



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

PROPUESTA DE MÉTODOS CONTRA RPAS EN
UNIDADES DE INFANTERÍA MECANIZADA

CAC. Guillermo Jiménez Sánchez

Directora académica: Dra. Dña. Maite Aramendía Marzo

Director militar: Cap. D. Antonio Ruiz Tamayo

Centro Universitario de la Defensa-Academia General Militar

2022



Agradecimientos

Quiero dar mi más sincero agradecimiento a mi directora academia, la doctora Dña. Maite Aramendía Marzo por su infinita paciencia, disponibilidad y minuciosa corrección para elaborar el mejor trabajo de fin de grado posible.

Quiero agradecer también a mi director académico, el capitán D. Antonio Ruiz Tamayo su buen trato y disposición durante el desarrollo de las prácticas de mando y la realización del presente trabajo.

Un agradecimiento especial para el capitán de artillería Juan Manuel Torrico García y los capitanes del Ejército del Aire Santiago García Ramos y José Alberto Marín Delgado, cuyas aportaciones han sido la base y guía para la realización de este trabajo.





RESUMEN

El presente trabajo se ha realizado con el objeto de buscar respuestas a la creciente amenaza de los RPAS (*Remotely Piloted Aircraft System*) para las unidades de infantería mecanizada. El desarrollo de los RPAS ha sido y continúa siendo muy rápido, incluso llegando su uso a ser determinante en la Guerra de Nagorno-Karabaj. A partir de las lecciones aprendidas de este conflicto se ha observado que las unidades de infantería mecanizada son especialmente vulnerables al uso extensivo de RPAS. Este trabajo pretende exponer de qué medios se disponen hoy en día para contrarrestar los RPAS, en qué medios contra RPAS han invertido España y otros países y qué camino debería seguir España para dotar a las unidades de infantería mecanizada de la defensa antiaérea que necesitan para actuar con libertad en un ambiente RPAS. Se muestra, mediante el estudio de las capacidades de los medios antiaéreos y de los RPAS actuales, como ningún país ha conseguido todavía medios eficaces y eficientes a la hora de contrarrestar RPAS de tamaño medio y pequeño, pero que existen varias alternativas y sistemas en desarrollo con gran potencial. España se ve influenciada por dos factores principales a la hora de buscar la forma de proteger sus unidades mecanizadas de la amenaza expuesta: (i) el presupuesto del Ministerio de Defensa está repartido entre varios programas de armamento y (ii) se da mucha importancia a que los nuevos programas o adquisiciones de armamento ayuden a desarrollar el tejido industrial español. Observando todas las opciones disponibles y cribando aquellas que no sean adecuadas para el objetivo en cuestión, ayudado por el criterio de expertos entrevistados, se puede concluir que el Ministerio de Defensa tiene las herramientas necesarias para cumplir dicho objetivo. La conclusión es que la solución debe ser lo más completa posible: un cambio doctrinal a la hora de actuar sin superioridad aérea local, la implantación de medios de defensa pasiva modernos y el desarrollo, dentro de los programas de armamento existentes, de un vehículo de defensa contra RPAS capaz de acompañar a las unidades mecanizadas, integrándose en su plantilla orgánica.

Palabras clave

RPAS, UAS, C-UAS, SHORAD, Infantería Mecanizada



ABSTRACT

This Project has been written with the express purpose of finding answers to the increasing threat that RPAS (*Remotely Piloted Aircraft System*) pose to mechanized infantry units. The development of RPAS has been and continues to be very fast, even becoming a key asset in the War of Nagorno-Karabakh. The lessons learnt from that conflict have shown that mechanized infantry units are especially vulnerable to the extensive use of RPAS. This project seeks to show what means are available nowadays to counter RPAS, what counter-RPAS means have Spain and other countries invested in and what path should Spain follow to provide mechanized units with the anti-air they need to maintain freedom of action in an RPAS rich environment. It is shown, through the study of the capabilities of modern anti-air systems and RPAS, that no country has achieved effective and efficient means to counter small and medium RPAS, but that there are various alternatives and systems in development that show great potential. Spain is greatly influenced by two factors when it comes to finding the way to protect its mechanized units from the mentioned threat: (i) the budget of the Defence Ministry is distributed between various weapon's programs and (ii) it is very important that new programs or acquisitions help reinforce Spain's industry. Looking at the different available options and getting rid of the unfit ones following the criteria of interviewed experts, it can be concluded that the Spanish Defence Ministry has the necessary tools to achieve the objective at hand. The conclusion is that the solution must be as complete as possible: a change in doctrine when working without local air superiority, the implementation of modern passive defences and the development, within the developing Spanish weapon's programs, of an anti-RPAS vehicle able to follow mechanized units, integrating into their structure.

Keywords

RPAS, UAS, C-UAS, SHORAD, Mechanized infantry



ÍNDICE DE CONTENIDO

<i>Agradecimientos</i>	<i>I</i>
<i>RESUMEN</i>	<i>III</i>
<i>ABSTRACT</i>	<i>IV</i>
<i>INDICE DE FIGURAS</i>	<i>VII</i>
<i>INDICE DE TABLAS</i>	<i>VIII</i>
<i>ABREVIATURAS, SIGLAS Y ACRÓNIMOS</i>	<i>IX</i>
<i>1 INTRODUCCIÓN</i>	<i>1</i>
<i>2 OBJETIVOS Y METODOLOGÍA</i>	<i>2</i>
2.1 OBJETIVOS Y ALCANCE	2
2.2 METODOLOGÍA	3
<i>3 ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO</i>	<i>4</i>
3.1 EL PROBLEMA DE LA DETECCIÓN.....	6
3.2 DEFENSAS PASIVAS	7
3.3 DEFENSAS ACTIVAS Y MÉTODOS DE NEUTRALIZACIÓN DE RPAS	8
no definido.	
3.3.1 Métodos cinéticos	9
3.3.2 Métodos no cinéticos	11
<i>4 DESARROLLO: ANÁLISIS Y RESULTADOS</i>	<i>12</i>
4.1 ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÉTODOS C-RPAS	12
4.1.1 Estado actual del C-RPAS en España	12
4.1.2 Análisis de los sistemas C-RPAS más destacados.....	14
4.1.3 Análisis de los sistemas RPAS más destacados.....	16
4.1.4 Conclusión de la comparativa.....	22



4.2	IMPLANTACIÓN DE SOLUCIONES	22
4.2.1	Comparativa de opciones de defensa activa.....	22
4.2.2	Análisis coste-beneficio.....	26
4.2.3	Determinación de necesidades de la Infantería mecanizada y propuestas	32
5	CONCLUSIONES	37
6	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38
7	ANEXOS.....	42



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. ART Midrange 3D. Resultados de campo para la medida de la altura de vuelo de un DJI Phantom IV [12].	7
Figura 2. Camuflaje multiespectral móvil en un camión Tatra 810. [18]	9
Figura 3. Camuflaje multiespectral combinado en un camión Tatra 810.[18].....	9
Figura 4. A) Fotografía del camión con camuflaje móvil y sin él. B) Fotografía del camión con camuflaje móvil y sin él. C) Termografía del camión con camuflaje móvil y sin él 8-12 μm D) Termografía del camión con camuflaje combinado y sin él 8-12 μm . [18].....	9
Figura 5. Dron TB-2 azerí abatiendo sistemas antiaéreos armenios. Fuente. Ministerio de Defensa de Azerbaiyán. Disponible en: https://www.youtube.com/watch?v=WGpOg93GPKg y https://www.youtube.com/watch?v=bNoPM5T6qoE	33
Figura 6. Camuflaje multiespectral móvil.....	34
Figura 7. ULCANS.....	35



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Elaborada por el autor a partir de la información extraída de la NATO UAS Classification Guide of September 2009 JCGUAV meeting.	4
Tabla 2. Elaboración propia a partir de los datos extraídos de [19].....	10
Tabla 3. Elaboración propia a partir de información extraída de El sistema de defensa aérea no-cinético, clave para la defensa anti dron [20]	11
Tabla 4. Características del DJI Mavic Air 2. Elaboración propia. [33].....	16
Tabla 5. Características del DJI Mavic Mini. Elaboración propia.[34].....	17
Tabla 6. Características del Kargu 2. Elaboración propia.[35]	18
Tabla 7. Características del IAI Harop. Elaboración propia.[37].....	19
Tabla 8. Características del Bayraktar TB2. Elaboración propia.[38]	20
Tabla 9. Características del MQ-9 Reaper. Elaboración propia. [40]	21
Tabla 10. Comparativa de características deseables para un vehículo de defensa antiaérea destinado al acompañamiento de unidades mecanizadas. Elaboración propia.	23
Tabla 11. Análisis DAFO Torre Guardian 30. Clave: naranja debilidades, rojo amenazas, verde fortalezas, azul oportunidades. Elaboración propia.....	24
Tabla 12. Análisis DAFO Torre Guardian 2. 0. Clave: naranja debilidades, rojo amenazas, verde fortalezas, azul oportunidades. Elaboración propia.....	24
Tabla 13. Análisis DAFO barcaza 8x8 Dragón. Clave: naranja debilidades, rojo amenazas, verde fortalezas, azul oportunidades. Elaboración propia.....	25
Tabla 14. Análisis DAFO barcaza Pizarro. Clave: naranja debilidades, rojo amenazas, verde fortalezas, azul oportunidades. Elaboración propia.....	25
Tabla 15. Precio estimado de diferentes sistemas de armas cinéticos de “El sistema de defensa aérea no-cinético, clave para la defensa anti dron” [20].....	27
Tabla 16. Precio estimado de diferentes tipos de drones. Elaboración propia.	28
Tabla 17. Coste de materiales frecuentemente atacados por RPAS en acciones de combate. Elaboración propia.	29
Tabla 18. Estimación de costes para un posible sistema M-SHORAD. Elaboración propia.....	31



ABREVIATURAS, SIGLAS Y ACRÓNIMOS

AA – Antiaéreo

AESA – *Active Electronically Scanned Array*

BIMZ – Batallón de Infantería mecanizada

CIMZ – Compañía de Infantería mecanizada

COAAS-L – Centro de Operaciones de Artillería Antiaérea Semiautomático Ligero

C-RPAS – *Counter Remotely Piloted Aerial System*

C-UAS – *Counter Unmanned Aerial System*

DA – Defensa Aérea

DCC – Defensa Contra Carro

DGAM – Dirección General de Armamento y Material

EA – Ejército del Aire

E.E.U.U. – Estados Unidos (de América)

ET – Ejército de Tierra

GT – Grupo Táctico

IM-SHORAD – *Initial Maneuver Short Range Air Defense*

ISTAR – *Intelligence, Surveillance, Target Acquisition and Reconnaissance*

LSS – *Low, Small and Slow*

MANPAD – *Man Portable Air Defense*

M-SHORAD – *Maneuver Short Range Air Defense*

OTAN – Organización del Tratado del Atlántico Norte

PO – Puesto de Observación

POA – Puesto de Observación Aérea

RPAS – *Remotely Piloted Aerial System*

SDG PLATIN – Subdirección General de Planificación, Tecnología e Innovación

S/GTMZ – Subgrupo Táctico Mecanizado



SHORAD – *Short Range Air Defense*

TACOM – *Tactical Command*

UAS – *Unmanned Aerial System*

UDAA – Unidad de Defensa Antiaérea

ULCANS – *Ultra Lightweight Camouflage Net System*

VCI – Vehículo de Combate de Infantería

VCOAV – Vehículo de Combate de Observador Avanzado

VCR – Vehículo de Combate sobre Ruedas

VCZ – Vehículo de Combate de Zapadores



1 INTRODUCCIÓN

Para empezar, hay que definir y diferenciar los conceptos de UAS (*Unmanned Aerial System*) y RPAS (*Remotely Piloted Aircraft System*). Según el Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA) el término UAS hace referencia al sistema entero de aeronave no tripulada (coloquialmente, dron) la estación de control y el sistema de comunicaciones mientras que los RPAS son el subgrupo más común y desarrollado dentro de los UAS, ya que hacen referencia a aquellos sistemas en los que hay un operador humano manejando la aeronave.

