje disponible en plataformas navales, añadiendo así versatilidad y flexibilidad en cuanto a las operaciones que puede realizar. La única limitación que presenta es la limitada capacidad de carga útil para futuras ampliaciones, por lo que ha sido reemplazado por el Orbiter 3 en ZO. En cuanto a este último, es un RPAS muy equilibrado en todos los criterios empleados en este trabajo, destacando de forma muy positiva en el de “Calidad de cámaras y sensores”.

Con respecto al tercer objetivo específico, se ha logrado, mediante el método de análisis multicriterio AHP, analizar las ventajas y limitaciones de cada uno de los sistemas de RPAS estudiados teniendo en cuenta las características comentadas del GACTA I/4 y la opinión del panel de expertos seleccionado en él. En la aplicación del método ha quedado de manifiesto que el criterio “Calidad de cámaras y sensores” es el más importante. Así, los expertos valoran sobre manera que el RPAS esté equipado con cámaras que posean un gran número de aumentos y de resolución, además de poder contar, además de con cámara de TV, con cámara IR. Le siguen los criterios de “Alcance” y “Operatividad en condiciones climatológicas adversas”. Esto pone de manifiesto, en primer lugar, que el grupo de expertos es consciente que, si el RPAS es capaz de operar a mayor distancia, aumenta la capacidad de localización de objetivos lejanos, incluso si la cámara no tiene tantos aumentos como sería deseable, y, en segundo, que es de gran importancia que el RPAS pueda operar en condiciones climatológicas adversas, ya que no se



puede depender de que haya una meteorología ideal en ZO. En cuanto al criterio “Autonomía”, se le ha dado la cuarta posición en importancia ya que, como se mencionó anteriormente, estas operaciones no requieren operar un gran número de horas o, al menos, es un criterio que todos los RPAS ya están bastante capacitados. Los criterios “Facilidad de despegue y aterrizaje”, “Personal necesario” y “Tiempo de puesta en servicio” son los de menor importancia según el grupo de expertos. En cuanto a la evaluación de los sistemas de RPAS estudiados, se concluye que el Orbiter 3 es el idóneo, debido a que presenta un vector de prioridad global mayor que el de los otros RPAS considerados, con 0,2882 puntos. El Orbiter 3 ha destacado principalmente en el criterio más importante, el de “Calidad de cámaras y sensores”, quedándose en la media en los restantes, a excepción el criterio de “Personal necesario”, donde se sitúa en penúltimo lugar. El sistema RPAS que se queda en segundo lugar es el Scan Eagle, con 0,2868 puntos. Ha este respecto hay que señalar que, recientemente, Orbiter 3 ha sustituido a Scan Eagle en ZO, lo que puede confirmar la bondad resultados obtenidos en este trabajo teórico. El Searcher MK III ha quedado en tercer puesto, mientras que el Fulmar y el Atlantic I han quedado en los dos últimos puestos. Esto se debe principalmente a que, a pesar de ser actualmente buenas opciones operativas y funcionales, presentan dificultades para operar en condiciones meteorológicas adversas y tienen una autonomía y alcance bastante menos a la de los modelos que han obtenido las mejores puntuaciones.

Así pues, dando respuesta al objetivo general establecido en este trabajo, se identifica al sistema de RPAS Orbiter 3 como el idóneo para la localización de objetivos marítimos y corrección del tiro de artillería de costa.

En cuanto a las líneas futuras, cabe indicar que el presente trabajo constituye una aproximación teórica al problema planteado, por lo que la principal futura línea de trabajo que surge a partir de él es la comprobación práctica, no sólo del finalmente identificado como idóneo, sino también del resto de RPAS contemplados en él. Así, se considera esencial solicitar la incorporación de los sistemas RPAS estudiados y del personal instruido en su manejo en periodos largos de instrucción y adiestramiento del GACTA I/4. Para que esta evaluación fuera completa, como es lógico, se deberían ejecutar mediante estos RPAS todos los posibles ejercicios de ACTA recogidos en la doctrina que conllevan la realización de acciones de fuego mediante la localización de objetivos y corrección de éstas.



