



Trabajo Fin de Grado

Observación del tiro de Artillería de Campaña por
RPAS

Autor

Jorge Rubio Ramírez

Director/es

Ángel Gracia Ramos
Cap. Juan Ignacio Fernández González

Centro Universitario de la Defensa – Academia General Militar
Año 2019

RESUMEN

A lo largo de la historia, la Artillería ha sufrido numerosos cambios tanto físicos, a través de la evolución de las propias piezas de Artillería, como metodológicos a la hora de efectuar las mejoras en la puntería o en la corrección del tiro. Si bien en sus comienzos las piezas de Artillería eran utilizadas como armas de puntería directa¹, conforme ha pasado el tiempo, se han visto sujetas a grandes cambios que han reflejado la evolución dentro del sector militar, mejorando tanto las características de las piezas como su eficiencia. La observación y corrección del tiro, también han sufrido importantes variaciones.

La observación del tiro de Artillería se hace, principalmente, a través de observadores avanzados que actualmente han sido dotados con sistemas tecnológicamente avanzados. Pero existen además otros medios que aumentan las capacidades de observación. Concretamente los RPAS (Remotely Piloted Aerial System) según sus siglas en inglés son sistemas que pueden observar el tiro y dar una calificación del mismo para su posterior corrección. La finalidad de este trabajo de fin de grado es determinar qué sistema aéreo remotamente tripulado sería el más apto para realizar la observación del tiro de Artillería de Campaña (ACA).

En primer lugar se ha realizado un estudio comparativo de los RPAS, partiendo de los requerimientos necesarios de las aeronaves y sus sensores para observar el tiro. También se ha realizado una comparación de las características generales y de sus sensores. Posteriormente se han analizado el empleo de los RPAS en el ámbito militar. Además se ha recabado información acerca de los problemas que pueden afectar a la precisión de la plataforma aérea. Así mismo se ha realizado un estudio de caso desde el sector militar en el que a través de un estudio operativo de las distintas aeronaves se ha determinado cual es la aeronave más apta para la observación del tiro, un estudio de los costes de adquisición y de mantenimiento del RPAS “Atlantic”, y por ultimo un análisis de riesgos para determinar los riesgos de más impacto y probabilidad para la aeronave seleccionada.

Como conclusión final se ha determinado que el RPAS “Atlantic” es el más apto para la observación del tiro de Artillería gracias a sus características y la capacidad de sus sensores. Dentro de las limitaciones cabe mencionar que este trabajo ha tenido en cuenta 5 tipos de RPAS de todos los que se pueden encontrar en el ámbito militar tanto a nivel nacional como internacional y que de entre todas las funciones que pueden realizar los RPAS, este proyecto se ha centrado concretamente en la observación del tiro.

¹ **Puntería directa:** existe una línea de visión directa entre el arma y el objetivo

ABSTRACT

Throughout history, Artillery has undergone physical and methodological changes through both Artillery pieces and the correction of the shot itself. Although in its beginnings Spanish Artillery pieces were used as direct aiming weapons, they have been subject to major changes that have reflected the evolution within the military sector, improving both their characteristics and their efficiency. The observation and correction of the Artillery fire has also undergone numerous changes. While in the beginning the observation was made through advanced observers, these have now been replaced by other technologically more advanced systems. Specifically, RPAS are systems that can observe the shot and give a rating of it in order to correct it.

The purpose of this final degree project is to determine which RPAS would be the best suited to conduct the observation of the field Artillery shot.

For this purpose, firstly, a comparative study of the RPAS has been carried out, in which the necessary requirements of the aircraft and their sensors to observe the shot have also been selected, a comparison of the general characteristics and their sensors has also been made. Subsequently, the different trajectories or modes of flight of the RPAS as well as their use in the military field have been analysed. In addition, information has been collected about problems that may affect the accuracy of the aerial platform. A case study has also been carried out from the military sector in which an operational study of the different aircraft has determined which aircraft is most suitable for shooting observation, and finally a risk analysis to determine the most impact and probability risks for the selected aircraft.

As a final conclusion it has been determined that the RPAS "Atlantic" is the most suitable for observation of the artillery firing thanks to its characteristics and the capacity of its sensors. Among the limitations it is worth mentioning that this work has taken into account 5 types of RPAS of all that can be found in the military field both nationally and internationally and that among all the functions that RPAS can perform, this project has focused specifically on shooting observation.

AGRADECIMIENTOS

Quisiera expresar mi agradecimiento a todos mis compañeros y amigos de la Batería RPAS del GAIL II/63 por todo su apoyo, ya que sin su ayuda y conocimientos no habría sido posible elaborar este trabajo.

Agradecer también al personal de la empresa Sistemas de Control Remoto la información aportada a través de sus distintos manuales.

Una mención especial al profesor D. Ángel Gracia Ramos, al Capitán D. Juan Ignacio Fernández González, al Teniente D. Alberto Salvador Vera y al Brigada D. Francisco Ortega García por su supervisión, ayuda e información aportada para la realización de este TFG.

Finalmente me gustaría agradecer a mi familia y amigos todo el apoyo recibido durante mi estancia en la academia.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	4
3. METODOLOGÍA.....	5
4. ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS RPAS	6
4.1 OBSEVACIÓN Y CORRECCIÓN DEL TIRO.....	6
4.2 COMPARACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS GENERALES.....	8
4.3 COMPARACIÓN DE SUS CÁMARAS Y SENSORES	12
5. ANÁLISIS DE LA TRAYECTORIA Y RPAS EN EL ÁMBITO MILITAR.....	13
5.1 TRAYECTORIA DE LOS RPAS.....	13
5.2 RPAS EN EL ÁMBITO MILITAR	14
6. ESTUDIO DEL PROBLEMA DE LA PRECISIÓN	15
7. ESTUDIO DE CASO DESDE EL SECTOR MILITAR	16
7.1 ANÁLISIS OPERATIVO.....	16
7.2 COSTES.....	20
7.3 RIESGOS	21
8. CONCLUSIONES	25
8.1 LIMITACIONES	25
8.2 NUEVAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	26
9. BIBLIOGRAFÍA.....	27

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1- Análisis DAFO del uso de RPAS. Elaboración propia</i>	3
<i>Ilustración 2 - Zona de seguridad (Buffer Zone) de 1000 ft entre la flecha del ejercicio de tiro y la mínima altitud de vuelo del RPAS [15].</i>	7
<i>Ilustración 3 - RPAS de clase 1 Raven [16]</i>	9
<i>Ilustración 4 - RPAS de clase 1 Fulmar. Fotografía original</i>	9
<i>Ilustración 5 - RPAS de clase 1 Tucán. Fotografía original</i>	10
<i>Ilustración 6 - RPAS de clase 1 Atlantic. Fotografía original</i>	10
<i>Ilustración 7 - RPAS de clase 2 Searcher MK-III [21]</i>	11
<i>Ilustración 8 - Situación relativa de las unidades productoras de fuego, las trayectorias de tiro y la ubicación de la Ruta de Observación del Tiro (ROT) [15]</i>	14
<i>Ilustración 9 - Análisis de riesgos del RPAS Atlantic. Elaboración propia</i>	24
<i>Ilustración 10 - Estación de control en tierra. Foto original</i>	30

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1 - Tabla comparativa entre los distintos tipos de RPAS. Elaboración propia.</i>	11
<i>Tabla 2 - Matriz de decisión para la selección del RPAS. Elaboración propia.</i>	17
<i>Tabla 3 - Estimación de costes anuales y de adquisición del sistema Atlantic. Elaboración propia.</i>	20
<i>Tabla 4 - Categorización y priorización de riesgos del sistema Atlantic. Elaboración propia.</i>	21
<i>Tabla 5 - Matriz de riesgos del sistema Atlantic. Elaboración propia.</i>	22
<i>Tabla 6 - Clasificación basada en categorías OTAN de RPAS según su peso al despegue (TOW) [27]</i>	29

LISTA DE ACRÓNIMOS

ACRÓNIMO	SIGNIFICADO	TRADUCCIÓN
ACA	Artillería de Campaña	
AMSL	Above medium sea level	Altura sobre el nivel del mar
CDI	Centro de Impacto	
CUMA	Cuadro de mando	
BDA	Battle Damage Assessment	Evaluación de daños
DAFO	Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades	
DGAM	Dirección General de Armamento y Material	
EO	Electroóptico	
FAS	Fuerzas Armadas	
Ft.	Feet	Pies
GAIL	Grupo de Artillería de Información y Localización	
GCS	Ground Control System	Estación de control en tierra
GROSA	Grupo de Obtención por Sistemas Aéreos	
GPS	Global Positioning System	Sistema de Posicionamiento Global
HALO	Hostile Artillery Locating	Sistema Localizador de Artillería Hostil
I+D	Investigación más desarrollo	
IR	Infrarrojo	
ISTAR	Intelligence, Surveillance, Target Acquisition and Reconnaissance	Inteligencia, vigilancia, adquisición de objetivos y reconocimiento
Kg	Kilogramo	
Km	Kilometro	

Km/h	Kilómetros por hora	
m	Metro	
MTP	Militar tropa profesional	
NOTAM	Notice To Airmen	Información para aviadores
OAV	Observador avanzado	
OTAN	Organización del Tratado Atlántico Norte	
PCART	Puesto de Mando de Artillería	
ROT	Ruta de Observación de Tiro	
RPAS	Remotely Piloted Aircraft System	Sistema de aeronaves pilotadas a distancia
SAR	Synthetic Aperture Radar	Radar de apertura sintética
SCR	Sistemas de Control Remoto	
TFG	Trabajo Fin de Grado	
TOW	Take Off Weight	Peso al despegar

1. INTRODUCCIÓN

La misión de la Artillería de Campaña (ACA) [1], es dar apoyo de fuego a las operaciones terrestres, empleando para ello Artillería clásica (cañón) y cohete; también planifica y coordina estos fuegos de apoyo, campo en el que actúa el Grupo de Artillería de Información y Localización (GAIL), cuya misión es obtener la mayor cantidad de información para así precisar la localización y composición del objetivo (Target), así como la evaluación táctica de daños. La capacidad del GAIL se basa en el uso de radares de contrabatería y contramorteros, sistemas de localización por el sonido y sistemas de aeronaves pilotadas por control remoto (RPAS).

Para que las unidades de Artillería puedan cumplir con su misión de apoyo a las operaciones terrestres, y colaborar en la adquisición de objetivos y vigilancia del campo de batalla, necesitan datos e información. La obtención de esa información la tiene encomendada el GAIL, que la realiza mediante sistemas específicos. Con esos mismos sistemas se realiza, de manera paralela, la calificación y/o corrección del tiro. Al efectuar el tiro, las trayectorias de los proyectiles se ven afectadas por distintos fenómenos que los desvían del objetivo. Las causas de los desvíos no pueden preverse ni controlarse por completo durante el cálculo de los datos de tiro, lo que obliga a observar el punto de caída y a introducir correcciones en los datos de tiro iniciales. Los RPAS objeto de este estudio serían los encargados de realizar la observación del tiro, dando calificaciones (coordenadas del punto de impacto) y evaluaciones tácticas de daños (BDA – Battle Damage Assesment).

Los RPAS [2] son aeronaves que vuelan sin tripulación, siendo controlados remotamente a través de operadores [3] mediante el uso de monitores y que pueden estar situados a cientos e incluso miles de kilómetros de distancia de la aeronave. Los RPAS realizan en la actualidad numerosas misiones [4], tanto de reconocimiento como de ataque. Existe una gran variedad de sistemas aéreos remotamente tripulados, varían según sus formas, tamaños, configuraciones y características, incorporan sistemas de posicionamiento, navegación, propulsión, comunicaciones [5] y enlaces de datos, lo que hace que se puedan adaptar a cualquier situación táctica. Los RPAS suelen ser empleados en misiones demasiado peligrosas para los aviones tripulados.