Los recientes conflictos de Nagorno Karabaj (Guerra Armenia-Azerbaijan), del Donbás (Ucrania-Fuerzas prorrusas) y la Guerra Civil Siria han demostrado la eficacia y eficiencia del uso de los UAS en misiones de reconocimiento y de ataque directo. En palabras de Gustav Gressel para el *European Council on Foreign Relations* (ECFR) “Como en Siria y Libia, los sistemas de defensa antiaérea rusos resultaron ineficaces contra drones pequeños y lentos...Los drones después guiaron la embestida de las reservas armenias...”[2]. Esto ha incrementado enormemente la inversión en UAS y C-UAS (*Counter Unmanned Aircraft System*) tanto en países OTAN (Organización del Tratado del Atlántico Norte) como en sus antagonistas geopolíticos. Marruecos, país con el que España mantiene una tácita disputa territorial, o China y Rusia, países con intereses a menudo conflictivos con los de la Alianza, se han lanzado a desarrollar y adquirir modernos sistemas de UAS [3].

Los UAS fueron utilizados en los conflictos mencionados para proporcionar reconocimiento y capacidades ofensivas a larga distancia en los niveles tácticos y operativo, presentándose en las distintas clases distinguidas por la OTAN, expuestas en el apartado 3 de este trabajo. En varios casos han demostrado ser decisivos a la hora de obtener una ventaja militar. A través de las lecciones aprendidas de estos conflictos, es fácil ver que, al igual que los arsenales antiaéreos ucraniano y armenio, el sistema antiaéreo español está planteado para responder a la amenaza de cazas modernos, más grandes y veloces que los mayores drones, y es ineficaz contra estas plataformas, como se comenta en la entrevista realizada al Capitán del EA (Ejército del Aire) José Alberto Marín Delgado en el Anexo A.

Los objetivos más rentables para estos sistemas son los puestos de mando, los trenes logísticos, las baterías de artillería y las unidades mecanizadas/acorazadas. Aunque las unidades mecanizadas no son el objetivo más prioritario, si son tremendamente vulnerables: Los vehículos presentan muy poco blindaje en su parte superior, medios de visión poco avanzados, gran dificultad de ocultación y una falta doctrinal de integración de medios SHORAD (*Short Range Air Defense*).[4]

Este trabajo está dividido en una introducción, un apartado de objetivos y metodología, un análisis del estado del arte, una presentación del problema fundamental de la detección, una exposición de los métodos de defensa antiaérea y de los medios utilizados, una exposición de los RPAS en auge, un análisis de los medios C-UAS más adecuados para España, una propuesta de adopción de métodos y medios C-UAS y una conclusión.



2 OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

2.1 OBJETIVOS Y ALCANCE

En este contexto, estudiar el estado del arte de los sistemas C-UAS en España y diseñar soluciones para modernizarlos y adaptarlos a la nueva realidad resulta interesante, si no imprescindible. Según esto, los objetivos planteados en este trabajo son:

1. Exponer las características de los sistemas C-UAS que posee y desarrolla España.
2. Exponer las características de los sistemas C-UAS y UAS más destacados y que ya se usan en ejércitos extranjeros, dentro y fuera de la OTAN.
3. Estudiar cuáles de estos sistemas C-UAS podrían resultar viables en la defensa de una unidad de infantería mecanizada.
4. Con base en lo anterior, diseñar y proponer soluciones a medio plazo realistas y adaptadas a las condiciones particulares del ET (Ejército de Tierra) español al problema de los sistemas C-UAS, específicamente en unidades mecanizadas.

La hipótesis de partida es la absoluta necesidad de contar con medios contra RPAS (C-RPAS) de clase I y II, debido a que se prevé su uso extenso en todos los conflictos venideros, como prevé el Estado Mayor de la Defensa (EMAD) en su Concepto Nacional C-UAS LSS¹ (*Counter UAS Low, Small and Slow*).

La defensa C-RPAS clase III (OTAN) está excluida de este trabajo por su similitud con los actuales aviones de combate, elementos para los que sí están preparadas las unidades de DA (Defensa antiaérea) españolas. También se limitará el estudio solo las soluciones aplicables e integrables en Batallones de Infantería mecanizada, la mayor entidad militar formada exclusivamente por esta especialidad, quedando así excluidas soluciones como adaptaciones doctrinales de gran nivel o el uso de sistemas complejos como aviones de guerra electrónica.

Las restricciones que se han tenido que encarar para la realización de este proyecto son la falta de datos rigurosos que las empresas proporcionan sobre los sistemas RPAS y C-RPAS, debido al carácter estratégico de los contratos de adquisición. También es una restricción importante la prohibición de divulgar material clasificado.

¹ LSS: *Low, Small and Slow* o baja altura, pequeño y lento, se usa para referirse a drones cuya baja altura de vuelo, pequeño tamaño y velocidad reducida de vuelo dificultan mucho su detección. Prácticamente toda la oferta de drones comerciales pertenece a esta categoría.



2.2 METODOLOGÍA

Los métodos para obtener la información recogida en este trabajo son fundamentalmente cualitativos: entrevistas con expertos, prospectiva tecnológica a partir de esta información y posterior consulta en revistas científicas y artículos sobre dicha tecnología. Los datos técnicos sobre los distintos sistemas UAS y C-UAS se han obtenido consultando páginas oficiales, como es el caso de la página del ET sobre sus medios; o realizando estimaciones fundadas a partir de las capacidades expuestas en varias fuentes.

En cuanto al tratamiento de la información consiste en una comparación de las capacidades técnicas de los medios C-UAS frente a los medios UAS más utilizados, con el objetivo de discernir qué sistemas son eficaces. Después, se pretende realizar una criba entre estos sistemas aplicando el criterio de expertos junto a la propia naturaleza de los programas de armamento españoles de los últimos años. Por último, una vez se obtengan unas opciones satisfactorias, se realizará una propuesta de métodos anti-RPAS que contenga las soluciones viables y adaptadas a las capacidades y criterios del Ministerio de Defensa.



3 ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO

Como ya se ha mencionado en la introducción, los RPAS son aeronaves controladas remotamente por un operador humano desde una estación en tierra. Este término abarca una amplia cantidad de sistemas que se basan en este funcionamiento básico, como se puede observar en la Tabla 1. Los desarrollos tecnológicos y doctrinales en RPAS han hecho que en la última década sus usos se hayan visto incrementados exponencialmente, desde las múltiples misiones ISTAR² y de combate desarrolladas en la guerra de Libia, a los ataques complejos sobre posiciones de defensa antiaérea en la guerra de Nagorno-Karabaj [2].

Tabla 1. Elaborada por el autor a partir de la información extraída de la NATO UAS Classification Guide of September 2009 JCGUAV meeting.

Clase	Categoría	Empleo	Altura Operacional usual	Radio de acción usual	Principal unidad apoyada	Ejemplo
CLASE I (menos de 150 kg)	MICRO	Patrulla, Formación táctica de Sección (operador individual y lanzamiento manual)	60m AGL ³	5km LOS ⁴	Patrulla / Sección	Black Widow
	MINI	Subgrupo Táctico (Lanzamiento manual)	915m AGL	25km LOS	Compañía / S/GT	Eagle Raven DH3
	SMALL	Grupo Táctico	1500m AGL	50km LOS	Batallón / GT	Hermes 90 Luna
CLASE II (150 a 600 kg)	TACTICAL	Agrupación Táctica	3050 m AGL	200km LOS	Brigada	Aerostar Hermes 450
CLASE III (más de 600 kg)	MALE	Operacional/ Teatro	13715 m AGL	Ilimitado BLOS ⁵	Comandante JTF	Predator Heron Hermes 900
	HALE	Estratégico/ Nacional	19810m AGL	Ilimitado BLOS	Comandante del Teatro de Operaciones	Global Hawk
	STRIKE/COMBAT	Estratégico/ Nacional	19810m AGL	Ilimitado BLOS	Comandante del Teatro de Operaciones	

Existen tres tipos de RPAS que presentan grandes oportunidades en cuanto a sus usos a la vez que una gran preocupación respecto a contrarrestar sus capacidades para el resto de

² (Intelligence, Surveillance, Target Acquisition and Reconnaissance, capacidad integrada de adquirir, procesar, explotar y diseminar información de inteligencia, con contenido y tiempo adecuados)

³ (Above Ground Limit, altura medida desde el suelo)

⁴ (Line of Sight, requiere línea de visión directa)

⁵ (Beyond Line of Sight, no requiere visión directa)



los países:

- Los drones LSS (*low, small and slow*), por su gran relación coste-beneficio. Su bajo coste, facilidad de manejo, difícil detección y excelentes ópticas hacen que cada vez más ejércitos estén planteándose su integración en las menores entidades, las escuadras o *fireteams*, alrededor de 4 o 5 combatientes, para realizar tareas ISTAR al nivel táctico más bajo, como es el caso de los marines estadounidenses [6]. Su bajo precio hace también que sea rentable equipar estos drones con explosivos y utilizarlos como drones suicidas, auténticas bombas radiocontrol. Aunque los ataques aislados con estos drones pueden suponer un problema moderado, lo realmente preocupante es la tendencia que ya se preveía hace unos años y que se está empezando a observar, que consiste en llevar a cabo ataques tipo enjambre, en los que una gran cantidad de estos drones suicidas se utilizan en el ataque a un objetivo, evitando la detección y superando las defensas aéreas SHORAD por saturación [5].
- Los drones Clase I tipo *loitering munition* (munición merodeadora). Este tipo de drones realizan ataques suicidas y pueden actuar como RPAS o de forma autónoma con capacidades reducidas. Pueden, por tanto, ser operados por un operador humano o volar de forma autónoma, fijando objetivos por su señal de radio (de ahí el nombre munición merodeadora), lo cual está principalmente destinado a destruir los radares enemigos. Su pequeña Sección Equivalente de Radar⁶ hace muy difícil su detección con medios radar. El bajo coste de modelos como el IAI HAROP israelí han generalizado el uso de este tipo de sistemas. [7]
- Los drones Clase II o III, también normalmente capaces de actuar como RPAS o de forma autónoma degradada, de un tamaño, altitud de vuelo y velocidad muy inferiores a la de los cazas y bombarderos modernos, pero que gracias su difícil detección y la incorporación de municiones inteligentes son capaces de llevar a cabo ataques quirúrgicos sobre objetivos de alto valor con difícil respuesta por parte de los defensores. El mayor exponente de este tipo de drones es el Bayraktar TB2 turco, cuyo precio moderado y alta efectividad lo han convertido en un sistema que ha demostrado ser clave en el conflicto de Nagorno-Karabaj, obteniendo gran notoriedad. [8]

La tendencia actual, como se ha observado en Nagorno-Karabaj, es el uso de estas tres plataformas en conjunto. Los drones LSS pueden obtener imágenes de todo el campo de batalla de una forma discreta y difícilmente evitable, mientras drones como los HAROP destruyen los sistemas de detección radar enemigos, permitiendo a drones similares al Bayraktar TB2 destruir a su vez las baterías antiaéreas y otros objetivos claves enemigos. [4]

El desarrollo de los modernos sistemas de drones supone una amenaza para el orden militar establecido hasta la fecha. Los países que han desarrollado sistemas UAS eficaces y comenzado su exportación han visto su industria reforzada, como Turquía e Israel [8], algo que también intenta España tímidamente con el proyecto RAPAZ [9]. También, países cuyas fuerzas armadas se consideraban relativamente débiles, recortan la distancia con la adquisición de estos sistemas, para los cuales la mayoría de los países están muy poco preparados. El Gobierno Acuerdo Nacional Libio [10] y Azerbaiyán son ejemplos de esto.

⁶ Propiedad de los objetos que indica lo detectables que son mediante radar. Influyen varios factores, entre ellos el tamaño y el material del objeto. Tamaños pequeños y materiales plásticos en lugar de metálicos disminuyen este factor.



Marruecos, el vecino incómodo con el que España tiene frecuentes disputas territoriales, ya ha llevado a cabo la adquisición de 13 Bayraktar TB2 y varios drones *loitering munition* IAI HAROP. Estas adquisiciones podrían convertir a las fuerzas armadas marroquíes en un contrincante formidable para ejércitos sin una respuesta específica a esta amenaza. [11]

3.1 EL PROBLEMA DE LA DETECCIÓN

Para la realización de este apartado se han utilizado datos extraídos del artículo Radars 3D para sistemas C-UAS del Boletín de Observación Tecnológica en Defensa nº65 [12]. Los RPAS son, por lo general, muy difíciles de detectar en comparación con aeronaves tradicionales, dados sus tamaños reducidos, perfiles optimizados para evitar la detección, las bajas alturas a las que son capaces de volar y el enfoque de los sistemas de detección actuales a detectar aeronaves tradicionales. Aun así, hay que aclarar que se prevé que los sistemas con más uso en un conflicto entre superpotencias (EE. UU.-China) sean los que incorporan drones gran tamaño, como el dron de clase III Predator, que son detectables y atacables mediante los medios antiaéreos actuales. La lucha contra estos medios además se escapa de los objetivos de este trabajo, ya que requiere de doctrinas y medios no aplicables a unidades de infantería mecanizada.

Por otro lado, los LSS son especialmente difíciles de detectar con radares tradicionales. Algunos drones de muy difícil detección, a su vez, están diseñados para detectar la señal emitida por radares activos (que pueden ser activados por señuelos) y eliminarlos, como el HAROP. A menudo, aunque se consiga la detección de un dron, un radar tradicional no es capaz de proporcionar los datos necesarios para una localización rápida con medios electroópticos, lo que provoca que no se pueda llevar a cabo una respuesta adecuada.

Estos drones son muy eficaces en el ataque a instalaciones, como se pudo ver en 2019 con los graves ataques contra las instalaciones de procesamiento de petróleo de la empresa saudí Aramco en Abqaiq y Khurais [13], y a la hora de cumplir misiones ISTAR a bajo nivel, lo que está provocando un aumento de su integración en unidades de operaciones especiales e incluso unidades convencionales. Esto significa que su detección será una necesidad para las unidades de primera línea en el futuro.

Los radares 3D pueden poner solución a este problema al integrarse en los sistemas C-UAS. Estos radares, equipados con sistemas de antenas multi-haz en elevación “pueden proporcionar una muy buena precisión en la medida de la altura de vuelo de blancos no-cooperativos” como se recoge en un artículo sobre radares 3D publicado en el Boletín de Observación Tecnológica en Defensa [12]. Hasta los drones comerciales pueden alcanzar velocidades de 100 km/h, así que estos radares son fundamentales para garantizar una detección, localización e identificación de un elemento con tan baja sección radar y altura de vuelo a una altura suficiente.

Se ha demostrado que incluso radares 3D comerciales como el ART MIDRANGE 3D son capaces de desempeñar estas tareas de detección con gran eficacia, como se puede ver en la Figura 1, en la que se comparan las medidas de altura de vuelo de un DJI Phantom IV obtenidas por el radar y las reales.

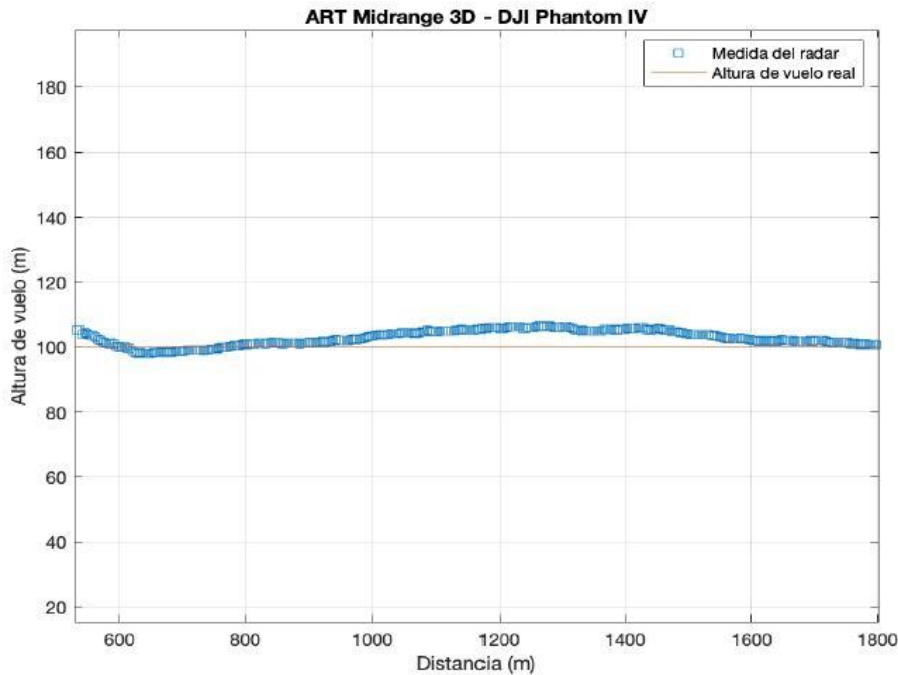


Figura 1. ART Midrange 3D. Resultados de campo para la medida de la altura de vuelo de un DJI Phantom IV [12].

Por lo tanto, los radares 3D parecen tener su lugar asegurado en las soluciones C-UAS. El ARMS de Indra y el AUDES de Blighter son ejemplos de sistemas que incorporan radares 3D para afrontar la detección de estos drones. Este último fue utilizado con éxito para la defensa de la base española en Iraq, como se comenta en la entrevista realizada al Capitán del EA D. Santiago García Ramos, destinado en Subdirección General de Planificación, Tecnología e Innovación (SDG PLATIN) de la Dirección General de Armamento y Material (DGAM), el cual ha trabajado en el proyecto CONDOR de evaluación de sistemas C-RPAS, (Anexo B). La opción C-UAS que ha desarrollado el ejército estadounidense, el Stryker A1 M-SHORAD (*Mobile Short Air Defense*) incorpora un radar MHR de RADA, clasificable como radar 3D. Además, este radar tiene antena AESA (*Active Electronically Scanned Array*), lo cual reduce el perfil del vehículo (al no necesitar que la antena se sitúe en la parte superior para poder rotar) y reduce sus posibilidades aun usando un radar activo (dadas sus propias características). [14]

3.2 DEFENSAS PASIVAS

Según el manual de orientaciones para la compañía de infantería mecanizada, OR4-123, “ante una amenaza aérea la CIMZ o S/GTMZ⁷ basa su defensa fundamentalmente en la adopción de medidas permanentes para eludir o minimizar los efectos de estas acciones.” [15] La defensa

⁷ Compañía de Infantería Mecanizada, entidad en torno a 100-140 combatientes, o Subgrupo Táctico Mecanizado, unidad operativa formada *ad hoc* sobre una Compañía de Infantería Mecanizada



antiaérea en la CIMZ y el BIMZ (Batallón de Infantería Mecanizada) (reflejado en el OR4-122) se basa en la vigilancia y alarma, la defensa activa y la defensa pasiva [16]:

La vigilancia será llevada a cabo por los PO's (Puestos de Observación), pudiendo establecerse POA's (Puestos de Observación Aérea) cuando los primeros no puedan cumplir esta función. Se debe establecer un sistema de alarma (radio o sistemas ópticos/acústicos) que permita avisar a la unidad completa en despliegues dispersos, para que esta pueda adoptar medidas pasivas. Igual de importante es transmitir los datos de las aeronaves observadas al escalón superior para que pueda actuar en consecuencia.

La defensa activa en la CIMZ se basa principalmente en la eficacia que tienen los cañones de sus VCI (Vehículos de Combate de Infantería) a la hora de derribar helicópteros, dado su gran tamaño con una velocidad y vuelo relativamente bajos.

La defensa pasiva consiste en minimizar la eficacia de las acciones aéreas hostiles, componiendo esta acción: la dispersión, la fortificación, el enmascaramiento, la movilidad y el control de emisiones.