Bibliografía

- Allen, G. C., & Bondar, K. (2025). *The Russia-Ukraine Drone War: Innovation on the Frontlines and Beyond*. London: Willey and Son.
- Arcidiacono, S., & al., e. (2023). *Scoring from pairwise winning indices*. Obtenido de <http://hhyupui6o7uito78uio>
- ASELSAN. (2014). *Fulmar 500-A Airborne Maritime Surveillance Radar System*.
- Center for a New American Security. (2025). *Countering the Swarm: Protecting the Joint Force in the Drone Age*.
- Creswell, J. W. (2013). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches*. SAGE.
- Díaz Miranda, O. (2016). Cámara HRC-U MS, 'Nuevos Horizontes' para el POMO. *La bombardera*, 23.
- Group, A. (2015). *Orbiter 3 User Manual*.
- Inc., I. (2013). *Scan Eagle Unmanned Aircraft System Standard Operating Procedures*.
- Insitu Inc. (2023). *ScanEagle: Persistent ISR Capability in Challenging Environments*. Obtenido de Boeing Defense: <https://www.insitu.com/products/scaneagle>
- INTA. (2013). *Flight Manual SEARCHER MK III*.
- Israel Aerospace Industries. (6 de Noviembre de 2023). *Waves and Wings: A Deeper Look at Maritime UAVs*. Obtenido de Nation Shield – The Journal of the UAE Armed Forces: <https://www.nationshield.ae/index.php/home/details/research/waveswingsadeeperlookmaritimeuavs/en>
- Khwaja, W. (2022). Threats from and Countermeasures for Unmanned Aerial and Unmanned Systems. *Sensors*, 1-12.
- Mando de Adiestramiento y Doctrina. (2011). *PD4-316 Tiro de artillería de costa*.
- Mando de Adiestramiento y Doctrina. (2016). *PD4-013 Empleo táctico de la unidad de RPAS*. Madrid: Ejército de Tierra.
- Mando de Adiestramiento y Doctrina. (2016). *PD4-301 Empleo táctico del grupo de artillería de información y localización*.
- Mando de Adiestramiento y Doctrina. (2016). *PD4-302 EMPLEO DE LA ARTILLERÍA DE COSTA*.
- Montés-Martínez, M. (2016). *Uso del simulador como mejora en el aprendizaje y entrenamiento en Primeros Auxilios con alumnos de Ciclo Formativo de Grado Medio de Atención Sanitaria de un Centro de Cantabria*. Trabajo Fin de Máster.
- Özdemir, G. S. (2024). *Remote Warfare: Evaluating the Combat Effectiveness of Drones in the Context of the War on Gaza*.
- Özvural, L. C. (2020). *Remotely-Piloted Aircraft Systems and Modern Warfare*.



- Remoto, S. d. (2017). *Atlantic I. UAV de medio alcance y alto rendimiento*.
- Ruiz Martín, T. (2017). Actualización de los shelters POMO y RAE de la BLIO. *La bombard*, 26-27.
- Rutte, M. (15 de Octubre de 2025). *Eunews*. Obtenido de <https://www.eunews.it/en/2025/10/15/nato-now-accelerates-on-anti-drone-defence-rutte-forward-with-new-measures/>
- Space, A. D. (2012). *Atlantic I UAV Flight Manual*.
- Zelei, T. e. (2021). Criteria and scoring functions used in multi-criteria decision analysis and value frameworks for the assessment of rare disease therapies: A systematic literature review. *PharmacoEconomics Open*, 605-612.



ANEXOS

Anexo A Cuestionario para el desarrollo del método AHP.

ENCUESTA COMPARATIVA DE CRITERIOS Y ALTERNATIVAS PARA EVALUAR EL SISTEMA IDÓNEO DE EMPLEO DE RPAS PARA LA LOCALIZACIÓN DE OBJETIVOS MARÍTIMOS Y CORRECCIÓN DEL TIRO DE ARTILLERÍA DE COSTA.

Trabajo Fin de Grado - Alejandro Pérez Verdugo

Empleo: _____

Fecha: _____

La finalidad de esta encuesta es conocer las preferencias por parte de los expertos y los próximos usuarios, de un sistema idóneo de RPAS para la localización de objetivos marítimos y corrección del tiro de artillería de costa.

Los datos recopilados se recogerán de forma anónima, y posteriormente serán tratados para su utilización, en el método de decisión multicriterio AHP (Analytic Hierarchy Process). De esta forma, se obtendrá el criterio con mayor relevancia, incluyendo a su vez, la mejor alternativa en función de las preferencias de criterios por parte de los encuestados.