Los RPAS son sistemas constituidos por un segmento aéreo y otro terrestre. El segmento aéreo está formado por la plataforma aérea y la carga útil, que a su vez se compone de los medios requeridos para la misión: Sistemas de sensores optoelectrónicos, armamento [6], designadores láser y radares. El terrestre incluye equipos de control y comunicaciones así como otros elementos que permiten difundir la información obtenida por los sensores a los diferentes usuarios. Además, también disponen de medios para poner en vuelo y recuperar con seguridad la plataforma aérea. Las capacidades de estos sistemas han mejorado considerablemente en los últimos años, sobre todo en lo referente a la detección, localización y adquisición de objetivos así como en los medios ISTAR (Intelligence, Surveillance, Target Acquisition and Reconnaissance) o los sistemas de seguridad [7] de la propia aeronave.

Existe una gran variedad de sistemas aéreos remotamente tripulados, cada uno con características específicas que diferencian a unos de otros. El Ejército de Tierra se basa en una clasificación de la OTAN [8] (Anexo A) para estas aeronaves en la cual podemos diferenciar si son RPAS de clase uno (menos de 150kg), clase dos (entre 150 y 600kg) o clase tres (más de 600kg) dependiendo del peso máximo al despegar.

De entre todos los RPAS disponibles, debido al conocimiento de estos sistemas por parte de la Bía RPAS, el tiempo que llevan en dotación y la función que realizan a nivel División, este trabajo se centra en cinco de ellos:

- El “Raven” [8], construido y comercializado por la empresa estadounidense “AeroVironment” es un vehículo aéreo que efectúa despliegues rápidos y de gran movilidad. Puede ser operado tanto manual como automáticamente, dispone además de navegación en tiempo real y grabación de video.
- El “Fulmar” [9] es un tipo de RPAS de la empresa española “Wake Engineering”, necesita un equipo de tres personas para ponerlo en funcionamiento; los dos ordenadores que constituyen la estación de control en tierra (GCS) (Anexo B) permiten controlar el vuelo.
- El RPAS “Tucán” [10] ha sido desarrollado por la empresa Sistemas de Control Remoto [11] a través del proyecto “Rapaz” [12], la estructura compacta y ligera de esta aeronave y los dispositivos existentes en su carga útil, como su cámara giroestabilizada², hacen que pueda volar con escasa probabilidad de ser detectado.
- El “Atlantic” [13] es el último de los sistemas aéreos remotamente tripulados pertenecientes a la categoría de clase uno estudiados en este trabajo, ha sido también desarrollado por la empresa española Sistemas de Control Remoto. Son necesarias dos personas para ponerlo en funcionamiento, además tiene la capacidad de despegar, volar y aterrizar de manera completamente automática.
- La aeronave remotamente tripulada “Searcher MK-III” [8], pertenece a los RPAS de clase dos. Puede realizar diversas misiones como vigilancia, reconocimiento, designación de objetivos para el tiro e incluso la valoración de los efectos conseguidos sobre el objetivo. Entre los elementos que constituyen su carga útil destacan su cámara multiespectral³, su sistema de seguimiento automático, sus radares SAR, altímetros y telémetros láser.

² **Giroestabilizada:** emplea mecanismos que hacen que la cámara se mantenga estable a pesar de los movimientos de la plataforma.[10]

³ **Multiespectral:** captura datos de imágenes dentro de rangos de longitud de onda específicos a través del espectro electromagnético.[8]

A lo largo de este trabajo se va a llevar a cabo un estudio para determinar si los sistemas aéreos remotamente tripulados son de utilidad para la observación del tiro. En él se analizaran las ventajas e inconvenientes a la hora de realizar las misiones de adquisición de objetivos, observación, corrección del tiro y evaluación de daños que tienen encomendadas.

La ilustración 1 muestra, de forma resumida, el análisis DAFO⁴ llevado a cabo.

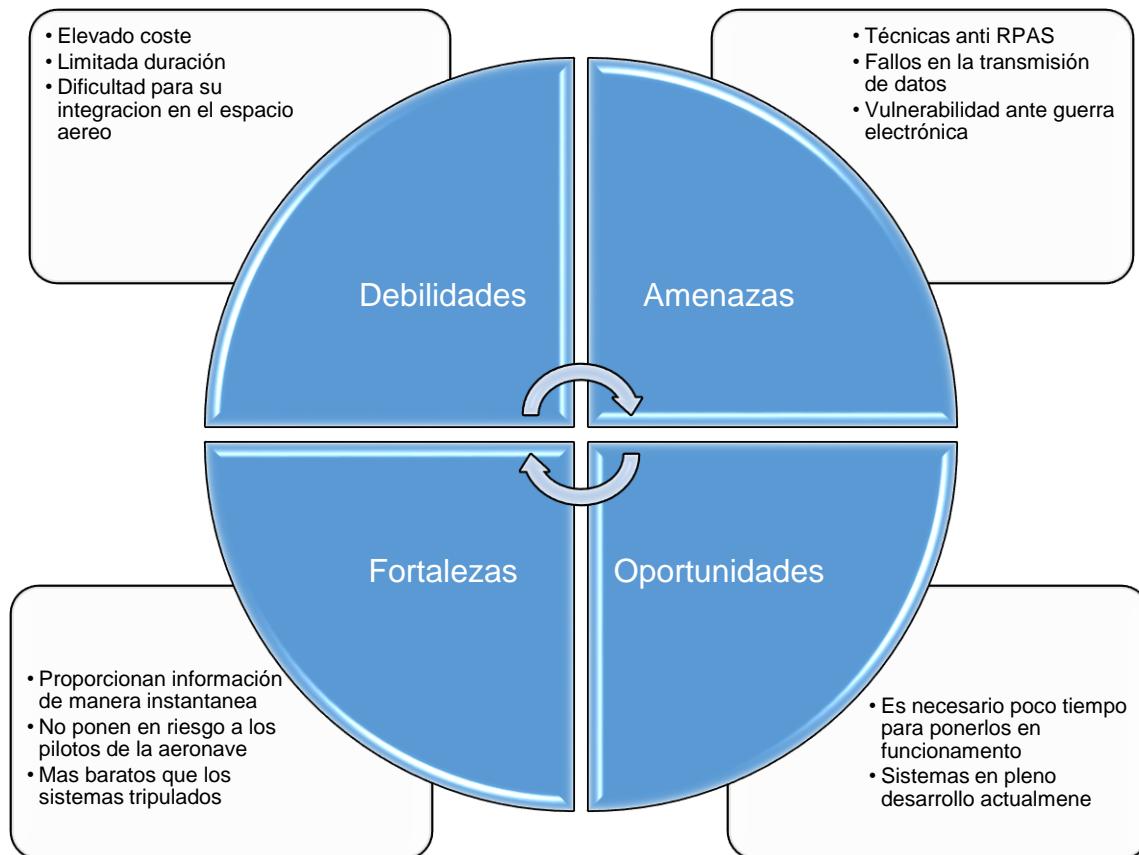


Ilustración 1- Análisis DAFO del uso de RPAS. Elaboración propia

Como conclusiones del análisis DAFO se puede mencionar que el empleo de los RPAS se encuentra en pleno auge. Pese a su elevado coste, limitada autonomía y las numerosas técnicas anti RPAS existentes, es un sistema que supera tanto en tiempo de despliegue como en su coste (inferior) a las aeronaves tradicionales. La principal ventaja de estos sistemas es que no se pone en riesgo la vida del operador. Muchos ejércitos de otros países (Estados Unidos, Rusia, Alemania, Reino Unido, Argentina y Francia entre otros) han invertido grandes cantidades de dinero para la investigación y desarrollo de estos sistemas.

⁴ **DAFO**: es una herramienta que permite estudiar las debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades de un determinado producto u organización.

El Ejército de Tierra dispone en la actualidad de los siguientes sistemas:

- El “Searcher MK-III” y el “Raven”, el primero se encuentra en servicio en el Grupo de Obtención por Sistemas Aéreos⁵ (GROSA), y el segundo en las Compañías de Inteligencia (CiaINT) de las Brigadas.
- Dentro del programa “Rapaz” se adquirieron el “Fulmar”, el “Atlantic” y el “Tucán”; el primero es operado por la CiaINT de la Brigada Aragón nº1⁶, el segundo por el GAIL II/63 y el tercero por diversas unidades, entre ellas el GAIL II/63.

Los sistemas RPAS son empleados para diversas funciones, la observación del tiro de Artillería se encuentra actualmente en fase experimental, por lo que este trabajo puede contribuir a determinar el sistema más eficaz disponible en nuestro ejército.

El espectro económico es uno de los grandes condicionantes a la hora de seleccionar el RPAS más adecuado. La adquisición del sistema, su mantenimiento, la huella logística⁷ y la infraestructura necesaria resultan esenciales.

2. OBJETIVOS

El objetivo principal de este trabajo es determinar cuál es el RPAS más adecuado para llevar a cabo la corrección del tiro de ACA realizado por las unidades de apoyos de fuego atendiendo a las características principales de las aeronaves objeto de este estudio. También pretende identificar el tipo de cámara más adecuada para realizar las misiones de observación, corrección de tiro y evaluación de sus posibles efectos. Finalmente se pretende determinar los posibles problemas que puedan afectar a la precisión de los sistemas.

El marco de operación de este estudio es la obtención de información de un Puesto de Mando de Artillería (PCART) de División, que es donde se sitúa el elemento de adquisición de objetivos y adónde llegan las imágenes que transmiten, permitiendo de esta manera al mando de División adoptar las medidas oportunas.

⁵ **Grupo de Obtención de Sistemas Aéreos:** es una Unidad encuadrada en el Regimiento de Inteligencia nº1, que se encuentra en la Base Conde de Gazola, en León. Realiza inteligencia, reconocimiento y vigilancia de puntos de interés a través de adquisición de imágenes en tiempo real.

⁶ **Brigada Aragón:** Unidad con sede en Zaragoza. Alberga numerosos regimientos como son el Regimiento de Artillería de Campaña nº 20, el Regimiento de Infantería “Galicia” nº 64 de Cazadores de Montaña o el Regimiento de Infantería “Arapiles” nº 62 entre otros.

⁷ **Huella logística:** conjunto de medios humanos y materiales que acompañan a las unidades de combate para garantizar su sostenimiento.

3. METODOLOGÍA

Este estudio se ha realizado consultando manuales del Ejército de Tierra y de la empresa Sistemas de Control Remoto. Se ha recabado también información de distintos Trabajos de Fin de Grado de compañeros de la Academia General Militar. Las entrevistas al personal experto de la unidad han sido de gran ayuda para la elaboración de este trabajo.

Las palabras clave para la búsqueda de información de este trabajo han sido RPAS, drones⁸, trayectorias, observación de tiro, Artillería de Campaña y balística.

La metodología de análisis DAFO ha sido empleada a lo largo de este trabajo. Se ha tenido en cuenta variables tales como el tiempo para poner a las aeronaves en funcionamiento, el precio, la duración de sus baterías, o los posibles fallos.

También se han utilizado tablas en las que se comparan las características principales de las aeronaves (alcance, autonomía, modos de despegue y aterrizaje, velocidad máxima y el peso entre otras) y otras de estimación de costes de adquisición y de mantenimiento de las aeronaves.

Igualmente se han realizado entrevistas (Anexo C y D) y consultas al personal de la unidad y de la empresa Sistemas de Control Remoto para determinar cuáles son las características más importantes que deben tener los RPAS. Una vez determinadas las aeronaves en la siguiente entrevista se ha dado una valoración a los criterios de las aeronaves. Para ello se han seleccionado a seis expertos de la Batería RPAS, este personal ha sido seleccionado por sus conocimientos avanzados respecto al tema que se trata. La mayoría son cuadros de mando del arma de Artillería que han participado en diversas misiones y han desempeñado puestos tácticos relacionados con estos sistemas. Estas encuestas cuentan con gran consideración para el trabajo debido a la experiencia del personal seleccionado.

Todas las entrevistas (Anexo C) han tenido una duración aproximada de 15 minutos. La primera parte de la entrevista consta de varias preguntas para determinar los años de servicio del personal, así como los cursos relacionados con los sistemas RPAS. La segunda está compuesta de diversas preguntas para la obtención de información con la finalidad de establecer posteriormente una clasificación de los sistemas, así como para determinar los riesgos más importantes que puedan afectar a estos. Las entrevistas en las que se pedía dar un valor numérico a los criterios de las aeronaves (Anexo D) han tenido una duración aproximada de 5 minutos, en ellas se pedía a partir de un valor óptimo para cada criterio, aportar una calificación numérica a los criterios de las aeronaves seleccionadas.