Todos estos aspectos son doctrinales y se aplican en la instrucción continua de las unidades de infantería mecanizada, siendo eficaces tanto en la protección contra drones como aviación convencional.

Técnicas como los puestos de vehículos excavados se deben desechar ante una amenaza RPAS, ya que, aunque se oculte el vehículo en sí, la modificación del terreno es suficiente para que las excelentes ópticas del RPAS lo localicen y lo destruyan con municiones inteligentes. Esto se ha observado en múltiples ocasiones en Nagorno- Karabaj. Ante una amenaza RPAS el enmascaramiento visual y de las firmas infrarroja y térmica de un vehículo es igual de importante en el plano horizontal como en el vertical. Por lo tanto, las pantallas y redes deben colocarse no solo delante si no también en la parte superior, no prescindiendo de estas, aunque la unidad se encuentre a retaguardia. [4]

Las redes de camuflaje multiespectral modernas son un medio muy eficiente, con una gran relación coste-beneficio. Además de prevenir la observación directa, también mitigan de manera moderada las firmas NIR, TIR y radar. El Ministerio de Defensa, para cubrir sus necesidades de este tipo de material, ha emitido una licitación por valor de 16,6 millones de euros [17], que resulta asequible al compararse con el presupuesto de programas de armamento de gran calibre, como los 2.100 millones de euros de la primera fase del programa VCR (Vehículo de Combate Ruedas) 8x8 Dragón. Sus características y efectividad se pueden observar en las Figuras 2, 3 y 4, extraídas de una prueba de eficacias realizadas por la empresa checa B.O.I.S. – FILTRY sobre camuflaje multiespectral móvil y combinado (cuando el vehículo se detiene, se despliegan redes adicionales).[18]

3.3 DEFENSAS ACTIVAS Y MÉTODOS DE NEUTRALIZACIÓN DE RPAS

La defensa aérea activa consiste en impedir que se produzca el ataque aéreo inutilizando o neutralizando la amenaza. Los medios para llevarla a cabo se pueden diferenciar en cinéticos, si se utiliza un proyectil que necesita impactar o generar una explosión que contacte con la aeronave, o no cinéticos, para englobar todos los demás (láser, guerra electrónica, *Spoofing*, *Jamming*).



Figura 2. Camuflaje multiespectral móvil en un camión Tatra 810. [18]



Figura 3. Camuflaje multiespectral combinado en un camión Tatra 810.[18]

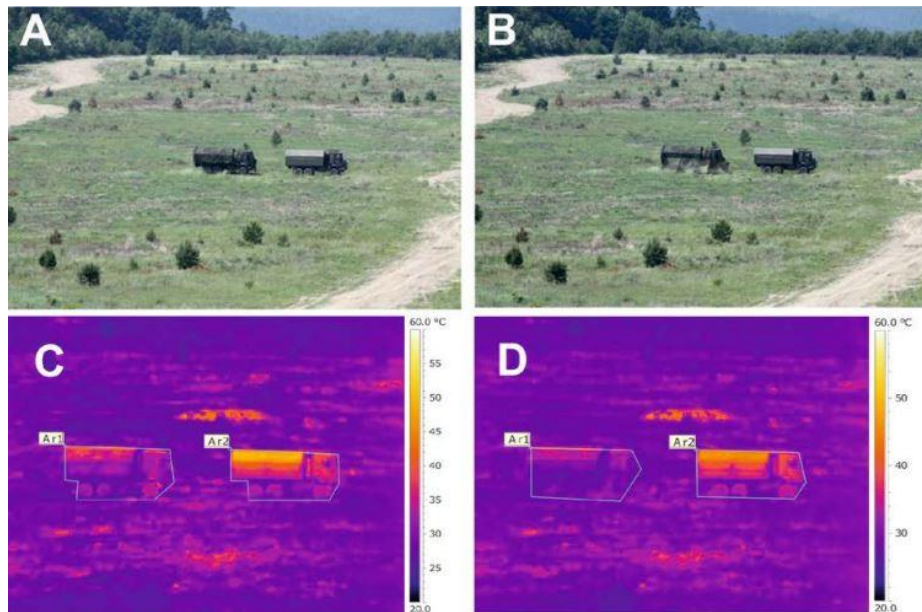


Figura 4. A) Fotografía del camión con camuflaje móvil y sin él. B) Fotografía del camión con camuflaje móvil y sin él. C) Termografía del camión con camuflaje móvil y sin él 8-12 μm D) Termografía del camión con camuflaje combinado y sin él 8-12 μm . [18]

3.3.1 Métodos cinéticos

Los métodos cinéticos se pueden clasificar según la Tabla 2.



Tabla 2. Elaboración propia a partir de los datos extraídos de [19].

Sistema	Ejemplos	Fundamento	Objetivos	C-UAS
SHORAD				
Cañón	Oerlikon 35mm GDF 007, Type 09 SPAAA	Proyectiles balísticos de calibre medio (20mm-35mm) con efecto de área mediante subproyectiles y espoletas activadas por tiempo o proximidad.	Aviones CAS, Helicópteros, C-RAM	RPAS clase I y II
Misil	MISTRAL, FIM-92 Stinger	Misiles altamente portables (incluso MANPAD ⁸), en su mayoría capaces de “Dispara y olvida” ⁹ , que normalmente pueden actuar mediante espoleta de proximidad y con un coste moderado.	Aviones CAS, Helicópteros, C-RAM	RPAS clase I, II y III
ALTA COTA				
SAM	PATRIOT, HAWK	Sistemas que disparan misiles de gran tamaño, capaces de recorrer grandes distancias e impactar en su objetivo con enorme precisión y poder destructivo. Son sistemas de gran complejidad tecnológica y elevado coste.	Misiles balísticos tácticos (TBM), misiles de crucero (CM), objetivos de pequeña sección radar (LCSR) y aviones de última generación	RPAS Clase III

Los cañones antiaéreos han sufrido un declive importante durante toda la guerra fría y posteriores [19], debido al desarrollo de sistemas misil precisos, eficaces y baratos (como el Stinger), y de la aviación moderna, que vuela generalmente a altitudes y velocidades inalcanzables para un cañón. Los medios cañón han quedado relegados en los últimos años a la lucha contra helicópteros, normalmente acompañados de sistemas misil. Este fenómeno se ha producido sobre todo en Occidente, lo que significa que estos cañones, una opción eficiente a la hora de lidiar con UAS de clase I y II se encuentran en escasa dotación en los ejércitos de la OTAN.

Si se produce la detección, los medios cinéticos son eficaces, pero nos encontramos con cuatro problemas graves [20]:

- Los cañones antiaéreos tienen alcances cortos, por lo que muchos drones pueden evadirlos si estos no acompañan a las tropas de primer escalón.
- Los cañones antiaéreos tienen una alta probabilidad de realizar fuego amigo al disparar desde la retaguardia a elementos que vuelan a tan baja altura como son los UAS clase I.
- Los misiles antiaéreos no son capaces de neutralizar enjambres de drones.
- Los misiles antiaéreos tienden a ser excesivamente caros en comparación con los UAS clase I y II.

⁸ *Man Portable Air Defense*, Sistema de defensa aérea portátil

⁹ Misil que no requiere ser guiado después de su lanzamiento



La combinación de medios cinéticos puede ayudar a reducir estos problemas, pero podría aun así ser necesario incorporar medios no cinéticos como defiende el Capitán del Ejército del EA José Marín Delgado en la entrevista que se encuentra en el Anexo A.

3.3.2 Métodos no cinéticos

Los métodos no cinéticos se pueden clasificar de manera general según la Tabla 3. Como se puede observar en la tabla, los sistemas no cinéticos son muy eficaces y eficientes a la hora de combatir los drones a su alcance. Pueden compensar la problemática de perder la guerra económica al utilizar medios cinéticos de precio muy elevado para derribar drones de bajo coste. Asimismo, son ideales para enfrentarse a los drones LSS y los menores drones de Clase I, que son difícilmente detectables y se pueden acercarse mucho a las fuerzas propias. Llegados a este punto, un sistema cinético tendría grandes problemas para responder sin ocasionar daños a las fuerzas propias, mientras que un sistema no cinético tan solo podría afectarlas de forma leve. Este tipo de drones, además, son incapaces de volar fuera del alcance la mayoría de los sistemas no cinéticos. De manera general, estos métodos o bien destruyen el dron con energía dirigida, o bien emplean el espectro electromagnético para interferir la manera en que funcionan (conocido como *jamming*), o engañar a los sistemas del dron (conocido como *spoofing*).

Tabla 3. Elaboración propia a partir de información extraída de El sistema de defensa aérea no-cinético, clave para la defensa anti dron [20]

Sistema	Ejemplos	Fundamento	Limitaciones	Ventajas
Armas de energía dirigida				
Sistemas láser	MEHEL – Sistema láser montado sobre Stryker 8x8Rheinmetall HEL – Sistema láser integrado en el sistema Skyshield	Estos sistemas producen haces de luz intensa y unidireccional y coherente.	Poseen alcances muy cortos y necesitan una línea de visión directa con el objetivo.	Son sistemas relativamente baratos de adquirir y suministrar. Son muy precisos e impactan instantáneamente en el objetivo. Esto los hace ideales para derribar drones LSS.
Sistemas de microondas de alta potencia (HPM)	Phaser – Sistema probado contra pequeños enjambres RANETS-E	Utilizan una longitud de onda más larga y de frecuencia mucho más baja que el láser. Afectan a los aparatos electrónicos mediante calentamiento molecular y estimulación eléctrica	Poseen alcances cortos y se pueden contrarrestar con pantallas o jaulas de Faraday. El riesgo de afectar a sistemas aliados es elevado.	Resulta económico al igual que el láser. A diferencia de este, no se ve afectado por las condiciones atmosféricas y puede atacar a varios objetivos a la vez. Esto los hace ideales para enfrentarse a enjambres de drones LSS.
Interferencia electromagnética				
<i>Jamming link</i> de datos	La mayoría de los sistemas tienen capacidad de <i>jamming</i> dual, afectando en estas dos modalidades. DroneGun J4SKY-T Virtual-Fence – Sistema de <i>jamming</i> de área mediante antenas	Busca interferir la comunicación dron-operador emitiendo radiación de forma deliberada para degradar el uso del espacio electromagnético para el enemigo	Existen muchos métodos para proteger un sistema del <i>jamming</i> . Los drones que actúan de forma autónoma son inmunes a este tipo de <i>jamming</i> . Tienen un gran peligro de afectar a sistemas propios.	Los sistemas más simples, son muy económicos. Existen sistemas direccionales y de área. Son sistemas diversos capaces de ser portados por un operador o instalados en vehículos o instalaciones en sus variantes más potentes. Son ideales para negar un área a drones LSS y en sobre un avión pueden afectar a todo tipo de drones.