En este cuestionario, comparará mediante el uso de tablas comparativas, primero los criterios entre sí, y posteriormente, en función de cada criterio, comparará las alternativas propuestas. Los criterios para evaluar las alternativas son los siguientes:

- Autonomía
- Alcance
- Facilidad de despegue y aterrizaje
- Operatividad en condiciones climáticas adversas
- Personal necesario
- Calidad de cámaras y sensores
- Tiempo de puesta en servicio

Las alternativas que se han decidido valorar para el estudio son las siguientes:

- Searcher MK III
- Orbiter 3
- Atlantic I
- Fulmar
- Scan Eagle

Para rellenar la encuesta, marque con una "X" en la casilla que proceda. Para la lectura de la tabla, siga el siguiente ejemplo:



Alejandro Pérez Verdugo

CRITERIO	Extremadamente más importante	Mucho más importante	Bastante más importante	Moderadamente más importante	IGUAL	Moderadamente más importante	Bastante más importante	Mucho más importante	Extremadamente más importante	CRITERIO
Autonomía				X						Alcance

En este primer caso, estaría considerando que el criterio de la izquierda (Autonomía) es moderadamente más importante que el criterio de la derecha (Alcance).

CRITERIO	Extremadamente más importante	Mucho más importante	Bastante más importante	Moderadamente más importante	IGUAL	Moderadamente más importante	Bastante más importante	Mucho más importante	Extremadamente más importante	CRITERIO
Autonomía								X		Alcance

En este otro caso, consideraría que el criterio de la derecha (Alcance) es mucho más importante que el criterio de la izquierda (Autonomía).

Para asegurar los resultados obtenidos y evitar incoherencias, se utilizará el coeficiente de coherencia, siendo este menor del 10%, o quedarán invalidados los resultados obtenidos, necesitando la repetición de la encuesta.

Las siguientes tablas proporcionadas muestran las características, conforme a los criterios, de cada alternativa propuesta:

Searcher MK III

Autonomía	14 horas
Alcance	200 km
Facilidad de despegue y aterrizaje	Pista
Operatividad en condiciones climáticas adversas	Limitada
Personal necesario	9 personas
Calidad de cámaras y sensores	Muy alta y precisa
Tiempo de puesta en servicio	20 minutos



Atlantic I

Autonomía	5 horas
Alcance	130 km
Facilidad de despegue y aterrizaje	Lanzadera/Pista
Operatividad en condiciones climáticas adversas	Limitada
Personal necesario	2 personas
Calidad de cámaras y sensores	Muy alta y precisa
Tiempo de puesta en servicio	15 minutos



Fulmar

Autonomía	7 horas
Alcance	90 km
Facilidad de despegue y aterrizaje	Lanzadera/Red
Operatividad en condiciones climáticas adversas	Limitada
Personal necesario	3 personas
Calidad de cámaras y sensores	Decente
Tiempo de puesta en servicio	30 minutos



Orbiter 3

Autonomía	7 horas
Alcance	150 km
Facilidad de despegue y aterrizaje	Lanzadera/Paracaídas
Operatividad en condiciones climáticas adversas	Moderadamente buena
Personal necesario	3 personas
Calidad de cámaras y sensores	Muy alta y precisa
Tiempo de puesta en servicio	10 minutos



Scan Eagle

Autonomía	20 horas
Alcance	100 km
Facilidad de despegue y aterrizaje	Lanzadera/Skyhook
Operatividad en condiciones climáticas adversas	Excelente
Personal necesario	9 personas
Calidad de cámaras y sensores	Moderadamente buena
Tiempo de puesta en servicio	10 minutos