⁸ **Dron:** vehículo aéreo que vuela sin tripulación. Su nombre se deriva del inglés drone.

Además, se ha empleado una matriz de decisión para clasificar los RPAS resultantes mediante la ponderación y valoración de sus características principales y la capacidad de sus cámaras.

También se ha utilizado un cronograma (Anexo E) para determinar la duración temporal necesaria para desplegar la Batería RPAS del GAIL. En esta duración temporal se siguen los procedimientos recogidos en toda la normativa necesaria para poder desplegar las aeronaves, entre ellos se encuentran: estudios de viabilidad, solicitud de NOTANS, solicitud de frecuencias y reconocimiento de la zona entre otros. La ausencia de estas solicitudes supondría la imposibilidad de desplegar las aeronaves.

Finalmente, se ha procedido a recabar información acerca de cuáles son los problemas más comunes que afectan a la aeronave (tanto a su despliegue como a su seguridad) a través de una matriz de riesgos, atendiendo a la gravedad del problema y su frecuencia y cuáles son prioritarios a la hora de efectuar las oportunas correcciones en la aeronave.

4. ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS RPAS

4.1 OBSEVACIÓN Y CORRECCIÓN DEL TIRO

Los equipos de observación han sido considerados tradicionalmente como los ojos de la Artillería, y desempeñan un papel fundamental en la misión de la ACA [14]. Sus cometidos fundamentales, en cuanto a la observación del tiro son los siguientes:

- Designación de los objetivos e información sobre estos (dimensiones, tipo y efecto deseado sobre él)
- Corrección del tiro
- Evaluación de daños

Para llevar a cabo estos cometidos cuentan con diversos elementos: cartografía digital, GPS, brújula y telémetro láser (con brújula digital incorporada).

Los principales problemas que pueden tener los observadores avanzados están relacionados con su propia seguridad, ya que generalmente tienen que estar desplegados en zona enemiga para realizar correctamente la observación del tiro y el asesoramiento a la unidad apoyada. Entre las limitaciones que estos sufren hay que destacar la capacidad de sus sensores y los problemas que se puedan dar en la observación (que los objetivos sean inaccesibles o que se encuentren en desenfilada). Estos problemas y limitaciones no se dan en el caso de observar el tiro con RPAS, ya que no se pone en riesgo al operador, y las capacidades de los sensores son superiores a los de los equipos de observación.

La máxima eficacia de los fuegos de Artillería se consigue cuando estos son potentes, precisos, profundos y oportunos, pero pueden verse afectados por muy diversas circunstancias (precisión en la adquisición del objetivo, en los

cálculos de datos de tiro y en la puntería, meteorología...). En lo que atañe a la Observación es necesario conocer la situación del objetivo con la mayor exactitud posible y ser capaz de transmitirla con la mayor rapidez, a fin de que el fuego llegue en el momento deseado y con la máxima precisión. Al efectuar el tiro, las trayectorias de los proyectiles son modificadas por distintos fenómenos que no se pueden controlar al calcular los datos de tiro, por lo que es necesario observar el punto de caída del proyectil para introducir las correcciones oportunas en los datos iniciales del tiro.

La corrección de tiro se emplea para llevar el Centro De Impacto (CDI) al objetivo, de manera que se modifican sucesivamente los datos iniciales del tiro. Existen diversos métodos para la corrección: por incrementos del objetivo (respecto del observador), por coordenadas polares respecto del observador o por coordenadas cartesianas. Estos datos de corrección son transmitidos en el menor tiempo posible al Centro Director de Fuegos (FDC) de la unidad que ejecuta el fuego, dónde se realizarán los cálculos de los nuevos datos de tiro tras introducir las correcciones enviadas. Este proceso se reiterará hasta reducir los desvíos a valores admisibles, y una vez conseguido, se podrá hacer fuego con toda la unidad de tiro. El tiro podrá reiterarse hasta alcanzar los efectos deseados.

El método utilizado por los RPAS es la corrección por coordenadas cartesianas en formato UTM. Mediante este método el operador de la aeronave transmitirá en primer lugar las coordenadas del objetivo, para posteriormente transmitir las del punto de caída de cada proyectil.

El procedimiento de observación del tiro mediante RPAS [15] consiste en efectuar una ruta de observación del tiro planificada, que estará compuesta por una serie de “waypoints”⁹, estableciendo además una zona de seguridad entre la flecha¹⁰ del tiro y la mínima altitud de vuelo de la aeronave, de tal manera que se garantice la seguridad de la misma.

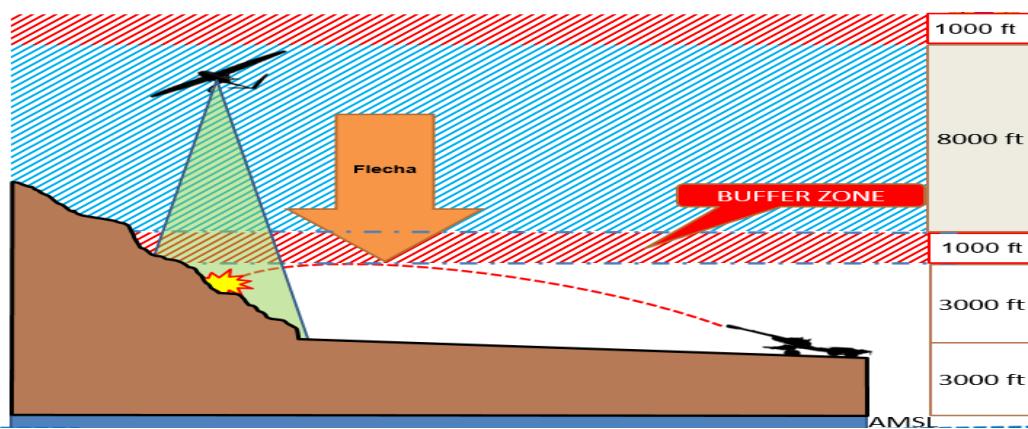


Ilustración 2 - Zona de seguridad (Buffer Zone) de 1000 ft entre la flecha del ejercicio de tiro y la mínima altitud de vuelo del RPAS [15].

⁹ **Waypoints:** conjunto de coordenadas que identifican un punto concreto en el espacio físico terrestre. Dichas coordenadas son la latitud, la longitud y altitud.[15]

¹⁰ **Flecha:** es la altura máxima que alcanza el proyectil durante toda su trayectoria.

Para la correcta observación del tiro, es necesario que tanto la aeronave como sus sensores dispongan de unas capacidades óptimas, para ello en base a los datos obtenidos por la encuesta al personal experto de la unidad (Anexo C), se expone a continuación los datos y características óptimas para el correcto desarrollo de la misión:

- ❖ Alcance: entre 40 y 150 km
- ❖ Autonomía: entre 1 y 8 horas
- ❖ Aterrizaje: por paracaídas o sobre la panza del avión
- ❖ Despegue: por medio de lanzadera o manualmente
- ❖ Huella logística: baja o media
- ❖ Velocidad máxima: de 100 a 170 km/h aproximadamente
- ❖ Peso: inferior a 70 kg
- ❖ Carga útil: cámara de gran resolución¹¹ con sensores electrópticos (EO) e infrarrojos¹² (IR), suficientes aumentos (al menos 10) que permitan diferenciar los objetivos de manera clara, telémetros, altímetros y designadores laser para aumentar al máximo la precisión de las medidas tomadas

Por ello tras estudiar las características de los diferentes tipos de RPAS conviene realizar una comparación entre ellas para identificar que aeronave sería la más apta para la observación del tiro.

4.2 COMPARACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS GENERALES

A continuación, se va a proceder a realizar una comparación entre los cinco tipos de RPAS seleccionados para este trabajo. En esta comparativa se tendrán en cuenta las ventajas que pueden aportar y sus posibles condicionantes.

El RPAS de tipo uno “Raven” [16], es uno de los sistemas remotamente tripulados más utilizados. Su alta movilidad y rápido despliegue lo convierten en una buena solución para misiones de inteligencia y reconocimiento a baja altitud y distancia moderada. Este sistema dispone de una carga útil estabilizada, ofrece imágenes en tiempo real tanto en color como infrarrojas. La distancia máxima a la que opera es de tan solo 10 km, lo que lo convierte en un sistema poco efectivo para la observación del tiro de Artillería teniendo en cuenta que el sistema buscado debe operar a nivel División. Otra de sus limitaciones es su bajo techo de vuelo¹³ (150 m), que lo hace fácilmente detectable. Las bajas temperaturas reducen considerablemente la duración de su batería. Solamente es necesario un operador para manejar este sistema.

¹¹ **Resolución:** La resolución de una imagen indica la cantidad de detalles que puede observarse en esta. El término es comúnmente utilizado en relación a imágenes de fotografía digital, pero también se utiliza para describir cuán nítida es una imagen de fotografía convencional.[13]

¹² **Infrarroja:** La radiación infrarroja, o radiación IR es un tipo de radiación electromagnética, de mayor longitud de onda que la luz visible, pero menor que la de las microondas.[13]

¹³ **Techo de Vuelo:** En aeronáutica, el techo de vuelo es la altitud máxima que una aeronave o un misil pueden alcanzar en un conjunto de condiciones.[8]



Ilustración 3 - RPAS de clase 1 Raven [16]

El “Fulmar” [9] es otro de los RPAS de clase uno que gracias a su diseño puede operar en diversos entornos, lo que le permite realizar misiones de inteligencia, vigilancia y reconocimiento. Suele ser empleado cuando es necesario un despliegue rápido sobre plataformas terrestres o marítimas. Tiene la capacidad de transmitir imágenes de alta definición desde una posición alejada. Son necesarios dos operadores para controlar el sistema. Las limitaciones [17] que más pueden afectar su correcto funcionamiento son principalmente las condiciones meteorológicas adversas como una velocidad del viento superior a 50 km/h.



Ilustración 4 - RPAS de clase 1 Fulmar. Fotografía original

El “Tucán” [18], RPAS de clase uno, puede llevar a cabo misiones de reconocimiento y vigilancia remota de corto alcance. Tiene la capacidad de transmitir imágenes en tiempo real con las coordenadas, altitud y velocidad de vuelo. Son necesarios dos operadores para controlar este sistema, además tiene su propio piloto automático. Sus 40 kilómetros de alcance lo convierten en una aeronave muy efectiva para entrenamiento, dispone de un sistema de emergencia de recuperación por paracaídas en caso de accidente. Las condiciones meteorológicas adversas y una temperatura excesivamente alta o baja además de su corto alcance efectivo son sus principales limitaciones.



Ilustración 5 - RPAS de clase 1 Tucán. Fotografía original

El “Atlantic” [13], el último RPAS de clase uno de este estudio, es un sistema aéreo remotamente tripulado de medio alcance y alto rendimiento. Ha sido especialmente diseñado para misiones ISTAR (reconocimiento, localización de objetivos, vigilancia e inteligencia). Solamente son necesarios dos operadores para manejarlo, además puede realizar su misión de manera completamente automática, y dispone de un sistema de emergencia de recuperación por paracaídas. Una de sus limitaciones es la necesidad de una pista de aterrizaje con unas dimensiones mínimas de 500 metros de largo y 16 de ancho. Las condiciones meteorológicas adversas o una temperatura excesivamente alta o baja podrían suponer un riesgo para su correcto funcionamiento.



Ilustración 6 - RPAS de clase 1 Atlantic. Fotografía original

Finalmente, el “Searcher MK-III” [19], es el RPAS de clase dos apto para llevar a cabo misiones de vigilancia, adquisición de objetivos, evaluación de daños y ajuste de Artillería y reconocimiento. Permite la transmisión de datos en tiempo real a una gran distancia. Sus materiales de baja visibilidad radar y su óptica adaptada lo hacen apto para misiones nocturnas y lo convierten en un sistema muy recomendable a la hora de realizar las misiones sin ser detectado. El “MK-III” dispone de mejores prestaciones aerodinámicas y manejo. Las mediciones son muy precisas en cuanto a distancia e imágenes de alta resolución. Entre sus posibles limitaciones [20] se encuentran el elevado coste del material, así como la infraestructura y logística necesaria. El aterrizaje con viento de cola puede desestabilizar el sistema llegando a ocasionar en las situaciones más graves daños estructurales en la aeronave.