Tabla 3. Continuación

Sistema	Ejemplos	Fundamento	Limitaciones	Ventajas
Interferencia electromagnética				
<i>Jamming</i> señal GNSS	AUDS – Sistema fijo direccional para defensa de instalaciones de Boeing EA-18G Growler – Caza estadounidense con capacidades de EW	En lugar de afectar a las comunicaciones mediante radiofrecuencia, se emiten ondas de alta potencia para impedir que los drones puedan utilizar sistemas GNSS para navegar.	Muchos sistemas de navegación son duales GNSS/inercial, por lo que si el dron pierde la señal GNSS puede pasar a navegación autónoma inercial	Poseen las mismas ventajas que el <i>jamming</i> de link de datos, pero suele complementar a este para enfrentarse a objetivos preparados ante ciertos tipos de <i>jamming</i> .
Otros				
Ciberataques para interceptación de datos o secuestro de dron	Maldrone – Software malicioso capaz de infectar cualquier ordenador capaz de conectarse a la red wifi.	Consiste en infectar con un virus la estación terrestre de control del dron	Son muy complejos contra ejércitos preparados para la ciberdefensa y necesitan operadores especializados en la plataforma a atacar.	Muy económicos y eficaces frente a sistemas no protegidos para esta amenaza concreta. Son discretos. Pueden afectar a cualquier clase de dron si se dan las condiciones.
<i>Spoofing</i>	SimSAFE de Spirent - Accesibles en el mercado civil	Transmisión deliberada de una señal GNSS falsa para confundir al sistema enemigo	Alcance limitado. Efectos limitados contra señales GNSS encriptadas. Puede no neutralizar el dron. Detectable por un enemigo preparado. Posibilidades de afectar a sistemas propios.	Económico y tecnológicamente sencillo. Muy eficaz contra drones que vuelan de forma autónoma mediante GNSS no encriptado, siendo difícil detectar su uso. Permite el control y la captura de drones. Muy eficaz contra drones LSS comerciales.

4 DESARROLLO: ANÁLISIS Y RESULTADOS

4.1 ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÉTODOS C-RPAS

4.1.1 Estado actual del C-RPAS en España

En cuanto a los sistemas cinéticos, como ya se ha comentado, España posee un arsenal enfocado a combatir aviones de combate y helicópteros modernos. La defensa aérea, de forma doctrinal [21], se basa en la defensa en profundidad. Este concepto no fue aplicado de forma eficaz en la guerra de Nagorno Karabaj por las fuerzas antiaéreas armenias, en gran parte por falta de medios. Así, cuando una batería o radar era atacado, no existía una respuesta contundente para castigar esta acción y grandes partes del frente quedaban desprotegidas. Por eso, aunque el sistema antiaéreo pueda parecer poco preparado para la amenaza UAS, es previsible que no fuera tan fácilmente desmantelado en un conflicto. [4]

Los medios antiaéreos **cinéticos** españoles son (datos extraídos de la página de *Materiales del Ejército de tierra*)[22]:

Cañón AAA 35/90 GDF-007: Este cañón de 35 mm es rápidamente desplegable y puede



adaptarse a terreno muy variado. Se despliega junto con las direcciones de tiro Skydor y Skyguard, que le proporcionan capacidad de radar de seguimiento y exploración a 20 km. Posee un alcance máximo efectivo de 4000 metros y es capaz de disparar munición AHEAD (munición antiaérea inteligente), lo que lo hace muy eficaz a la hora de destruir de una manera eficiente los sistemas UAS suicidas como el IAI HAROP o enjambres de drones LSS.

Sistema de misil antiaéreo avanzado (NASAMS): Este sistema de defensa a media altura está compuesto por misiles AMRAAM y un radar SENTINEL. Es capaz de hacer tiro sin visión directa, con guiado semiactivo y de lanzar los 6 misiles (posee 6 tubos) a la vez. Estos misiles tienen un alcance horizontal de hasta 40 km y en altura de hasta 14 km. Vuelan a una velocidad mach 2, suficiente para alcanzar los drones más rápidos. La plataforma de lanzamiento puede operar a una distancia de hasta 25 km del radar. El radar SENTINEL tiene vigilancia 360°, seguimiento de objetivos e identificador amigo-enemigo integrado hasta un rango de 120 km. Este sistema es letal para todo tipo de drones salvo los drones muy sofisticados que sean capaces de volar a grandes alturas.

Sistema de misiles Patriot: Este sistema cuenta con misiles de guiado activo, capaces de volar a velocidades de 5 mach, transportados en lanzadores de 4 unidades. Estos misiles tienen un alcance de 100 km y un techo de 24 km, siendo capaces de destruir múltiples objetivos en un ambiente de contramedidas electrónicas. El sistema cuenta con un radar AN/MPQ53, capaz de detectar una aeronave enemiga a 150 km de distancia. Este sistema es apto para derribar drones de gran tamaño.

Sistema misil Hawk: Este sistema cuenta con misiles con un alcance de hasta 40 km y un techo de 18 km, capaces de una velocidad de vuelo de 2,5 mach. Las últimas actualizaciones otorgan una probabilidad de derribo ante un impacto de un misil HAWK del 90%. Se puede integrar al igual que el Patriot con radares AN/MPQ53. Es eficaz contra drones de medio y gran tamaño a cotas media y baja.

Sistema misil Mistral: Este sistema se monta sobre vehículo lo que le confiere gran velocidad. Sus misiles tienen un alcance de 6 km y un techo de 3 km, son capaces de volar a 2,5 mach. El puesto de tiro en sí puede disparar 360°. Se integran junto con radares RAVEN, con un radio de detección de 20 km. Es eficaz contra drones de tamaño pequeño como el IAI HAROP o incluso algunos LSS.

Torres Guardian 2.0 y Guardian 30: La torre Guardian 30 ha sido seleccionada para el modelo estándar del VCR 8x8, mientras que la torre Guardian 2.0 ha sido seleccionada para otras variantes de este VCR (Vehículo de Combate sobre Ruedas) como el VCZ (Vehículo de Combate de Zapadores). La torre Guardian 30, posee los medios electroópticos necesarios para realizar tiro eficaz con su cañón de 30 mm sobre drones clase I o clase II a baja cota. Posee además la capacidad de incorporar misiles tierra-aire que le conferirían capacidades adicionales contra drones clase II. La torre Guardian 2.0, por un coste mucho menor, permite enfrentar drones clase I con sus medios electroópticos y cañón de 12,70 mm o 7,62 mm. [23]

Los medios antiaéreos **no cinéticos** españoles son:

Sistema AUDS: Este sistema se adquirió expresamente para las tropas españolas desplegadas en Irak en 2017, en concreto para la defensa de la base de Besmayah, como se expresa en la entrevista realizada al Capitán del EA D. Santiago García Ramos situada en el Anexo B. El AUDS se compone de tres subsistemas: uno de detección, otro de seguimiento y un último de inhibición. Mediante estos sistemas, el AUDS es capaz de detectar la firma radar de un dron LSS a 3,5 km, comenzar su seguimiento a 2,2 km y neutralizarlo mediante un sistema de inhibidor de RF. Este sistema fue exitoso contra el hostigamiento de drones comerciales LSS



pilotados por grupos terroristas, como el DAESH. Es adaptable a configuración vehicular. [24]

Galileo de Wavenet, Proteus de Enginno, SENDES HD03Tde ASDT: Estos tres sistemas son fusiles anti-dron portables. Todos están siendo estudiados y desarrollados para una posible adquisición a gran escala como parte del proyecto CONDOR. Son sistemas portables por un solo combatiente, si bien con configuraciones bastante aparatosas, y capaces de derribar drones mediante *jamming* (ambos tipos) en distancias cortas, normalmente de menos de 2 km. Se han demostrado eficaces en el derribo de drones LSS y versátiles en su uso, pudiendo adoptar configuraciones portátiles o fijas. El SENDES de ASDT se puede adquirir también junto a todo su entorno de sistemas, incluyendo sistemas de mando y control y de detección ya integrados. La información ha sido extraída de la entrevista realizada al Capitán del EA D. Santiago García Ramos, situada en el Anexo B.

NFZRONE/ATENEA: De este sistema de Centum hay poca información disponible al público, pero sabemos que se trata de un sistema formado por 5 módulos, capaces en conjunto de detección, *jamming*, *spoofing* y el mando y control del proceso. Ya ha sido probado por el Ministerio de Defensa, como parte del proyecto CONDOR, y se está llevando a cabo su integración, al menos la de su módulo capaz de *Spoofing*, Atenea, con la torre Guardian 2.0 del nuevo 8x8 Dragón, producto de la empresa Escribano. De esta manera se obtiene una capacidad anti LSS muy potente con la combinación de un sistema cinético, la ametralladora multitubo Dillon Aero M134D, y no cinético, el *NoFlyZrone*. [25]

En cuanto a la detección, a parte de todos los radares integrados de los sistemas C-UAS ya comentados, se ha llevado a cabo la compra de los Lanza 3D de Indra, modernos radares que incorporan esta tecnología ya comentada. Se encuentran en sus versiones fijas, desplegadas y navales. Son capaces de detectar aeronaves con tecnologías de baja detectabilidad. En su versión de largo alcance obtiene distancias de detección de 470 km, y en las de medio alcance de 100-300 km. Este sistema no es práctico para detectar UAS LSS, pero si puede ser útil para detectar otros sistemas como el Bayraktar TB2 y el MQ-9 Reaper, que poseen una firma radar reducida. [26]

4.1.2 Análisis de los sistemas C-RPAS más destacados

En cuanto a los sistemas C-RPAS, a continuación, se van a exponer los sistemas que están demostrando ser eficaces contra los RPAS LSS, *Loitering munitions* y clase II el principal caso de estudio de este trabajo.