TABLA COMPARATIVA DE CRITERIOS

CRITERIO	Extremadamente más importante	Mucho más importante	Bastante más importante	Moderadamente más importante	IGUAL	Moderadamente más importante	Bastante más importante	Mucho más importante	Extremadamente más importante	CRITERIO
Autonomía										Alcance
Autonomía										Facilidad de despegue y aterrizaje
Autonomía										Operatividad en condiciones climáticas
Autonomía										Personal necesario
Autonomía										Calidad de cámaras y sensores
Autonomía										Tiempo de puesta en servicio
Alcance										Facilidad de despegue y aterrizaje
Alcance										Operatividad en condiciones climáticas
Alcance										Personal necesario
Alcance										Calidad de cámaras y sensores
Alcance										Tiempo de puesta en servicio
Facilidad de despegue y aterrizaje										Operatividad en condiciones climáticas
Facilidad de despegue y aterrizaje										Personal necesario
Facilidad de despegue y aterrizaje										Calidad de cámaras y sensores
Facilidad de despegue y aterrizaje										Tiempo de puesta en servicio
Operatividad en condiciones climáticas										Personal necesario
Operatividad en condiciones climáticas										Calidad de cámaras y sensores
Operatividad en condiciones climáticas										Tiempo de puesta en servicio
Personal necesario										Calidad de cámaras y sensores
Personal necesario										Tiempo de puesta en servicio
Calidad de cámaras y sensores										Tiempo de puesta en servicio
CRITERIO	Extremadamente más importante	Mucho más importante	Bastante más importante	Moderadamente más importante	IGUAL	Moderadamente más importante	Bastante más importante	Mucho más importante	Extremadamente más importante	CRITERIO

TABLA COMPARATIVA DE ALTERNATIVAS PARA CADA CRITERIO

AUTONOMÍA	ALTERNATIVA	Extremadamente más importante	Mucho más importante	Bastante más importante	Moderadamente más importante	IGUAL	Moderadamente más importante	Bastante más importante	Mucho más importante	Extremadamente más importante	ALTERNATIVA
	Searcher MK III										Orbiter 3
	Searcher MK III										Atlantic
	Searcher MK III										Fulmar
	Searcher MK III										Scan Eagle
	Orbiter 3										Atlantic
	Orbiter 3										Fulmar
	Orbiter 3										Scan Eagle
	Atlantic										Fulmar
	Atlantic										Scan Eagle
	Fulmar										Scan Eagle



Alejandro Pérez Verdugo

ALCANCE	ALTERNATIVA	Extremadamente más importante	Mucho más importante	Bastante más importante	Moderadamente más importante	IGUAL	Moderadamente más importante	Bastante más importante	Mucho más importante	Extremadamente más importante	ALTERNATIVA
	Searcher MK III										Orbiter 3
	Searcher MK III										Atlantic
	Searcher MK III										Fulmar
	Searcher MK III										Scan Eagle
	Orbiter 3										Atlantic
	Orbiter 3										Fulmar
	Orbiter 3										Scan Eagle
	Atlantic										Fulmar
	Atlantic										Scan Eagle
	Fulmar										Scan Eagle

FACILIDAD DE DESPEGUE Y ATERRIZAJE	ALTERNATIVA	Extremadamente más importante	Mucho más importante	Bastante más importante	Moderadamente más importante	IGUAL	Moderadamente más importante	Bastante más importante	Mucho más importante	Extremadamente más importante	ALTERNATIVA
	Searcher MK III										Orbiter 3
	Searcher MK III										Atlantic
	Searcher MK III										Fulmar
	Searcher MK III										Scan Eagle
	Orbiter 3										Atlantic
	Orbiter 3										Fulmar
	Orbiter 3										Scan Eagle
	Atlantic										Fulmar
	Atlantic										Scan Eagle
	Fulmar										Scan Eagle

OPERATIVIDAD EN CONDICIONES CLIMÁTICAS ADVERSAS	ALTERNATIVA	Extremadamente más importante	Mucho más importante	Bastante más importante	Moderadamente más importante	IGUAL	Moderadamente más importante	Bastante más importante	Mucho más importante	Extremadamente más importante	ALTERNATIVA
	Searcher MK III										Orbiter 3
	Searcher MK III										Atlantic
	Searcher MK III										Fulmar
	Searcher MK III										Scan Eagle
	Orbiter 3										Atlantic
	Orbiter 3										Fulmar
	Orbiter 3										Scan Eagle
	Atlantic										Fulmar
	Atlantic										Scan Eagle
	Fulmar										Scan Eagle