Observación del tiro de Artillería de Campaña por RPAS



Ilustración 7 - RPAS de clase 2 Searcher MK-III [21]

En la tabla 1 se detallan, de forma resumida, las características de cada una de las aeronaves.

	Autonomía	Alcance	TOW	Velocidad	Despegue	Aterrizaje
Raven	60-90 min	10 km	1,9kg	32-81 km/h	Lanzamiento a mano	Con la panza de la aeronave
Fulmar	7 horas	90 km	20kg	100-150 km/h	Lanzadera	Red desplegable o paracaídas
Tucán	90 min	40 km	4,996kg	63-97 km/h	Lanzadera	Paracaídas o con la panza de la aeronave sobre el suelo
Atlantic	5 horas	130 km	50kg	100-170 km/h	Lanzador o pista	Paracaídas o tren de aterrizaje
Searcher MK-III	14 horas	200 km	435kg	110-200 km/h	Tren de aterrizaje	Tren de aterrizaje

Tabla 1 - Tabla comparativa entre los distintos tipos de RPAS. Elaboración propia.

Como conclusión, los RPAS “Raven” y “Searcher MK-III” pese a sus fortalezas, resultan ineficaces a la hora de desempeñar la función de observación del tiro de ACA.

La aeronave “Raven” presenta diversas limitaciones como pueden ser su corta autonomía¹⁴, su corto alcance y su baja cota de vuelo. El RPAS tipo “Searcher MK-III” tiene unas características que exceden las necesidades para desempeñar la función de observación del tiro, algunas de sus desventajas son la elevada huella logística que precisa (y por tanto el coste de desplegar este sistema) y la necesidad de una infraestructura superior a cualquier otro sistema remotamente tripulado. Además, los ejércitos actuales tienden a apostar por sistemas más ligeros que pueden satisfacer cualquier necesidad.

Las aeronaves “Fulmar”, “Tucán” y “Atlantic” resultan inicialmente y desde el punto de vista operativo, las más adecuadas para la observación del tiro.

¹⁴ **Autonomía:** Capacidad máxima de una máquina, en especial un vehículo, para funcionar sin necesidad de reponer combustible o recargar sus baterías.[13]

4.3 COMPARACIÓN DE SUS CÁMARAS Y SENSORES

El RPAS “Fulmar” posee una cámara “Octopus Épsilon 140 Z” (modelo de cámara desarrollada por la empresa Octopus ISR Systems) dual con una lente EO para visión diurna y otra IR para visión térmica. Tiene la capacidad de transmitir tanto la imagen como las coordenadas del punto seleccionado. Esta cámara no dispone de designador láser¹⁵, lo que dificulta en gran medida la capacidad de la aeronave para determinar las coordenadas exactas tanto del objetivo como del punto de impacto del disparo, carece además de telémetros o altímetros láser, lo que afecta considerablemente a la precisión de la aeronave.

El RPAS “Tucán” lleva instalada una cámara “NightHawk 2” (modelo de cámara desarrollada por la empresa Nextvision) giroestabilizada que cuenta con visión térmica además de otra cámara dentro del espectro visible de resolución HD. Esta cámara transmite tanto la imagen como las coordenadas del punto seleccionado en la pantalla. El sistema no posee designador láser, altímetros o telémetros, por lo que la exactitud en la precisión puede verse afectada.

El RPAS “Atlantic” dispone de dos posibles combinaciones de cámara, por un lado la “Octopus 145 Z” (modelo de cámara desarrollada por la empresa Octopus ISR Systems) permite seguir a los Objetivos de ACA desde grandes alturas con un elevado nivel de calidad. Asimismo posee telémetros¹⁶ y altímetros¹⁷ láser que disminuyen al máximo el error de posicionamiento. La cámara “OTUS-U135” (modelo de cámara de la empresa DST Control) giroestabilizada también puede ser embarcada en la aeronave, esta cámara dispone de sensores EO e IR, aptos para la visión diurna y térmica. La disponibilidad de un designador láser en su cámara lo convierte en un sistema muy recomendable para determinar las coordenadas que se están observando. Además, la precisión de este sistema es mayor que la de las otras dos aeronaves mencionadas, debido principalmente a las capacidades de sus sensores. Cuando el operador de la cámara selecciona con la cruz filiar la imagen que tiene en pantalla, el RPAS transmite automáticamente las coordenadas del punto seleccionado

La cámara más apta para la observación del tiro de Artillería es la “MOSP” del RPAS “Searcher MK-III” [20], pero debido al elevado coste tanto del sistema como de su carga útil (5.3 millones de euros el sistema con su carga útil y 1 millón de euros su cámara), para este trabajo se ha seleccionado la segunda mejor cámara, la “Octopus145 Z” del RPAS “Atlantic”. Debido a la capacidad sus sensores integrados, sería por tanto la elegida para llevar a cabo la observación del tiro de artillería, aportando datos con máxima precisión.

¹⁵ **Designador láser:** Un designador láser es una fuente de luz láser utilizada para iluminar un objetivo. Los designadores láser proveen guías para bombas guiadas por láser, misiles, o piezas de Artillería de precisión.[13]

¹⁶ **Telémetro:** Un telémetro es un dispositivo capaz de medir distancias de forma remota. El telémetro láser es capaz de realizar medidas de distancia de forma automática como el ultrasónico, pero con mayor exactitud que el telémetro óptico.[20]

¹⁷ **Altímetro:** Un altímetro es un instrumento de medición que indica la diferencia de altitud entre el punto donde se encuentra localizado y un punto de referencia; habitualmente se utiliza para conocer la altura sobre el nivel del mar de un punto.[20]

5. ANÁLISIS DE LA TRAYECTORIA Y RPAS EN EL ÁMBITO MILITAR

5.1 TRAYECTORIA DE LOS RPAS

Se define como trayectoria la maniobra automática que se efectúa través de una línea o de un recorrido de un punto a otro y que ayuda al operador a realizar los movimientos que son difíciles de completar manualmente [22]. En la aviación esta trayectoria es llamada aerovía, plan de vuelo o ruta aérea, es decir una ruta designada en el espacio aéreo¹⁸ que dispone de elementos de ayuda a la navegación. Es un recorrido definido tanto en altura como en dirección que realiza una aeronave. La generación de una trayectoria implica el conjunto de rutas con las limitaciones del tiempo que se definen para una tarea orientada a la misión. Los puntos de referencia en la generación de esta trayectoria dependen de los requisitos de las misiones. El rendimiento y la seguridad son algunos de los factores que pueden realizar cambios en esta trayectoria. Para ello la automatización de las aeronaves remotamente tripuladas con la finalidad de sustituir los procesos manuales realizados típicamente por el ser humano, es un factor clave pues aportan muchas ventajas como la disminución del coste y las limitaciones al sistema que puedan suponer los operadores manuales.

Los RPAS pueden realizar tres tipos de planes de vuelo automáticos, semiautomáticos o manuales dependiendo del modo en el que es controlada la aeronave.

En el modo automático se establecen una serie de comandos¹⁹ iniciales para el vuelo, dependiendo del tipo de misión o de las condiciones que se puedan dar. Por ejemplo, podemos encontrar los comandos de despegue y aterrizaje. Además de los modos de vuelta a casa, espera o el dirigirse a un punto. Todos estos comandos pueden ser activados o desactivados por el operador en cualquier instante. En estos tipos de modo la aeronave tiene una ruta programada, los parámetros de velocidad altura posicionamiento también están incluidos en estas trayectorias, por lo que el operador simplemente se limita a observar que el transcurso de la trayectoria sea el correcto y modificar o anular este comando en caso de que sea necesario. El modo de vuelo espera, es otro ejemplo, en este la aeronave vuela de acuerdo con distintos comandos y valores definidos por el ordenador de la misión, utilizando coordenadas de Sistema de Posicionamiento Global (GPS), este modo de vuelo puede ser utilizado durante las retenciones en la operación.

De entre los modos semiautomáticos destacan los modos de vuelo Knobs²⁰ y los sistemas guiados por cámara. En estos modos de vuelo el operador selecciona los parámetros de velocidad, altura y modo de vuelo

¹⁸ **Espacio aéreo:** zona reservada para el uso exclusivo de vuelo por un periodo de tiempo limitado.

¹⁹ **Comando:** Se define comando al mensaje enviado al ordenador, por parte del usuario, y que va a provocar una respuesta en este. Los comandos son en realidad órdenes, pues indican al dispositivo informático que debe hacer o ejecutar a continuación, según el comando que se le envíe.[20]

²⁰ **Knobs:** Nombre que reciben los modos de vuelo en el manual del Searcher MK-III, su traducción del inglés significa botón.

mediante parámetros. Este modo se utiliza para fines generales de vuelo sin necesidad de ningún procedimiento de planificación previa. A lo largo del vuelo el operador puede realizar cambios de comando empleando las correcciones necesarias que considere oportunas. El modo de vuelo guiado por cámara, es un modo operativo, en el cual los parámetros predefinidos de la cámara van a determinar el funcionamiento de la aeronave. Este modo de vuelo suele ser utilizado a la hora de seguir un objetivo predefinido, en caso de que este objetivo se detenga la aeronave entrará automáticamente en modo espera.

Finalmente el modo manual suele ser un modo empleado en situaciones de emergencia, por ejemplo el fallo de un sensor o la desviación durante el vuelo, así como maniobras que deban ser empleadas por el operador durante el despegue y el aterrizaje cuando las condiciones no sean las oportunas y puedan suponer un peligro para la aeronave. Este modo permite controlar por completo manualmente a la aeronave, convierte el uso de la palanca de control en comandos para modificar la actitud de la aeronave.

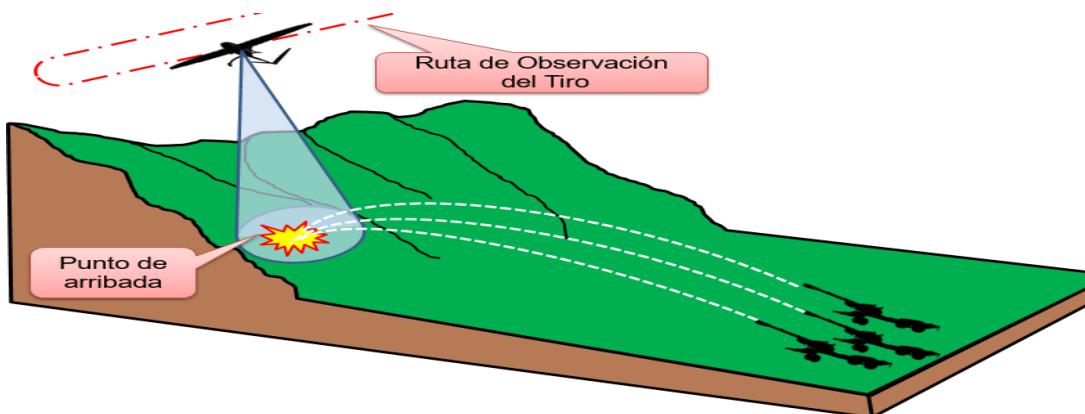


Ilustración 8 - Situación relativa de las unidades productoras de fuego, las trayectorias de tiro y la ubicación de la Ruta de Observación del Tiro (ROT) [15]

5.2 RPAS EN EL ÁMBITO MILITAR

En el ámbito militar, los RPAS son empleados en un gran número de misiones. La evaluación de daños, vigilancia aérea, observación del tiro, inteligencia y reconocimiento son algunas de las misiones principales que llevan a cabo en las unidades de Artillería. Las necesidades de la ACA son cada vez más complejas ya que se pretende batir o corregir el tiro a grandes distancias y durante un período de tiempo muy escaso. Es por eso que los RPAS desarrollan un papel fundamental. Algunos países como Estados Unidos, Rusia [23], Israel, Alemania o España, entre otros, han invertido una gran cantidad de recursos para la investigación de estos sistemas.