PANTSIR: El Pantsir S-1 (o SA-22) es un sistema ruso de SHORAD que combina misiles tierra-aire con cañones antiaéreos de 30 mm. Se puede configurar sobre vehículo ruedas, cadenas (T-72 o T-80), emplazamiento fijo o naval. Puede portar 12 misiles tierra-aire 57E6 con un rango operacional de 18 km y una altura de vuelo de 15 km, capaces de volar a Mach-3 y con una tasa de letalidad del 70-90%. Los cañones antiaéreos tienen un rango de 4 km y pueden disparar en una elevación tan baja como los 0m. Estos cañones pueden utilizar una variedad de municiones antiaéreas como la AHEAD. El sistema multisensor proporciona una detección fiable a los 36 km y seguimiento a los 28 km. En total (contando los radares de detección y seguimiento, y el sistema electroóptico) el sistema multisensor puede combatir 4 amenazas a la vez y 10 amenazas por minuto, con un tiempo de reacción de 6 segundos para el sistema misil y 2 segundos para el cañón. Como se puede observar, el Pantsir es un sistema SHORAD cinético muy potente y perfectamente adaptado para combatir UAS y lo ha demostrado derribando numerosos drones y misiles en la guerra de Siria, incluso contando entre sus víctimas con un MQ-9 Reaper. Aun así, está lejos de ser infalible, habiendo sido destruidos 23 sistemas Pantsir-



S1 entre las guerras de Siria y Libia. Han demostrado ser vulnerables ante ataques de drones kamikaze o enjambres de drones, sobre todo cuando se encuentran aislados. El precio de este sistema ronda los 35 millones por unidad cuando se adquiere en baterías de 4 a 6 vehículos, contando con vehículos auxiliares, armamento completo, instrucción y respaldo logístico. [27].

TOR: El Tor M-2 es también un sistema ruso de SHORAD, pero en este caso solo incorpora medios misil. Aunque tiene unas prestaciones generalmente inferiores que el Pantsir en cuanto a rango de detección y neutralización, es capaz de portar 16 misiles 9M338, especialmente diseñados para destruir aeronaves pequeñas y maniobrables, como lo son la mayoría de RPAS. Esto lo hace más eficaz a la hora de lidiar con enjambres de drones. Aun así, el uso de múltiples drones de coste inferior al de los misiles podría provocar que esto no fuera económicamente rentable. Cuando se desplegaron en Nagorno-Karabaj tuvieron relativo éxito, pero fueron constantemente acechados por los drones. En al menos una ocasión, un Tor M-2 fue destruido por un IAI Harop cuando intentaba entrar en un garaje, mientras un Bayraktar TB-2 designaba y seguía al objetivo. El Tor M-2 tiene un coste de 25 millones de dólares por unidad. [4]

En contraposición a estos dos sistemas rusos que ya han sido desplegados, Occidente ha reducido en los últimos años la inversión en sistemas SHORAD (como el Tor o el Pantsir) o incluso en MANPADS (*Man Portable Air Defense System*, referido a sistemas antiaéreos que puede portar un combatiente, como el Stinger), pero el interés se ha renovado recientemente a la luz de las capacidades y desarrollos de los sistemas UAS. Existen medios occidentales, como el Ozelot alemán o el Avenger estadounidense, que, aunque proporcionan ciertas capacidades de SHORAD en primera línea, están quedando rápidamente obsoletos frente al desarrollo de los UAS. [28]

Stryker A1 Initial Maneuver Short-Range Air Defence (IM-SHORAD) Vehicle: Esta novedosa variante desarrollada sobre la plataforma 8x8 Stryker es la respuesta del ejército de los EE. UU. ante la renovada necesidad de SHORAD. Se define como IM-SHORAD porque está doctrinalmente pensado para acompañar de manera cercana a las unidades de maniobra, constituyendo un SHORAD móvil. Está equipado con medios de detección, cinéticos y no cinéticos capaces de detectar y neutralizar amenazas UAS de clase I, II y III. [14]

ARMS: Este sistema integral de INDRA se ofrece como un pack completo y modular de sistemas de detección, seguimiento, neutralización y C2 capaz de neutralizar UAS de clase I y II. Este sistema está principalmente orientado a la defensa de instalaciones (de manera similar a la que ya se ha utilizado el sistema AUDS), pero se oferta también en configuración vehicular. [29]

DRONESENTRY-X: De la empresa DronesShield, que también ofrece sistemas portables y fijos, el DroneSentry-X es un sistema de vigilancia y neutralización mediante *jammimg* 360°. Se puede montar sobre vehículos muy ligeros y ofrece una protección móvil contra UAS de clase I, especialmente eficiente contra enjambres de drones comerciales. [30]

Raytheon HELWS: De manera similar al sistema de DronesShield, Raytheon posee un sistema vehicular ya instalado en varios prototipos estadounidenses. En su caso, el HELWS funciona mediante láseres de alta potencia y microondas de alta potencia, lo que le proporciona capacidades contra UAS de clase I con toda la movilidad del vehículo utilizado. [31]

Rheinmetall Skyranger 30: Este sistema es la oferta de la empresa europea Rheinmetall como solución a la creciente demanda de SHORAD móvil. El sistema se puede montar sobre la barcaza de todos los vehículos 6x6, 8x8 o cadenas modernos. Consiste en un cañón AA (antiaéreo) de 30 mm capaz de disparar munición AHEAD y un moderno sistema de



detección compuesto por 5 antenas que le confieren un radio de detección 360°. Este sistema está optimizado para objetivos pequeños y es, además, capaz de trabajar de forma pasiva, evitando desprender radiaciones que puedan ser captadas por drones antirradar. Su conjunto de capacidades lo hacen, a priori, un sistema muy interesante para lidiar con UAS clase I y II. [32]

4.1.3 Análisis de los sistemas RPAS más destacados

El mercado de los RPAS ha proliferado enormemente en los últimos años, por lo que a continuación se presentan algunos de los modelos más utilizados de RPAS con el objetivo de ejemplificar a todos los que son similares en su uso y características.

Tabla 4. Características del DJI Mavic Air 2. Elaboración propia. [33]

DJI Mavic Air 2	
Ficha técnica	Características
<ul style="list-style-type: none"> • Empresa: DJI • Tipo de ala: Rotatoria • Peso: 570 g • Velocidad máxima de vuelo: 68 km/h • Techo de vuelo: 500 m (con restricción de software) / 6000 m sobre nivel del mar • Alcance: 34 min • Rango: 10 km • Precio: 850 € 	<p>Este dron LSS posee un buen sistema de captura de video 4K en movimiento y un sistema anticollisiones básico integrado, algo inferior al Phantom en estos aspectos, pero considerablemente más barato. Además, su vuelo es relativamente silencioso.</p>
Capacidades	
<p>Este dron LSS fabricado en China puede ser adquirido desde casi cualquier parte del mundo por cualquier persona. Ofrece la capacidad de realizar acciones ISTAR a corta distancia a grupos con pocos recursos, como rebeldes o grupos terroristas. Su gran calidad de toma de imágenes puede resultar interesante para grabar propaganda, muy importante para estos grupos. Su menor coste le permite, además, realizar acciones kamikaze con mayor eficiencia económica, portando pequeñas cantidades de explosivo o granadas.</p>	




Tabla 5. Características del DJI Mavic Mini. Elaboración propia.[34]

DJI Mavic Mini	
Ficha técnica	Características
<ul style="list-style-type: none"> • Empresa: DJI • Tipo de ala: Rotatoria • Peso: 250 g • Velocidad máxima de vuelo: 72 km/h • Techo de vuelo: 500 m (con restricción de software) / 4000 m sobre nivel del mar • Alcance: 31 min • Rango: 10 km • Precio: 450 € 	<p>Este dron LSS es de un tamaño y pesos muy reducidos. Si a esto le sumamos lo silencioso de su vuelo, es realmente difícil de detectar. Aunque inferior, tiene todavía una gran capacidad de toma de imágenes y video.</p>
Capacidades	
<p>Este pequeño dron LSS fabricado en China puede ser adquirido desde casi cualquier parte del mundo por cualquier persona. Es idóneo para llevar a cabo ataques kamikazes transportando pequeñas cantidades de explosivos, dado su pequeño tamaño, reducido coste y buenas capacidades de vuelo. Aun así, retiene bastante capacidad de toma de imágenes, para misiones de reconocimiento o seleccionar objetivos del ataque</p>	

Estos dos modelos de DJI ejemplifican el mercado civil de drones LSS de ala rotatoria, que son los que más desarrollo y proliferación están sufriendo en esta categoría. Proporcionan capacidades de observación y hostigamiento muy difíciles de contrarrestar sin contramedidas específicas. Aunque no suponen un peligro para vehículos blindados, pueden hostigar al personal desembarcado o los trenes logísticos de las unidades de primer escalón, además de proporcionar información para otras acciones enemigas. Debido a su bajo coste y capacidades de infiltración, los medios cinéticos son muy ineficientes contra ellos, tanto en el plano económico como en el táctico por las posibilidades de fuego amigo. Los tres modelos seleccionados funcionan en las bandas de frecuencias de 2.4 y 5.8 GHz, así como con canales de GNSS sin encriptar, lo que los hace muy susceptibles a *jamming* y *spoofing*. Se puede llegar a proteger estos sistemas contra los ataques mencionados, pero esto aumenta su coste y su dificultad de uso, lo que probablemente no esté al alcance de los grupos más dados a usar este tipo de medios, dado que poseen recursos escasos.



Tabla 6. Características del Kargu 2. Elaboración propia.[35]

Kargu 2	
Ficha técnica	Características
<ul style="list-style-type: none"> • Empresa: STM (Turquía) • Tipo de ala: Rotatoria • Peso: 7000 g • Velocidad máxima de vuelo: 72 km/h • Techo de vuelo: 500 m (con restricción de software) / 2800 m sobre nivel del mar • Alcance: 30 min • Rango: 5/10 km • Precio: Publicitado como “bajo coste”. Se alrededor de 20.000-70.000 dólares por similitud con otros sistemas. • Armamento: Cargas explosivas de 1,3 kg 	<p>Este dron LSS, adquirido principalmente por las fuerzas armadas turcas, es del tipo “loitering munition”, por lo que tiene una IA que le permite actuar sin interacción humana en ciertos casos. Se le atribuye, de hecho, el primer ataque realizado de forma totalmente autónoma, sin aprobación humana, en Libia, 2020. Ha demostrado también tener capacidad de actuar en “enjambre”, modo en el que estos drones pueden volar de forma coordinada y en formación, controlados por un solo operador o de forma autónoma.</p>
Capacidades	
<p>Este dron LSS kamikaze supone una gran mejora respecto a sus contrapartes fabricadas con drones civiles. Se desconocen sus frecuencias de funcionamiento y protecciones antijamming/spoofing y su capacidad de trabajar en enjambre y/o de forma autónoma podrían superar incluso defensas especializadas en C-UAS LSS. Aun así, una defensa lo suficientemente eficaz podría hacer que este tipo de ataques resulte ineficiente.</p>	
	

Existen varios sistemas de este tipo, pero este es el que se presume más barato y accesible para los ejércitos no aliados, como el de Marruecos. Otros drones similares son el Switchblade y el Raytheon Coyote americanos. Ambos son de ala fija, pero con capacidades similares. El primero es muy similar en capacidades al Kargu, pero su coste se estima en 70000 dólares [36]. El Raytheon Coyote tiene la funcionalidad añadida de poder actuar como C-UAS, pudiendo derribar drones de clase I y II al actuar como un buscador de RF. Como ya se ha dicho, los ataques kamikaze de drones tan pequeños no suponen un gran riesgo para vehículos blindados, pero si pueden hostigar a las fuerzas desembarcadas y logísticas.