PERSONAL NECESARIO	ALTERNATIVA	Extremadamente más importante	Mucho más importante	Bastante más importante	Moderadamente más importante	IGUAL	Moderadamente más importante	Bastante más importante	Mucho más importante	Extremadamente más importante	ALTERNATIVA
	Searcher MK III										Orbiter 3
	Searcher MK III										Atlantic
	Searcher MK III										Fulmar
	Searcher MK III										Scan Eagle
	Orbiter 3										Atlantic
	Orbiter 3										Fulmar
	Orbiter 3										Scan Eagle
	Atlantic										Fulmar
	Atlantic										Scan Eagle
	Fulmar										Scan Eagle



Alejandro Pérez Verdugo

CALIDAD DE CÁMARAS Y SENSORES	ALTERNATIVA	Extremadamente más importante	Mucho más importante	Bastante más importante	Moderadamente más importante	IGUAL	Moderadamente más importante	Bastante más importante	Mucho más importante	Extremadamente más importante	ALTERNATIVA
	Searcher MK III										Orbiter 3
	Searcher MK III										Atlantic
	Searcher MK III										Fulmar
	Searcher MK III										Scan Eagle
	Orbiter 3										Atlantic
	Orbiter 3										Fulmar
	Orbiter 3										Scan Eagle
	Atlantic										Fulmar
	Atlantic										Scan Eagle
	Fulmar										Scan Eagle

TIEMPO DE PUESTA EN SERVICIO	ALTERNATIVA	Extremadamente más importante	Mucho más importante	Bastante más importante	Moderadamente más importante	IGUAL	Moderadamente más importante	Bastante más importante	Mucho más importante	Extremadamente más importante	ALTERNATIVA
	Searcher MK III										Orbiter 3
	Searcher MK III										Atlantic
	Searcher MK III										Fulmar
	Searcher MK III										Scan Eagle
	Orbiter 3										Atlantic
	Orbiter 3										Fulmar
	Orbiter 3										Scan Eagle
	Atlantic										Fulmar
	Atlantic										Scan Eagle
	Fulmar										Scan Eagle



Anexo B CONFERENCIA EXPLICATIVA AL GRUPO DE EXPERTOS PREVIA A LA COMPARACIÓN DE CRITERIOS Y ALTERNATIVAS



**CUESTIONARIO PARA LA EVALUACIÓN EL SISTEMA
IDÓNEO DE EMPLEO DE RPAS PARA LA
LOCALIZACIÓN DE OBJETIVOS MARÍTIMOS Y
CORRECCIÓN DEL TIRO DE ARTILLERÍA DE COSTA.**

USO OFICIAL

CAC ALEJANDRO PÉREZ VERDUGO



ÍNDICE



- PROPÓSITO
- MÉTODO AHP
- CRITERIOS
- ALTERNATIVAS
- ENCUESTA

USO OFICIAL



PROPÓSITO



- **EXPLICAR LA FORMA EN QUE SE REALIZARÁ EL ESTUDIO Y EL CUESTIONARIO**
- **MOSTRAR LOS CRITERIOS Y ALTERNATIVAS DE LOS CUÁLES SE VA A REALIZAR EL ESTUDIO**

USO OFICIAL



MÉTODO AHP



- **Un grupo de expertos evalúan la importancia de los criterios de decisión, para estudiar la alternativa idónea según los criterios.**
- **Se comparan los criterios y las alternativas de forma “Todos contra todos”, para simplificar el proceso.**
- **Se obtienen unos pesos o valores asociados a cada criterio, y unos pesos o valores a cada alternativa en función del criterio.**
- **Existe el coeficiente de coherencia, que calcula la coherencia de las respuestas y determina si los resultados son válidos.**

USO OFICIAL



CRITERIOS



- **AUTONOMÍA**
- **ALCANCE**
- **FACILIDAD DE DESPEGUE Y ATERRIZAJE**
- **OPERATIVIDAD EN CONDICIONES CLIMÁTICAS ADVERSAS**
- **PERSONAL NECESARIO**
- **CALIDAD DE CÁMARAS Y SENSORES**
- **TIEMPO DE PUESTA EN SERVICIO**

USO OFICIAL



ALTERNATIVAS



- **SEARCHER MK III**
- **ORBITER 3**
- **ATLANTIC**
- **FULMAR**
- **SCAN EAGLE**

USO OFICIAL



ALTERNATIVAS



SEARCHER MK III

Autonomía	14 horas	
Alcance	200 km	
Facilidad de despegue y aterrizaje	Pista	
Operatividad en condiciones climáticas adversas	Limitada	
Personal necesario	9 personas	
Calidad de cámaras y sensores	Muy alta y precisa	
Tiempo de puesta en servicio	20 minutos	