El proyecto “Rapaz” [12] y el proyecto “Atlante” [24] son algunos ejemplos de proyectos realizados en España con la finalidad de potenciar el desarrollo de la tecnología de los sistemas remotamente tripulados. La identificación de blancos, corrección del tiro y evaluación de daños son solo algunos de los requisitos que eran demandados a estos proyectos. Aunque también se puede mencionar la lucha antiterrorista, contra la piratería, el tráfico de drogas o la

inmigración ilegal como otras posibles aplicaciones desarrolladas para estos sistemas.

El proyecto Rapaz fue lanzado por la Dirección General de Armamento y Material con la finalidad de evaluar los distintos sistemas RPAS de tipo uno desarrollados por la industria española y conocer así las capacidades reales en misiones de inteligencia y reconocimiento para adquirir estos sistemas en un futuro. Este proyecto pone en contacto a los usuarios de los sistemas con los fabricantes, lo que permite adaptar los sistemas a las necesidades de las unidades operativas.

El proyecto Rapaz sigue en fase de desarrollo. En el año 2017 la empresa española de Sistemas de Control Remoto fue seleccionada por la DGAM para satisfacer las necesidades reales de las unidades operativas. Actualmente la BIA RPAS es la encargada de establecer las necesidades de dichos sistemas, concretamente disponen de los RPAS de clase 1 “Tucán” y “Atlantic”. A través de las campañas de vuelo que se realizan una vez al mes y tienen una duración de cinco días, el personal experto de la unidad está en contacto con los técnicos de la empresa SCR con la finalidad de solventar las limitaciones que tienen estos sistemas durante dichas campañas de vuelo. Por ejemplo los objetivos que se buscaban en la campaña de vuelo realizada en septiembre de 2019 eran: automatizar el aterrizaje del RPAS “Atlantic” y determinar el techo de vuelo máximo de este.

Otros países como Estados Unidos tienen otros proyectos tales como el “Boeing Airpower” [25] cuya finalidad es dotar a los RPAS de una automatización que permita acompañar a los cazas, bombarderos y aviones de carga en sus misiones militares, integrará también paquetes de sensores para respaldar misiones de inteligencia, reconocimiento y guerra electrónica, además estarán dotados de una inteligencia artificial para volar de manera completamente independiente.

Por otro lado Rusia tiene proyectos con la finalidad de derribar otros drones, este es el caso del “Solaris-N” [26], en el cual un RPAS inteligente en modo automático es capaz de detectar otro objeto volador, analizar su trayectoria y derribarlo en caso de que se trate de otro RPAS.

6. ESTUDIO DEL PROBLEMA DE LA PRECISIÓN

La precisión en las plataformas aéreas es uno de los factores de mayor importancia. El espacio aéreo está sometido a un constante incremento de tránsito de aeronaves, lo que demanda un esfuerzo constante para garantizar su seguridad. Pese a la evolución de los sistemas integrados en las aeronaves, como los altímetros y telémetros laser, los sistemas GPS, las cámaras de última generación, los radares y los designadores láser, todos ellos tienen a menudo errores que pueden afectar consecuentemente a la precisión de la aeronave.

Uno de los problemas que se da con frecuencia en las aeronaves son los errores de paralaje. El paralaje es el ángulo formado por la dirección de dos líneas visuales relativas a la observación de un mismo objeto desde dos puntos distintos, suficientemente alejados entre sí y que no se encuentran alineados con él. Cuando el eje de la aeronave y el lugar enfocado por la cámara dan distintas mediciones, estas pueden estar ocasionadas por un error de paralaje. Este puede inducir a problemas en la percepción de una imagen cuando la aeronave no se encuentra situada a la altura del objeto observado. Conforme la cercanía entre el observador y el objetivo sea mayor, el error de paralaje es también mayor.

Por otro lado existe el problema de la resolución, entendida como el detalle de las fotografías tomadas por el RPAS. La resolución se encuentra directamente relacionada con la distancia entre dos píxeles consecutivos o Ground Sample Distance (GSD). Por tanto cuanto menor sea esta distancia, mayor será la resolución espacial obtenida por el sistema. Los dos factores que más afectan a la GSD son: la altura de vuelo y la óptica de la cámara, una mayor altura de vuelo aumenta la GCS y por tanto disminuye la resolución. Una cámara con mayor número de megapíxeles obtendría una GSD menor.

Finalmente tanto los sensores de la aeronave como los sistemas situados en tierra involucrados en el control del RPAS tienen una serie de errores de control y estimación. La acumulación de dichos errores puede ocasionar problemas en la precisión de la aeronave. Para minimizar estos errores se emplea el filtro de Kalman²¹.

7. ESTUDIO DE CASO DESDE EL SECTOR MILITAR

7.1 ANÁLISIS OPERATIVO

Como se ha visto anteriormente, los RPAS que son empleados actualmente por nuestro ejército son las aeronaves de tipo uno y tipo dos mencionadas.

Los RPAS “Raven” y “Searcher MK-III” no poseen la suficiente capacidad o exceden la huella logística y los costes necesarios para el empleo de los sistemas remotamente tripulados con la finalidad de observar el tiro de Artillería de Campaña. Cualquiera de las otras tres estudiadas (“Fulmar”, “Tucán” y “Atlantic”) sería apta para ello. Para determinar cuál sería la más apropiada, se va a proceder a realizar una matriz de decisión con los criterios ponderados correspondientes (alcance, autonomía, capacidad de su cámara, modo de despegue y aterrizaje y velocidad máxima).

Para la ponderación se han tenido en cuenta los requisitos fundamentales para poder cumplimentar la misión.

²¹ **Filtro de Kalman:** algoritmo desarrollado por Rudolf Emil Kalman que sirve para identificar el error no medible de un sistema. Emplea mediciones de entrada y matrices de incertidumbre.

Uno de los mayores condicionantes a la hora de evaluar a las diferentes aeronaves es la magnitud de la zona donde se puede desarrollar la misión, ya que puede abarcar desde decenas a centenas de kilómetros, el alcance y la autonomía desempeñan un papel fundamental por lo que su nota de ponderación es superior.

Otro requisito relevante es la capacidad de su carga útil²², por ello, una cámara con gran resolución, sensores EO e IR, y la capacidad de transmitir esos datos de forma instantánea resultan de vital importancia, por eso ocupa el tercer puesto en cuanto a ponderación.

La huella logística y la velocidad máxima que puede alcanzar son otros factores muy influyentes a la hora de seleccionar una aeronave, una baja huella logística supondría una mayor capacidad para desplegar dicho sistema aéreo remotamente tripulado, por otro lado, la elevada velocidad de la aeronave permitiría atravesar las zonas frecuentadas por elementos hostiles en un menor tiempo si fuese necesario.

Por último el método de despegue y aterrizaje obtendría la nota más baja en cuanto a ponderación se refiere ya que a pesar de que este criterio es importante a la hora de desplegar los medios, la importancia de los demás criterios supera al método de despegue o de aterrizaje.

Para seleccionar tanto los criterios de decisión como la ponderación de estos, se han tomado los resultados de las entrevistas y encuestas (Anexo C) realizadas al personal de la unidad y de la empresa Sistemas de Control Remoto.

La tabla 2 resume los criterios de decisión, su ponderación y la valoración final de cada una de las aeronaves seleccionadas ateniéndose a dichos criterios.

CRITERIOS DE DECISION	PONDERACIÓN (1-9)	ATLANTIC			TUCÁN			FULMAR		
		DATOS	PUNT.	TOTAL	DATOS	PUNT.	TOTAL	DATOS	PUNT.	TOTAL
ALCANCE (KM)	9	130	0,87	7,83	40	0,27	2,43	90	0,6	5,4
AUTONOMÍA	8	5H	0,56	4,48	90MIN	0,11	3,2	7H	0,87	6,96
CARGA UTIL	7		1	7		0,5	3,5		0,7	4,9
DESPEGUE	4	TREN O LANZADERA	0,9	3,6	LANZADERA	1	4	LANZADERA	1	4
ATERRIZAJE	4	PARACAIDAS O TREN	0,9	3,6	PARACAIDAS O PANZA	1	4	RED	0.5	2
HUELLA LOGISTICA	5	MEDIA	0,8	4	BAJA	1	5	BAJA	1	5
VELOCIDAD MAXIMA (KM/H)	5	170	1	5	97	0,57	2,85	150	0,88	4,4
				35,51			24,98			32,66

Tabla 2 - Matriz de decisión para la selección del RPAS. Elaboración propia.

²² **Carga útil:** dispositivos de la aeronave que no son necesarios para el vuelo. Los más comunes son sistemas electrópticos, pero puede contener también armamento, radares y dispositivos de comunicaciones entre otros.[13]

Para realizar la puntuación de los criterios se ha realizado una encuesta (Anexo D) al personal experto de la unidad, de manera que a partir del criterio óptimo, se ha seleccionado la puntuación media aproximada obtenida en dicha encuesta.

El alcance resulta ser la característica principal a la hora de evaluar la aeronave más adecuada para efectuar correctamente la observación del tiro de Artillería. Como se puede ver en la tabla el “Atlantic” es el que dispone de un mayor alcance seguido por el “Fulmar” y el “Tucán”.

La autonomía de la aeronave por su parte también es clave, en este caso la aeronave tipo “Fulmar” es superior a las otras dos, si bien es cierto que el “Atlantic” se encuentra todavía en fase de desarrollo y por lo tanto las medidas de alcance autonomía y velocidad máxima se pueden ver incrementadas gracias a la implementación de motores más eficientes y a la modificación de su carga útil.

La capacidad de la cámara es el siguiente criterio a tener en cuenta por su importancia, en este caso la capacidad de la aeronave “Atlantic” al disponer la cámara “Octopus 145 Z” y la cámara “OTUS-U135” giroestabilizada, además de la posesión de diversos sistemas de posicionamiento como telémetros y altímetros láser, la hacen sin duda alguna la aeronave con mayor capacidad en cuanto carga útil se refiere.

El modo ideal de despegue y aterrizaje sería el lanzamiento manual y el aterrizaje sobre la panza de la aeronave, el “Raven” (ya descartado anteriormente por no cumplir las necesidades básicas) sería el único sistema que cumpliría este requisito, sin embargo el “Tucán” sería el sistema remotamente tripulado más conveniente a la hora de despegar y aterrizar.

Por otro lado la huella logística de estas tres aeronaves es media o baja, tanto el “Tucán” como el “Fulmar” pueden ser puestos en funcionamiento en un tiempo inferior a 30 minutos con tan solo tres personas, además estos dos sistemas son lanzados a través de una lanzadera, el RPAS tipo “Atlantic”, sin embargo, precisa de una huella logística superior, son necesarios tanto un mayor número de personal como la necesidad de una pista de aterrizaje para que la aeronave pueda despegar y aterrizar, por lo que dicha huella logística encarece el sistema.

Finalmente la velocidad máxima que pueden adquirir las aeronaves ronda entre los 97 y 170 km/h, en este caso es nuevamente la aeronave tipo “Atlantic” la más apta de todas.

Sí se observa la nota total teniendo en cuenta la ponderación de los criterios y la puntuación de cada aeronave, se llega a la conclusión de que el sistema aéreo remotamente tripulado más apto para la observación del tiro de Artillería de Campaña es el RPAS tipo “Atlantic”, seguido del RPAS tipo “Fulmar” y de la aeronave tipo Tucán, la cual a pesar de ser la menos apta para la observación del tiro de Artillería, su baja huella logística y su facilidad para

despegar y aterrizar lo hacen un sistema excepcional para el entrenamiento de los pilotos de RPAS.

Se puede concluir por tanto que, el sistema aéreo remotamente tripulado que cumple con una mejor puntuación para llevar a cabo la observación del tiro de Artillería de Campaña desde el punto de vista operativo es el RPAS “Atlantic”.