Tabla 7. Características del IAI Harop. Elaboración propia.[37]

IAI Harop	
Ficha técnica	Características
<ul style="list-style-type: none"> • Empresa: IAI (Israel) • Tipo de ala: Fija • Peso: 135 kg (total) • Velocidad máxima de vuelo: 417 km/h • Techo de vuelo: 4600 m • Alcance: 9 horas • Rango: 200 km (con comunicación) / 1000 km (autónomo) • Precio: 10 millones por unidad (sistema completo, reponer solo el dron sería menos costoso) • Armamento: Cargas explosivas de hasta 23 kg 	<p>Este dron Kamikaze tiene unas características muy superiores a las de los vistos anteriormente. Se trata, también, de una “munición merodeadora” capaz de actuar de forma autónoma. En este caso, el Harop está especialmente diseñado para detectar la señal RF de los radares activos y atacarlos sin necesidad de interacción humana. Esto se ve facilitado por su diseño enfocado a reducir su firma radar, así como sus patrones de vuelo, muy distintos de los de los misiles de vuelo fijo.</p>
Capacidades	
<p>Este dron LSS kamikaze ha demostrado ser altamente eficaz a la hora de destruir emplazamientos radar. Al poder operar sin comunicaciones con tierra es muy resistente al <i>jamming</i> de link de datos. Su uso es especialmente peligroso con una pareja que haga activarse los radares y contra radares tradicionales, muy ineficaces a la hora de detectar este tipo de drones. Presentan una amenaza doble para los vehículos mecanizados, aunque estos no sean su objetivo principal. Es capaz de destruir vehículos mecanizados con un impacto en su parte superior y puede destruir los radares que proporcionan la detección para la defensa antiaérea a una unidad mecanizada.</p>	



Tabla 8. Características del Bayraktar TB2. Elaboración propia.[38]

Bayraktar TB2	
Ficha técnica	Características
<ul style="list-style-type: none"> • Empresa: Baykar (Turquía) • Tipo de ala: Fija • Peso: 600 kg (al despegue) • Velocidad máxima de vuelo: 220 km/h • Techo de vuelo: 8200 m (altura operacional de 5500 m) • Alcance: 27 horas • Rango: 300 km (con comunicaciones) • Precio: 5 millones/unidad • Armamento: 4 municiones inteligentes guiadas por laser 	<p>Este dron se clasifica como MALE. Ofrece unas potentes capacidades de ataque por un precio muy reducido comparado con aeronaves convencionales. Aunque es su firma radar es mayor que la del IAI Harop, los sistemas tradicionales tienen bastantes problemas para detectarlo.</p>
Capacidades	
<p>Este dron MALE ha demostrado sus capacidades de combate en la guerra de Nagorno-Karabaj, destruyendo incluso modernos sistemas Pantsir rusos, diseñados para contrarrestar este tipo de aeronaves. Su bajo coste y nulo riesgo de pérdida de vida humana le permiten llevar a cabo misiones de alto riesgo. El armamento que porta puede destruir por igual baterías antiaéreas, vehículos mecanizados y vehículos logísticos, a la vez que lo graba para mayor impacto moral.</p>	

Como ya se ha comentado, el combo IAI Harop-Bayraktar TB2 resultó muy efectivo en la guerra de Nagorno-Karabaj. Mientras el IAI Harop destruía los ya de por sí escasos sistemas de detección armenios, el Bayraktar TB2 era libre para destruir baterías, puestos de mando y unidades acorazadas con impunidad.



Tabla 9. Características del MQ-9 Reaper. Elaboración propia. [40]

MQ-9 Reaper	
Ficha técnica	Características
<ul style="list-style-type: none"> • Empresa: GA-ASI (EE. UU.) • Tipo de ala: Fija • Peso: 4760 kg (máximo al despegue) / 2223 kg (vacío) • Velocidad máxima de vuelo: 482 km/h • Techo de vuelo: 15420 m (altura operacional de 7500 m) • Alcance: 14 horas con carga máxima / 27 horas • Rango: 1900 km (con comunicaciones) • Precio: 32 millones/unidad • Armamento: 7 acoples para armamento, incluyendo misiles Hellfire. 	<p>Las impresionantes características de este dron de clase III lo hacen asemejarse mucho a un caza moderno, con un coste mayor que el de helicóptero Apache. Presenta unas potentes capacidades para llevar a cabo acciones de ataque a tierra y misiones ISTAR sin riesgo humano. Necesita dos pilotos en una estación terrestre. No posee los sistemas necesarios para volar en zonas con tráfico aéreo civil.</p>
Capacidades	
<p>Aunque este sistema ofrece unas potentes capacidades de combate y reconocimiento sin peligro de exponer pilotos formados, está lejos de ser invulnerable. Ha sido derribado por Pantsir rusos, misiles SA-6 iraníes y afectado por sistemas de <i>jamming</i> en Libia. Aun así, es uno de los sistemas de su clase más populares.</p>	

Los CH-4 chinos ofrecen unas capacidades inferiores pero comparables a un precio inferior. El CH-5, según fuentes internas, ofrecerá las mismas capacidades que el MQ-9 Reaper a menor precio, pero un mayor tamaño lo hará más detectable. Estos sistemas son perfectamente compatibles con el concepto actual de defensa antiaérea, pero los sistemas no cinéticos pueden aumentar las posibilidades de éxito. La falta del elemento humano puede hacer que estos drones realicen misiones más arriesgadas, por lo que las medidas de defensa pasiva contra esta amenaza son fundamentales.



4.1.4 Conclusión de la comparativa

De la exposición de las características de los sistemas RPAS y C-RPAS expuestos se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- En general España y la mayoría de los países cuentan con unos medios y un concepto de defensa antiaérea capaz de lidiar con los RPAS de clase III, pero la ausencia de piloto en estos y por tanto la ausencia del coste humano podría hacer que fuera necesario aumentar las capacidades antiaéreas, ya que sería lógico que estos drones llevaran a cabo misiones más arriesgadas que aeronaves convencionales.
- Los RPAS de clase I y II, por precio y características, suponen una amenaza que los medios antiaéreos españoles no pueden combatir eficientemente, como queda de manifiesto al observar sus capacidades.
- Hay una gran proliferación (liderada por países como E.E.U.U. y Rusia) de medios C-RPAS cinéticos y no cinéticos que podrían, a priori, enfrentar la amenaza RPAS clase I y II eficientemente con una correcta implementación.

4.2 IMPLANTACIÓN DE SOLUCIONES

4.2.1 Comparativa de opciones de defensa activa

Una vez se han establecido las principales amenazas y opciones de defensa que tiene una unidad de infantería mecanizada a la hora de operar, se va a sintetizar esta información. A partir de las entrevistas a los expertos en el tema el Capitán del EA D. José Alberto Marín Delgado y el Capitán del EA D. Santiago García Ramos, incluidas en los Anexos A y B se han deducido 4 requisitos esenciales para un sistema destinado a proporcionar C-UAS a las unidades de infantería mecanizada:

- 1) Detección de UAS clase I y II
- 2) Efectividad contra UAS clase I
- 3) Efectividad contra UAS clase II
- 4) Acompañar a las unidades mecanizadas de primer escalón

En primer lugar, los sistemas rusos como el TOR y el Pantsir, aun cumpliendo sobradamente con las dos primeras características, quedan automáticamente descartados ante la imposibilidad del Ejército de Tierra de adquirir material ruso. En cuanto al resto de opciones, realmente no existen vehículos modernos configurados que se adapten a las características expuestas, a excepción del Stryker A1 M-SHORAD y vehículos experimentales como el Raytheon HELWS. En su lugar, se presentan varias opciones de torretas y barcasas¹⁰ con las que se podría configurar un vehículo de estas características. En la Tabla 10 podemos ver las características que cumplen los sistemas que, a priori, podrían servir como propuesta.

¹⁰ Torreta o Torre es la parte rotatoria y elevada de un vehículo que porta el sistema de armas principal. La barcaza es el armazón de un vehículo militar pesado en la que se coloca todo el personal y elementos que no vayan en la torre, normalmente conductor, unidad transportada (si la hubiera) y todos los sistemas no relacionados con armamento.



Tabla 10. Comparativa de características deseables para un vehículo de defensa antiaérea destinado al acompañamiento de unidades mecanizadas. Elaboración propia.

Medio	Detección UAS clase I y II	Neutralización UAS clase I	Neutralización UAS clase II	Acompañar unidades mecanizadas de primer escalón
A1 Stryker M-SHORAD	Si	Si	Si	Los medios 8x8 tienen una movilidad similar a los de cadenas, pero no garantizan el acompañamiento
Raytheon HELWS/DroneSentry-X	Si	Si	No	Su escasa protección no encaja con la doctrina de las unidades mecanizadas
Fusil anti-dron (cualquiera de los contenidos en el programa CONDOR)	No	Si, pero no ofrecen capacidades suficientes contra enjambres	No	Si, son portables dentro de un vehículo
Torre Guardian 30	No	Si	Si	-
Torre Guardian 2.0	No	Si	No	-
Torre Skyranger 30	Si	Si	Si	-
Barcaza VCR 8x8	-	-	-	Los medios 8x8 tienen una movilidad similar a los de cadenas, pero no garantizan el acompañamiento
Barcaza Pizarro	-	-	-	Si

Se observa cómo los fusiles anti-dron, aunque muy eficientes en su función, no suponen una respuesta lo suficientemente completa a la amenaza UAS.

Dado que el presupuesto del Ministerio de Defensa no permitirá acometer nuevos grandes programas hasta el 2028 [41], que el sistema esté alineado con los programas de armamento existentes será el criterio eliminatorio:

- El A1 Stryker M-SHORAD, pese a ser un vehículo perfectamente diseñado para el cometido, no ha sido ofrecido a la venta por el ejército de los EE. UU.
- Sistemas como el Raytheon HELWS o el Dronesentry-X suponen una gran inversión en tecnologías en las que el ministerio de Defensa no ha mostrado un interés prioritario por el momento. Además, los vehículos en los que se montan estos sistemas carecen del blindaje necesario para acompañar unidades mecanizadas, dado sus cortos alcances.
- La torre Skyranger 30, tiene unas prestaciones perfectas como sistema C-UAS, pero dada la reciente inversión del ET en las torres Guardian 30, no tendría sentido invertir en otra torre de 30 mm. Una opción mucho más alineada con los programas españoles sería recortar la principal diferencia entre ambas torres, un sistema de detección radar, que se podría llevar a cabo instalando un sistema de radar AESA de RADA como ya se ha barajado ante la posibilidad de instalar un sistema de protección activa (como el Trophy) en el 8x8 Dragón.