USO OFICIAL



ALTERNATIVAS



ORBITER 3

Autonomía	7 horas	
Alcance	150 km	
Facilidad de despegue y aterrizaje	Lanzadera/Paracaidas	
Operatividad en condiciones climáticas adversas	Moderadamente buena	
Personal necesario	3 personas	
Calidad de cámaras y sensores	Muy alta y precisa	
Tiempo de puesta en servicio	10 minutos	

USO OFICIAL



ALTERNATIVAS



ATLANTIC I

Autonomía	5 horas	
Alcance	130 km	
Facilidad de despegue y aterrizaje	Lanzadera/Pista	
Operatividad en condiciones climáticas adversas	Limitada	
Personal necesario	2 personas	
Calidad de cámaras y sensores	Muy alta y precisa	
Tiempo de puesta en servicio	15 minutos	

USO OFICIAL



ALTERNATIVAS



FULMAR

Autonomía	7 horas	
Alcance	90 km	
Facilidad de despegue y aterrizaje	Lanzadera/Red	
Operatividad en condiciones climáticas adversas	Limitada	
Personal necesario	3 personas	
Calidad de cámaras y sensores	Decente	
Tiempo de puesta en servicio	30 minutos	

USO OFICIAL



ALTERNATIVAS



SCAN EAGLE

Autonomía	20 horas	
Alcance	100 km	
Facilidad de despegue y aterrizaje	Lanzadera/Skyhook	
Operatividad en condiciones climáticas adversas	Excelente	
Personal necesario	9 personas	
Calidad de cámaras y sensores	Moderadamente buena	
Tiempo de puesta en servicio	10 minutos	

USO OFICIAL



ENCUESTA



CRITERIO	Extremadamente más importante	Mucho más importante	Suficiente más importante	Moderadamente más importante	IGUAL	Moderadamente más importante	Suficiente más importante	Mucho más importante	Extremadamente más importante	CRITERIO
Autonomía										Alcance
Autonomía										Facilidad de despegue y aterrizaje
Autonomía										Operatividad en condiciones climáticas
Autonomía										Personal necesario
Autonomía										Calidad de cámaras y sensores
Alcance										Tiempo de puesta en servicio
Alcance										Facilidad de despegue y aterrizaje
Alcance										Operatividad en condiciones climáticas
Alcance										Personal necesario
Alcance										Calidad de cámaras y sensores
Alcance										Tiempo de puesta en servicio
Facilidad de despegue y aterrizaje										Operatividad en condiciones climáticas
Facilidad de despegue y aterrizaje										Personal necesario
Facilidad de despegue y aterrizaje										Calidad de cámaras y sensores
Facilidad de despegue y aterrizaje										Tiempo de puesta en servicio
Operatividad en condiciones climáticas										Personal necesario
Operatividad en condiciones climáticas										Calidad de cámaras y sensores
Operatividad en condiciones climáticas										Tiempo de puesta en servicio
Personal necesario										Calidad de cámaras y sensores
Personal necesario										Tiempo de puesta en servicio
Calidad de cámaras y sensores										Tiempo de puesta en servicio
CRITERIO	Extremadamente más importante	Mucho más importante	Suficiente más importante	Moderadamente más importante	IGUAL	Moderadamente más importante	Suficiente más importante	Mucho más importante	Extremadamente más importante	CRITERIO



Alejandro Pérez Verdugo



ENCUESTA



AUTONOMÍA	ALTERNATIVA	Extremadamente más importante	Mucho más importante	Bastante más importante	Moderadamente más importante	IGUAL	Moderadamente más importante	Bastante más importante	Mucho más importante	Extremadamente más importante	ALTERNATIVA
	Searcher MK III										Orbiter 3
	Searcher MK III										Atlantic
	Searcher MK III										Fulmar
	Searcher MK III										Scan Eagle
	Orbiter 3										Atlantic
	Orbiter 3										Fulmar
	Orbiter 3										Scan Eagle
	Atlantic										Fulmar
	Atlantic										Scan Eagle
	Fulmar										Scan Eagle

USO OFICIAL



PREGUNTAS

USO OFICIAL