A pesar de que el RPAS “Atlantic” dispone de las cualidades necesarias para llevar a cabo la misión de observar el tiro de ACA, este sistema presenta una serie de peculiaridades que pueden afectar al desarrollo de la misión. En primer lugar el “Atlantic” es un sistema que todavía se encuentra en fase de desarrollo, a pesar de ser automático, precisa de la constante supervisión del operador para comprobar su correcto funcionamiento. En la Batería RPAS del GAIL solamente existe un operador capacitado para desempeñar esta función, por lo que la ausencia de este y la necesidad de relevos debido a los largos periodos de trabajo, pueden ser inconvenientes para el despliegue de la aeronave. Los fallos internos de la aeronave, las condiciones climatológicas adversas o la tecnología anti RPAS del enemigo son otros factores a tener en cuenta.

Los modos de vuelo influyen sobre la situación de la plataforma aérea en relación al objetivo [20]. Si es un objetivo en movimiento habrá que adaptar la velocidad, rumbo, altura de vuelo y ángulo de observación al vehículo observado. Si es un lugar concreto de un objetivo fijo (puerta o ventana de un edificio) habrá que diseñar una ruta o un patrón de vigilancia que evite lugares ciegos de observación. Cada objetivo y cada misión han de afrontarse de una determinada forma, y los modos de vuelo/navegación influyen de manera determinante en el éxito de la operación. En el RPAS “Atlantic” se puede emplear cualquiera de los tres modos de vuelo anteriormente mencionados. A través del proyecto Rapaz [12] se están solventando las posibles limitaciones que tiene el modo de vuelo automático (despegue, aterrizaje, techo de vuelo, alcance máximo). Concretamente durante la campaña de vuelo realizada en septiembre de 2019 se trató de automatizar el despegue y aterrizaje de la aeronave cuando las condiciones meteorológicas no son las óptimas.

Los problemas de precisión están íntimamente relacionados con los modos de vuelo. Cuanto más nos alejamos de la vertical sobre el objetivo, más se distorsionan y se incrementan los polígonos de error sobre el área de observación. Si incluimos los errores internos de la óptica, los inducidos por el movimiento de la plataforma y el factor humano del operador de la cámara, el resultado acumulativo es exponencial a medida que nos alejamos de esa situación ideal en la vertical sobre el objetivo. Para minimizar estos errores al mínimo los sensores de la aeronave “Atlantic” emplean funciones en las que se tienen en cuenta mediciones de entrada y matrices de incertidumbre, por ejemplo filtro de Kalman es empleado por algunos de los sensores de la aeronave (como su cámara) para reducir los errores de la medición.

7.2 COSTES

Una vez analizados los datos operativos, se procede a continuación a realizar un estudio de los costes que supone el mantenimiento de la aeronave “Atlantic” y el combustible que esta emplea. Además, se ha buscado información acerca del coste de adquisición de la aeronave y sus sensores. Debido a la escasa información acerca del mantenimiento del resto de sistemas, este factor no ha sido tenido en cuenta como criterio a la hora de evaluar las distintas aeronaves

En este estudio se ha tenido en cuenta el coste diario de la aeronave durante una campaña de vuelo. El personal de la empresa Sistemas de Control Remoto ha facilitado a través de sus informes y operadores un cálculo aproximado del coste de la aeronave y de los sensores que en ella lleva integrados así como el mantenimiento de esta.

Para los cálculos de la siguiente tabla se ha seleccionado el modelo más reciente que se encuentra actualmente en fase experimental, este modelo ha sufrido una serie de modificaciones tanto en su estructura como en su motor lo que ha aumentado considerablemente su valor. La Tabla 3 muestra la estimación de costes de adquisición, gasto en combustible y de mantenimiento de la aeronave.

Estimación Costes diarios Bás. RPAS con la aeronave Atlantic	Coste (€)	Comentarios
1 Costes de adquisición (se efectúa un único pago)	1.000.000	El coste de 2 aeronaves, cámara “Octopus 145 Z” y una estación de control en tierra
2 Coste de combustible de la aeronave(anual)	599.2	Consumo aeronave: 1 aeronave x 8 horas x 0.8 litros/hora x 1,3€/litro (gasolina 95) x 5 días/mes x 12 meses
3 Coste de mantenimiento (anual)	8.000	El seguro de la aeronave, los repuestos en stock (motor y piezas de repuesto) sin incluir el fuselaje principal de repuesto
8.599.2€ /año		
Total y 1.000.000€ de adquisición		

Tabla 3 - Estimación de costes anuales y de adquisición del sistema Atlantic. Elaboración propia.

Los costes aproximados del RPAS “Atlantic” rondan los 8.600 euros anuales. En caso de tener que sustituir el fuselaje principal de la aeronave supondría un coste adicional de 8.000 euros cada vez que se realice esta sustitución. Si bien es cierto que tanto esta cifra como la del precio de adquisición de la aeronave son cifras orientativas puesto que el coste de despliegue y mantenimiento van a depender de diversos factores como pueden el empleo de más de un sistema aéreo remotamente tripulado en el mismo tiempo, las horas de vuelo programadas para las aeronaves o la logística necesaria.

La aeronave seleccionada y sus sensores se encuentran todavía en fase experimental, por lo que el precio de la aeronave es una estimación aportada por el personal de la empresa Sistemas de Control Remoto. Es importante

mencionar también que en la venta de estos sistemas no se puede hacer de forma individual, el precio final de venta suele incluir dos o más sistemas aéreos remotamente tripulados así como la estación de control terrestre²³.

La DGAM es la encargada de efectuar los pagos. Tanto la adquisición de las aeronaves y sus sensores como el mantenimiento de estas y del combustible durante las campañas de vuelo. A través del proyecto Rapaz, la DGAM seleccionó a la empresa de SCR para satisfacer las necesidades ISTAR del Ejercito, las campañas de vuelo son clave para determinar las capacidades de las aeronaves aportadas por la empresa.

7.3 RIESGOS

A la vista de las conclusiones de párrafos anteriores, se ha llevado a cabo un análisis cualitativo de los riesgos de manera que permita categorizarlos y priorizarlos. La finalidad de este análisis es determinar cuáles son los mayores riesgos para el desarrollo de la misión así como cuál es la probabilidad de ocurrencia de estos riesgos, y consecuentemente determinar cuáles son las medidas que hay que priorizar para mitigar esos riesgos. Los riesgos que a continuación se exponen son válidos para cualquiera de las cinco aeronaves de este proyecto. Este análisis se ha centrado concretamente en el RPAS “Atlantic”.

Este estudio ha sido llevado a cabo gracias a la información aportada por los expertos en la materia como son el personal de la Batería RPAS y el personal de la empresa Sistemas de Control Remoto. La tabla 4 muestra los riesgos detectados por orden de prioridad ateniéndonos a la probabilidad de que sucedan e impacto.

PRIORIDAD	RIESGO
1	Caída en terreno enemigo
2	Falta de operadores del sistema Atlantic
3	Cansancio de los operadores
4	Vulnerabilidad a la guerra electrónica
5	Pérdida de señal
6	Condiciones meteorológicas desfavorables
7	Choque con otra aeronave
8	Cuestiones legales que dificulten el uso de la aeronave
9	Avería del motor durante el vuelo
10	Certificación de los operadores y de las aeronaves

Tabla 4 - Categorización y priorización de riesgos del sistema Atlantic. Elaboración propia.

²³ **Estación de control en tierra:** la Ground Control Station o GCS consiste por lo general en un contenedor desplegable, el cual contiene los elementos que permiten controlar la aeronave y su carga útil.[13]

A continuación se muestra una matriz con el sumario de los riesgos mencionados anteriormente.

Probabilidad	3	0	0	3	Impacto	Clase riesgo	Nº						
	2	0	1	3		Alto (rojo)	3						
	1	1	1	1		Alto - medio (naranja)	3						
	Bajo		Medio			Medio (amarillo)	3						
Impacto						Bajo (verde)	1						
						Total:	10						

Tabla 5 - Matriz de riesgos del sistema Atlantic. Elaboración propia.

En primer lugar aparecen los riesgos de mayor impacto y los que tienen una alta probabilidad (color rojo). Sus consecuencias son incompatibles con el correcto desarrollo de la misión. La caída de la aeronave en terreno enemigo ya sea a través de guerra electrónica, armamento enemigo o un fallo técnico en el sistema, es uno de los tres riesgos más importantes a tener en cuenta. El cansancio de los operadores o la falta estos afecta también de manera significativa al transcurso de la misión. Para ello se han planteado una serie de posibles actuaciones para reducir tanto la probabilidad de ocurrencia de estos riesgos, como la gravedad de los mismos.

En segundo lugar están los riesgos de alto impacto y media probabilidad (color naranja). Las condiciones climatológicas adversas, la pérdida de señal o la vulnerabilidad de la aeronave a la guerra electrónica son los tres riesgos pertenecientes a esta categoría. La misión puede verse gravemente afectada pero la probabilidad de ocurrencia de estos riesgos es menor a la de los mencionados anteriormente.

En tercer lugar se encuentran los riesgos de medio impacto y probabilidad media-baja (color amarillo). El choque con otra aeronave, las cuestiones legales para el empleo de la aeronave o un fallo en el funcionamiento del motor son otros tres riesgos a tener en cuenta en esta categoría. En el caso del fallo del motor o del choque con la aeronave son riesgos que tendrían un impacto mucho mayor si no existiesen soluciones para reducir tanto la probabilidad de suceso como su impacto en caso de suceso. El desarrollo de tecnología capaz de solventar automáticamente estos problemas supondría la reducción tanto de la probabilidad de ocurrencia como su impacto a mínimo.

Por último los riesgos de bajo impacto y probabilidad (color verde) son riesgos asumibles siempre y cuando no perduren en el tiempo. Se pueden solventar fácilmente y no tienen apenas impacto en el correcto transcurso de la misión.

Análisis de riesgos										
ID	Descripción riesgo	Categoría riesgo	Causa del riesgo	Impacto (bajo, medio, alto)	Probabilidad (1,2,3)	Clase riesgo	Efectos riesgo	Medida	Clase riesgo tras implementar medida	Responsable
1	Condiciones meteorológicas desfavorables	Planificación	Determinadas condiciones meteorológicas como lluvia o viento pueden afectar al vuelo del RPAS así como al correcto funcionamiento de sus medios; pudiendo incluso impedir su empleo si las condiciones son muy adversas.	H	2	2H	Sería un efecto alto ya que en caso de se produzca no se puede emplear el aparato, pudiendo caer en terreno enemigo o sufrir accidentes tanto en el despegue como el aterrizaje.	Es importante implementar un UAV con gran capacidad de resistencia frente a condiciones meteorológicas adversas. Y revisar con frecuencia las condiciones meteorológicas	2M	Empresa fabricante/ sección de operaciones de la Bfa RPAS
2	Choque con otra aeronave	Planificación	Se contempla la posibilidad de que durante el vuelo, el RPAS impacte con otra aeronave.	H	1	1H	Un impacto podría provocar el accidente y pérdida del UAV.	Se debe obtener un sistema que tenga la suficiente autonomía como para detectar y evitar a otros objetos durante el vuelo.	1L	Empresa fabricante
3	Pérdida de señal	Técnica	Un fallo en el sistema de enlace del RPAS podría provocar la pérdida de contacto con el objetivo.	H	2	2H	La pérdida de señal de la aeronave puede ocasionar problemas en la precisión o en el correcto transcurso de la misión llegando incluso a poder caer en terreno enemigo.	Sistema que permite a la aeronave dirigirse automáticamente al último punto donde se perdió la señal o a su punto de origen.	2L	Empresa fabricante
4	Cuestiones legales que dificulten el uso de la aeronave	Legislación	Dificultad para integrar el sistema RPAS en el espacio aéreo.	M	2	2M	No permite volar a la aeronave en determinados lugares, puede ocasionar colisiones aéreas.	Implementar sistemas que aumenten la seguridad en vuelo, como pueden ser los sistemas sense and avoid que al detectar un posible obstáculo son capaces de evitarlos, reduciendo de esta manera tanto la probabilidad de colisión como los efectos en la aeronave	1M	Empresa fabricante

5	Avería del motor durante el vuelo	Técnica	Fallo mecánico que impida el funcionamiento del motor.	M	1	1M	La pérdida del motor en la aeronave supondría su caída que provocaría consecuentemente la rotura de la aeronave.	La implementación de un sistema paracaídas que minimice los daños en caso de perder el motor.	1L	Empresa fabricante
6	Caída en terreno enemigo	Planificación	Guerra electrónica, fallos técnicos en el sistema o armamento antiaéreo enemigo	H	3	3H	Pérdida de la aeronave y de la información	El sistema debe incluir contramedidas así como medios capaces de hacer frente a la guerra electrónica. Además se puede incrementar el techo de vuelo para reducir la eficacia de los sistemas antiaéreos enemigos.	1H	Empresa fabricante
7	Falta de operadores del sistema Atlantic	Recursos	En la Batería RPAS solo se dispone de un operador de este sistema.	H	3	3H	El RPAS no puede efectuar su misión.	Facilitar la realización de cursos para este tipo de sistema.	1L	Empresa fabricante
8	Cansancio de los operadores	Física	Largos períodos de trabajo con breves descansos y el elevado nivel de concentración necesario para operar la aeronave.	H	3	3H	Aumenta la probabilidad de sufrir un accidente o incluso afectar al correcto cumplimiento de la misión.	Una reducción de los turnos así como el aumento del número de operarios.	1H	Jefe de la unidad RPAS
9	Vulnerabilidad a la guerra electrónica	Técnica	El enemigo puede disponer de medios de guerra electrónica muy potentes con los que inutilizar el RPAS o llegar a controlarlo.	H	2	2H	Captura de información por parte del enemigo. Pérdida de control de la aeronave o incluso incapacitación total de la aeronave.	Será fundamental adquirir un sistema de difícil detección, así como muy blindado frente a los ataques electromagnéticos enemigos. Transmitir la información de manera cifrada puede ser otra posible solución.	1M	Empresa fabricante
10	Certificación de los operadores y de las aeronaves	Regulación	Reconocimiento CIMA de los operadores así como la certificación de las aeronaves.	L	1	1L	Dificultad para desplegar la aeronave	Comprobar los certificados y renovar el CIMA con suficiente antelación.	1L	Operadores de la aeronave y jefe de la Bía RPAS

Ilustración 9 - Análisis de riesgos del RPAS Atlantic. Elaboración propia

8.CONCLUSIONES

La observación del tiro y su corrección ha sido, a lo largo de la historia, una de las principales necesidades de la Artillería de Campaña (ACA). Los RPAS se han convertido en una posible herramienta para solventar esta necesidad.

A lo largo de este estudio se han analizado desde el punto de vista operativo, de costes y riesgos, diferentes RPAS usados en el Ejército de Tierra. Las encuestas al personal de la Batería RPAS han desempeñado un papel fundamental para la realización de este trabajo tanto para elaborar las tablas comparativas como para establecer la ponderación y valoración de estas.

Como resultado del análisis mencionado, se considera al RPAS “Atlantic” con su cámara “Octopus 145 Z” como el más adecuado para llevar a cabo este cometido. Su reducido coste en comparación con los RPAS de tipo II tanto en adquisición como en mantenimiento, lo hace un sistema muy eficaz para desempeñar la misión de observación del tiro.

8.1 LIMITACIONES

Para este trabajo han sido considerados los RPAS tipo: “Raven”, “Fulmar”, “Tucán”, “Atlantic” y “Searcher MK-III”. Si bien es cierto que hay otros tipos de RPAS tanto en ámbito nacional como internacional que no han sido considerados en este trabajo y que podrían complementar el estudio. Los motivos principales por los que no se han tenido en cuenta otras aeronaves para este trabajo son que el resto de sistemas RPAS son de reciente adquisición y no han podido ser estudiados en profundidad por los operadores, además las aeronaves seleccionadas son las más representativas del ET y disponen de ópticas apropiadas para la observación del tiro de ACA.

Además, el estudio de este trabajo se ha centrado principalmente en la observación del tiro de Artillería, sin embargo los RPAS pueden ser empleados para otros tipos de misiones.

Otra de las posibles limitaciones es el hecho de no haber llevado a cabo un trabajo de carácter práctico (en el que se determine el comportamiento real de las distintas aeronaves sobre el terreno) debido a no disponer de los sistemas mencionados ni de ejercicios de tiro para llevar a cabo la observación de este.

Al tratarse de un estudio innovador, no existe información acerca de los costes que supone realizar la observación del tiro de ACA con estos sistemas, por lo que en un futuro se podría realizar una estructura de costes más completa.

A pesar de que el sistema Atlantic ha sido seleccionado como el más adecuado para desempeñar la función de observación del tiro, dicho sistema se encuentra actualmente en fase de desarrollo, a través del proyecto Rapaz, la DGAM pretende adquirir este sistema.

8.2 NUEVAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

A partir del alcance de este trabajo se proponen como líneas de estudio futuras las siguientes

Estudiar las limitaciones mencionadas a través de un proyecto de investigación que tenga en cuenta los diversos sistemas RPAS tanto en ámbito nacional como internacional, así como determinar en qué misiones podrían estar empleados estos sistemas para cumplir de una manera más efectiva la misión.

Llevar a cabo este estudio a nivel práctico para comprobar el comportamiento de las distintas aeronaves mientras se observa el tiro de ACA. Dicho estudio consistiría en realizar pruebas durante los ejercicios de tiro con fuego real de las diversas unidades de ACA desplegadas en territorio nacional. También podrían ser desplegadas en misiones internacionales para observar los tiros de instrucción de las unidades de artillería de los países hospedadores. Esto tendría como objetivo el identificar las posibles deficiencias reales y corregirlas para optimizar el rendimiento de las aeronaves propias.

Realizar una estructura completa de costes, teniendo en cuenta tanto el precio de adquisición de las aeronaves como el coste de mantenimiento y gasto logístico al realizar la observación del tiro. Efectuar además un seguimiento de la evolución tecnológica en el ámbito de las aeronaves no tripuladas con el fin de hacer una estimación de los costes que supondrán las sucesivas actualizaciones de estos sistemas para evitar que queden obsoletos.

Realizar un estudio sobre una posible implementación de un sistema de pilotado automático en la aeronave “Atlantic” que permita efectuar las correcciones de manera autónoma, sin la necesidad de un operador. Ya que actualmente el modo de vuelo automático solamente permite observar la zona programada, pero este sistema no tiene la capacidad de transmitir las coordenadas exactas del punto de impacto, es necesaria la intervención de un operador que seleccione tanto la zona de impacto como el objetivo para que posteriormente se realicen las correcciones oportunas.

9. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Mando de Adiestramiento y Doctrina, Empleo de la Artillería de Campaña. Granada, 2018.
- [2] Gomez-Rodriguez, A., Sanchez-Carmona, A., Garcia-Hernandez, L., & Cuerno-Rejado, C. (2019). Remotely piloted aircraft systems conceptual design methodology based on factor analysis. *Aerospace Science and Technology*, 90, 368-387. doi:10.1016/j.ast.2019.04.041
- [3] Armour, C., & Ross, J. (2017). The health and well-being of military drone operators and intelligence analysts: A systematic review. *Military Psychology*, 29(2), 83-98. Doi: 10.1037/mil0000149
- [4] Crist, J. T. (2014). Analyzing the drone debates: Targeted killing, remote warfare, and military technology introduction doi:10.1057/9781137381576.0004
- [5] Kim, S. J., Lim, G. J., & Cho, J. (2018). Drone relay stations for supporting wireless communication in military operations. *Advances in Human Factors in Robots and Unmanned Systems*, 595, 123-130. Doi: 10.1007/978-3-319-60384-1_12
- [6] Vacca, A., Onishi, H., & Cuccu, F. (2017). Drones: Military weapons, surveillance or mapping tools for environmental monitoring? Advantages and challenges. A legal framework is required. *World Conference on Transport Research - Wctr 2016*, 25, 51-62. doi:10.1016/j.trpro.2017.05.209
- [7] Al-Madani, B., Svirskis, M., Narvydas, G., Maskeliunas, R., & Damasevicius, R. (2018). Design of fully automatic drone parachute system with temperature compensation mechanism for civilian and military applications. *Journal of Advanced Transportation*, 2964583. doi:10.1155/2018/2964583
- [8] Mando de Adiestramiento y Doctrina, PD4-013 Empleo táctico de la unidad de RPAS.
- [9] Thales Group. (2019). Informe del Fulmar. Extraído de <https://www.thalesgroup.com/es/fulmar-x>. [Último acceso: 07 septiembre 2019]
- [10] Sistemas de Control Remoto. (2019). Informe del Tucán. Extraído de <http://scrdrones.com/producto-item/tucan/>. [Último acceso: 07 septiembre 2019]
- [11] Sistemas de Control Remoto. (2019). Información de la empresa. Extraído de <http://scrdrones.com/quienes-somos/>. [Último acceso: 07 septiembre 2019]
- [12] Sistemas de Control Remoto. (2019). Informe del proyecto Rapaz. Extraído de <http://scrdrones.com/casos-de-exito/proyecto-rapaz/>. [Último acceso: 07 septiembre 2019]
- [13] Manual de operación del Atlantic facilitado por el Departamento de RPAS de la empresa SCR.

[14] Mando de Adiestramiento y Doctrina MI-304. Equipo de observador de Artillería de campaña

[15] Norma Operativa. Coordinación del sistema de fuego indirecto y RPAS en CENAD.

[16] AeroViroment. (2019). Informe técnico del Raven. Extraído de <http://www.avinc.com/uas/view/raven>. [Último acceso: 07 septiembre 2019]

[17] Scientific and Technical Reports. (2017). Informe del Fulmar. Extraído de <http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC68160/lbna25183en.pdf>. [Último acceso: 08 septiembre 2019]

[18] Manual de operación del Tucán facilitado por el Departamento de RPAS de la empresa SCR

[19] Israel Aerospace Industries. (2019). Informe del Searcher MK-III. Extraído de <https://www.iai.co.il/p/searcher-mk-iii>. [Último acceso: 08 septiembre 2019]

[20] Manual de operación del SearcherMK-III. INTERNAL PILOT CHECKLIST NORMAL Procedures & Limitations

[21] Wikipedia. (2019). Imagen de Searcher MK-III. Extraido de https://es.wikipedia.org/wiki/IAI_Searcher. [Último acceso: 08 septiembre 2019]

[22] Definición. (2019). Definición de trayectoria. Extraído de <https://definicion.de/trayectoria/>. [Último acceso: 14 septiembre 2019]

[23] L. y. B. C. Grau, «Fires Bulletin. Integration of unmanned aerial systems within Russian artillery», Julio 2016. Obtenido de: <http://sill-www.army.mil/firesbulletin/archives/2016/jul-aug/jul-aug.pdf>. [Último acceso: 15 Septiembre 2019].

[24] Indra. (2019). Informe del proyecto Atlante. Extraído de <https://www.indracompany.com/es/indra/avion-tactico-largo-alcance-tripulado-espanol-atlante>. [Último acceso: 10 septiembre 2019]

[25] Boeing. (2019). Informe del proyecto Boeing Airpower. Extraído de <http://www.boeing.com/defense/airpower-teaming-system/>. [Último acceso: 20 de septiembre 2019]

[26] Spunik. (2019). Informe del proyecto Solaris-N. Extraido de <https://mundo.sputniknews.com/defensa/201810291083044927-tecnologia-defensa-drones-lucha/>. [Último acceso: 20 de septiembre 2019]

[27] Mando de Adiestramiento y Doctrina PD4-301. Empleo táctico del Grupo de Artillería de Información y Localización

Anexo A. Clasificación de las aeronaves

Tarjeta operador RPA	Clase según peso máximo al despegue	Categoría OTAN y acrónimo	Radio normal de misión	Ejemplos de RPAS
Tipo I	Clase I ≤ 150 kg	Micro-RPA	2 km	Black Hornet
		Mini-RPA	10 km	Raven RQ-11 B
		Small-RPA	50 km (alcance medio: MR, <i>Medium Range</i>)	Pelícano
Tipo II	Clase II > 150 y ≤ 600 kg	TUAV (táctico)	200 km (largo alcance: LR, <i>Long Range</i>)	Searcher MK-III
	CLASE III > 600 kg	UCAV (de combate)	Sin límite (enlace por satélite: BLOS, <i>Beyond Line of Sight</i>)	Reaper
		MALE (<i>Medium Altitude Long Endurance</i>)		Heron TP
		HALE (<i>High Altitude Long Endurance</i>)		Global Hawk

Tabla 6 - Clasificación basada en categorías OTAN de RPAS según su peso al despegue (TOW) [27]

Las tarjetas de operador son acreditaciones que determinan que un operador está capacitado para operar remotamente los mandos de vuelo de una aeronave no tripulada. Dichas tarjetas serán de las siguientes categorías:

- Tarjeta marrón: Tipo I. Documento que acredita que el titular posee la aptitud necesaria para operar los RPAS militares cuyo peso máximo sea inferior o igual a 150 kg.
- Tarjeta naranja: Tipo II. Documento que acredita que el titular posee la aptitud necesaria para operar los RPAS militares con peso máximo superior a 150 kg.

Anexo B. Estación de control en tierra

La estación de control es el lugar donde se da la interfaz entre el piloto y la aeronave, permite al equipo de tierra tanto llevar a cabo operaciones de pre vuelo como el control directo sobre la aeronave. Por lo general suele estar situada sobre tierra (GCS), a bordo de buque (SCS), o incluso montado en el aire en un avión "padre" (ACS), la estación de control es el centro de control de la operación y la interfaz hombre-máquina.

También es, por lo general, pero no siempre, el centro en el que la misión UAV es programada, en cuyo caso puede ser conocida como la estación de planificación y control de misiones (MPCS). Aunque menos habitual, la misión puede ser planeada en un centro de comando central y los datos de la misión enviados a la CS para su ejecución. De la CS, los operadores "comunican" con la aeronave a través del sistema de comunicaciones de enlaces ascendentes con el fin de orientar su perfil de vuelo y operar los diferentes tipos de misión de la carga útil que portan. Del mismo modo, a través de las comunicaciones de enlace descendente, la aeronave devuelve la información y las imágenes a los operadores. La información puede incluir datos de las cargas útiles, información sobre la situación de los sub-sistemas del avión y la información de posición. El lanzamiento y la recuperación de la aeronave pueden ser controlados desde el CS principal o desde un CS subsidiario.

El CS también por lo general alberga los sistemas de comunicación con otros sistemas externos. Estos pueden incluir los medios de adquisición de datos meteorológicos, la transferencia de información desde y hacia otros sistemas de la red, tareas procedentes de una autoridad superior y la comunicación de información a otras autoridades



Ilustración 10 - Estación de control en tierra. Foto original

Anexo C. Entrevista

El objetivo principal de la entrevista ha sido determinar los criterios más importantes a tener en cuenta en una aeronave, así como el valor óptimo de estos, cuya misión principal ha de ser la observación del tiro de Artillería de Campaña. También se pretende precisar cuáles son los riesgos más importantes para las aeronaves y la frecuencia de suceso de estos.

A continuación se muestra el guion seguido para la entrevista.

Grupo de expertos:

- CAP jefe de batería RPAS, piloto con cursos de operador tipo 1 y tipo 2
- BGDA jefe de sección de vuelo, piloto con cursos de operador tipo 1 y tipo 2
- SGTO 1º jefe de seguridad en vuelo, piloto con curso de operador tipo 1
- SGTO 1º piloto con curso de operador tipo 1
- SGTO 1º piloto con curso de operador tipo 1
- CBO MYOR auxiliar de la sección de operaciones con curso de la empresa SCR para sistemas Tucán y Atlantic

Se está llevando a cabo un trabajo de investigación de título: "Observación del tiro de Artillería de Campaña por RPAS".

El objetivo del trabajo es realizar un estudio sobre la contribución de los RPAS en la observación del tiro de Artillería de Campaña realizado por las unidades de apoyo de fuego de una gran unidad tipo división. La principal función de los RPAS durante el tiro de Artillería será tanto la corrección del propio tiro como la evaluación de los efectos producidos en el objetivo. Para ello se definirá el RPAS que pueda satisfacer las necesidades obtención de información de un Puesto de Mando de Artillería (PCART) de división, porque es donde se sitúa los elementos de adquisición de objetivos y donde llegan las imágenes de los RPAS, permitiendo de esta manera al mando de división adoptar las medidas oportunas.

Debido a su experiencia, usted ha sido seleccionado como experto para prestar su apoyo a este trabajo.

Preguntas:

¿Cuántos años lleva de servicio en el Ejército?

¿Qué curso relacionado con estos sistemas posee?

¿Cuántos años de experiencia tiene en la manipulación, diseño o conocimiento de RPAS?

¿Qué características principales cree usted que son más importantes para un sistema RPAS, teniendo en cuenta que su finalidad es la observación del tiro de Artillería de Campaña en el marco de una División?

Para ello dispone de la siguiente tabla, que tiene tres apartados: los criterios que usted considera más importantes, la ponderación (1 poco relevante, 9 muy relevante) que considere más oportuna para cada uno de esos criterios y por último el valor o la característica óptima que debería tener el sistema para cumplir con la finalidad marcada.

Criterios de decisión	Ponderación (1-9)	Valor optimo
Alcance		
Autonomía		
Aterrizaje		
Despegue		
Huella logística		
Velocidad Máxima		
Tow		

¿Consideraría algún criterio más? En caso afirmativo ¿Cuál seria y que ponderación valor optimo tendría?

A continuación exponga por qué considera usted esa ponderación en cada criterio.

En cuanto a las cámaras empleadas por estos sistemas, ¿cuál cree que cumpliría la misión de una manera más eficaz? Justifique su respuesta. A continuación se muestran las diferentes cámaras de los sistemas estudiados en este proyecto. Seleccione al menos dos de ellas.

- Octopus Épsilon 140 Z (Fulmar)
- NightHawk 2 (Tucán)
- Octopus 145 Z (Atlantic)
- OTUS-U135 (Atlantic)
- MOSP Electro Óptico ,Triple Sensor TV / IR / LD (Seacher MK-III)
- Camara EO/IR Gimbal con puntero IR (Raven)

¿Qué riesgos consideraría más importantes para una aeronave cuya finalidad es la observación del tiro?

- 1.
- 2.
- 3.
- 4.

¿Qué efectos tendría sobre la aeronave?

- 1.
- 2.
- 3.
- 4.

¿Qué medidas propone para solventar esos riesgos?

- 1.
- 2.
- 3.
- 4.

Asigne una probabilidad de ocurrencia a cada riesgo 1-3(1 poca probabilidad, 3 mucha probabilidad)

- 1.
- 2.
- 3.
- 4.

Clasifique el impacto que supondría dicho riesgo (poco, medio o mucho)

- 1.
- 2.
- 3.
- 4.

Muchas gracias por su colaboración.

Observación del tiro de Artillería de Campaña por RPAS

Los resultados que se han podido obtener de esta encuesta son los siguientes:

	ALCANCE	AUTONOMIA	ATERRIZAJE	DESPEGUE	LOGISTICA	VELOCIDAD	TOW	CAMARA
CAP	9	8	4	4	5	5	3	7
BGDA	9	8	4	4	5	5	3	7
SGTO 1º	9	8	4	4	5	5	3	7
SGTO 1º	9	8	4	4	5	5	3	7
SGTO 1º	9	8	7	7	5	5	3	7
CBO MYOR	9	8	5	5	6	4	3	8
Total	54	48	28	28	31	29	18	43

En cuanto a los sensores mejor valorados se encuentra:

- 1) Electro Óptico ,Triple Sensor TV / IR / LD (Seacher MK-III)
- 2) Octopus 145 Z (Atlantic)
- 3) Octopus Épsilon 140 Z (Fumar)
- 4) OTUS-U135 (Atlantic)
- 5) NightHawk 2 (Tucán)
- 6) Camara EO/IR Gimbal con puntero IR (Raven)

Los riesgos más importantes por su impacto y probabilidad han sido: la falta de operadores, el cansancio de estos y el armamento antiaéreo enemigo. Seguidamente de las condiciones climatológicas adversas, la perdida de señal y la guerra electrónica. Por ultimo debido a su baja probabilidad de ocurrencia se encuentran la posibilidad de impacto con otra aeronave o la avería del motor.

Anexo D. Entrevista

El objetivo principal de esta entrevista es asignar una puntuación a los criterios de cada una de las aeronaves elegidas con la finalidad de obtener una nota atendiendo tanto a la ponderación de estos criterios como al valor de los mismos.

A continuación se muestra el guion seguido para la entrevista.

Grupo de expertos:

- CAP jefe de batería RPAS, piloto con cursos de operador tipo 1 y tipo 2
- BGDA jefe de sección de vuelo, piloto con cursos de operador tipo 1 y tipo 2
- SGTO 1º jefe de seguridad en vuelo, piloto con curso de operador tipo 1
- SGTO 1º piloto con curso de operador tipo 1
- SGTO 1º piloto con curso de operador tipo 1
- CBO MYOR auxiliar de la sección de operaciones con curso de la empresa SCR para sistemas Tucán y Atlantic

Se está llevando a cabo un trabajo de investigación de título: "Observación del tiro de Artillería de Campaña por RPAS".

El objetivo del trabajo es realizar un estudio sobre la contribución de los RPAS en la observación del tiro de Artillería de Campaña realizado por las unidades de apoyo de fuego de una gran unidad tipo división. La principal función de los RPAS durante el tiro de Artillería será tanto la corrección del propio tiro como la evaluación de los efectos producidos en el objetivo. Para ello se definirá el RPAS que pueda satisfacer las necesidades obtención de información de un Puesto de Mando de Artillería (PCART) de división, porque es donde se sitúa los elementos de adquisición de objetivos y donde llegan las imágenes de los RPAS, permitiendo de esta manera al mando de división adoptar las medidas oportunas.

Debido a su experiencia, usted ha sido seleccionado como experto para prestar su apoyo a este trabajo.

Observación del tiro de Artillería de Campaña por RPAS

Atendiendo a los criterios de las aeronaves, se quiere proceder a realizar una valoración de los 3 RPAS restantes: "Atlantic", "Fulmar" y "Tucán". Para ello dispone a continuación de la siguiente tabla, en esta debe introducir la puntuación que usted considera oportuna (1-100) para cada uno de los criterios que se muestran a continuación, teniendo en cuenta el valor óptimo de cada uno de ellos.

Valor optimo:

- Huella logística baja
- Aterrizaje por paracaídas o sobre la panza de la aeronave
- Despegue manual o por lanzadera
- Alcance: 150km
- Autonomía: 8 horas
- Velocidad máxima: 170 km/h

Asigne un valor aproximado en la siguiente tabla:

	Tucán		Fulmar		Atlantic	
	Valor	Puntuación	Valor	Puntuación	Valor	Puntuación
Huella logística	Baja		Baja		Media	
Despegue	Lanzadera		Lanzadera		Tren o lanzadera	
Aterrizaje	Paracaídas o panza		Red		Paracaídas o tren	
Alcance	40 km		90 km		130 km	
Autonomía	1 hora		7 horas		5 horas	
Velocidad máxima	97 km/h		150 km/h		170 km/h	

A continuación asigne un valor aproximado a las cargas útiles de los siguientes sistemas:

- ✓ Octopus 145 Z (Atlantic)

Valor:

- ✓ Octopus Épsilon 140 Z (Fulmar)

Valor:

- ✓ Nighthawk 2 (Tucán)

Valor:

Muchas gracias por su colaboración.

Los resultados que se han podido obtener de esta encuesta son los siguientes:

	Tucán	Fulmar	Atlantic
	Puntuación	Puntuación	Puntuación
Huella logística	100	100	80
Despegue	100	100	90
Aterrizaje	100	50	90
Alcance	27	60	87
Autonomía	11	87	56
Velocidad máxima	57	88	100

- ✓ Octopus 145 Z (Atlantic)
Valor: 100
- ✓ Octopus Épsilon 140 Z (Fulmar)
Valor: 70
- ✓ NightHawk 2 (Tucán)
Valor: 50

Anexo E. Cronograma para el despliegue de la Batería RPAS