Esto nos deja que las únicas opciones realistas hasta el 2028 conllevaría aprovechar los contratos y materiales actuales del ET. Mediante un análisis DAFO podemos valorar las opciones disponibles. Se analiza torre y barcaza por separado porque ambas torres se pueden montar



sobre ambas barcasas. Los análisis DAFO correspondientes se encuentran en las Figuras 6, 7, 8 y 9

Tabla 11. Análisis DAFO Torre Guardian 30. Clave: naranja debilidades, rojo amenazas, verde fortalezas, azul oportunidades. Elaboración propia

Torre Guardian 30	
Carece de medios de detección y de neutralización no cinéticos. Los ángulos de elevación restringen el tiro a los medios aéreos.	Posee un elevado riesgo tecnológico respecto a su uso contra medios aéreos
Su cañón de 30 mm permite alcanzar drones volando a grandes alturas. Además, puede incorporar misiles tierra-aire. .	El calibre de 30 mm permite simplificar el abastecimiento en unidades mecanizadas. Además, está dentro del principal programa del ET en este momento.

Tabla 12. Análisis DAFO Torre Guardian 2. 0. Clave: naranja debilidades, rojo amenazas, verde fortalezas, azul oportunidades. Elaboración propia.

Torre Guardian 2.0	
Carece de medios de detección. Los bajos calibres que admite (7,62mm o 12,70mm) limitan mucho el alcance contra medios aéreos. No permite incorporar misiles.	En cuanto a C-UAS ofrece pocas prestaciones cuando se compara con torres como la de MOOG, que incorpora el Stryker M-SHORAD
Incorpora un sistema no cinético (NFZRONE Atenea). Los bajos calibres y amplios ángulos de elevación permiten el tiro a distancias muy cortas.	Tiene un riesgo tecnológico bajo al haber sido probada en otros países. Además, está dentro del principal programa del ET en este momento.



Tabla 13. Análisis DAFO barcaza 8x8 Dragón. Clave: naranja debilidades, rojo amenazas, verde fortalezas, azul oportunidades. Elaboración propia.

Barcaza 8x8 Dragón	
Se trata de un medio de ruedas, lo cual no garantiza la misma movilidad que los medios de cadena mecanizados.	Un entorno en que proliferen los UAS podría dificultar el uso de vehículos con una barcaza tan grande.
Una barcaza moderna y espaciosa facilita la incorporación de nuevos sistemas. Al ser un medio 8x8 tiene una gran movilidad.	Al tratarse un medio similar al A1 Stryker se podría integrar mejor en caso de uso conjunto. Un vehículo C-UAS sobre la base del 8x8 Dragón puede incrementar las posibilidades de exportación de su familia de vehículos. Además, está dentro del principal programa del ET en este momento.

Tabla 14. Análisis DAFO barcaza Pizarro. Clave: naranja debilidades, rojo amenazas, verde fortalezas, azul oportunidades. Elaboración propia.

Barcaza Pizarro	
Es una barcaza antigua y no diseñada para torres no tripuladas, lo que puede limitar la capacidad de incorporar nuevos sistemas.	El bajo interés mostrado por el ET en continuar la producción de Pizarros podría limitar la actualización de vehículos con esta barcaza.
Proporciona un acompañamiento perfecto a las unidades mecanizadas.	Tiene un riesgo tecnológico bajo al tratarse de una barcaza ampliamente probada

Podemos ver que cada sistema presenta unas ventajas y unas desventajas razonables. Cualquier opción necesitaría la incorporación de radares, preferentemente 3D y con antena AESA (*Active Electronically Scanned Array*, dadas las ventajas a la hora de detectar y evitar ser detectado por RPAS que se han comentado en apartados anteriores y la necesidad de dar una solución al primer problema que se encuentra al combatir con un RPAS, poder detectarlo. La elección de la torre, especialmente en el contexto de la infantería mecanizada, debería ser la de Guardian 30, dados los datos extraídos de la guerra de Nagorno Karabaj, las opiniones de los expertos consultados y las capacidades de los medios RPAS proliferantes. El calibre de 30 mm y los misiles tierra-aire son fundamentales a la hora de combatir los RPAS clase I y clase II que



enfrentaría una unidad mecanizada, drones inalcanzables para la Guardian 2.0 como el IAI Harop o el Bayraktar TB2. Para reforzar esta elección, encontramos el ejemplo del A1 Stryker M-SHORAD, que incorpora un cañón de 30 mm y misiles Hellfire como sus medios de combate principales. Hay que añadir que ya se han realizado pruebas para la integración del NFZRONE/ATENEA, un sistema no cinético de Centum, en la torre Guardian 2.0 de Escribano, y nada indica que no se pudiera llevar a cabo en el futuro con la torre Guardian 30 si los resultados son satisfactorios [42].

La elección de la barcaza del vehículo a desarrollar dependería finalmente del criterio del Ministerio de Defensa respecto al desarrollo del nuevo vehículo dentro del programa dragón 8x8 o del programa Pizarro:

- Si el criterio favorece al programa que está recibiendo la mayor atención, la elección lógica es la barcaza del 8x8 Dragón. Esto ya ha pasado con anterioridad cuando todas las variantes del VCI Pizarro fase 3 fueron canceladas (excepto el Vehículo de Combate de Zapadores Castor) y se están desarrollando vehículos análogos sobre la plataforma 8x8.
- Si el criterio favorece al programa con la plataforma más adaptada a las unidades mecanizadas, la elección lógica sería la barcaza del Pizarro. Las cadenas permiten un acompañamiento cercano en este tipo de unidades que no sería posible con un vehículo de ruedas.

Dado que las unidades mecanizadas van a recibir Vehículos de Combate de Observador Avanzado (VCOAV) sobre la base del 8x8 Dragón [43], es razonable asumir que el criterio del Ministerio de Defensa favorece la primera opción.

4.2.2 Análisis coste-beneficio

En este apartado se va a contraponer el coste de distintos sistemas de defensa antiaérea frente al coste de medios RPAS de todo el espectro de tamaños y costes. Antes de comenzar con el análisis se va a definir lo que se considera en este trabajo, apoyándose en el criterio de expertos de la unidad de prácticas y los que han sido entrevistados para la realización de este, como económicamente viable y tácticamente viable:

- Se dirá que algo es económicamente viable cuando al realizar esta acción se incurra en menos gastos materiales que el bando contrario, sin tener en cuenta costes logísticos de reposición o la posibilidad de reponer las pérdidas dado el acceso a proveedores/tecnología en un conflicto.
- Se dirá que algo es tácticamente viable cuando se juzgue una acción concreta teniendo en cuenta el coste de oportunidad a parte del económico, es decir, cuando los beneficios para la maniobra táctica realizando la acción compensen las posibles pérdidas económicas de la misma. Esto quiere decir, como se verá más adelante, que proteger un puesto de mando con misiles Patriot sería con toda probabilidad tácticamente viable, pero proteger varios Grupos Tácticos Mecanizados con misiles Patriot muy probablemente no lo sea.



Tabla 15. Precio estimado de diferentes sistemas de armas cinéticos de “El sistema de defensa aérea no-cinético, clave para la defensa anti dron” [20]

SISTEMA AA	PRECIO ESTIMADO (dólares)
F-100 / MISIL SM-2 MR	1,7-1,8 millones
PATRIOT / MISIL PAC-3 MSE	4,7-5,6 millones
NASAMS / MISIL AIM-120 C	300.000 – 400.000
HAWK / MISIL MIM-23 HAWK	250.000
MISIL MISTRAL	120.000
MISIL IRIS-T	455.000
CAÑÓN OERLIKON 35 / MUNICIÓN 35 mm AHEAD	1.000 – 1.786 1.786 x 25 disparos (ráfaga) 44.650

Como se muestra en la Tabla 2 del apartado 4.3.1, los medios misil son eficaces contra la inmensa mayoría de drones (una vez detectados), pero esto no significa que el enfrentamiento sea económicamente rentable. Mediante la comparativa del coste de varios medios cinéticos, situados en la Tabla 11, frente al coste de diversos RPAS, situados en la Tabla 12, y apoyándose en la entrevista realizada al Capitán del EA D. José Alberto Marín Delgado, situada en el Anexo A, se pueden extraer ciertas conclusiones:

- Enfrentar grandes drones como el Reaper, el Searcher o incluso el Bayraktar TB2 con medios misil sí es económicamente viable en algunos casos, pero cuando hablamos de drones de menor coste os medios cinéticos actuales no son capaces de lograr esta rentabilidad.
- Cualquier medio misil es ineficiente a la hora de neutralizar municiones merodeadoras, y esta diferencia empeora con las que son capaces de formar enjambres, como el Kargu 2, ya que no serían capaces de detener el ataque, y contra los LSS comerciales, dado su muy bajo coste.
- Los medios cañón tienen graves problemas para alcanzar la rentabilidad al enfrentar



drones como el Kargu 2, y sería muy difícil conseguirla ante LSS comerciales. Aun así, los medios cañón son los más adecuados desde el punto de vista económico siempre que sea viable su uso, a la vez que tienen capacidad para enfrentar enjambres de drones mediante munición AHEAD.

Tabla 16. Precio estimado de diferentes tipos de drones. Elaboración propia.

DRON	PRECIO ESTIMADO (dólares)
MQ-9 REAPER	20 millones [39]
SEARCHER MK II	6 millones [44]
DJI MAVIC AIR 2	850 [33]
DJI MAVIC MINI	450 [34]
KARGU 2	Se estima 20.000-70.000 por similitud con otros sistemas [7]
IAI HAROP	El único contrato público indica un coste unitario de 10 millones por cada sistema completo, sería lógico que reponer solo el dron costase mucho menos.
BAYRAKTAR TB2	Entre 2 y 5 millones según la fuente [45]

Los medios no cinéticos son interesantes porque ofrecen una capacidad de neutralización a corto alcance comparable a la de los medios cinéticos, a muy bajo coste de operación. Una vez realizada la inversión inicial en el sistema solo se incurriría en los gastos de mantenimiento y suministro eléctrico. Además, las opciones no cinéticas contra UAS clase I y II son realmente económicas comparadas con el precio de una batería antiaérea cinética. Un Proteus Alpha de Enginno cuesta alrededor de 30.000 euros, según los datos extraídos de la entrevista con el Capitán del EA destinado en la DGAM D. Santiago García Ramos, frente a los 120.000 de un misil Minstral y los 44.650 de una ráfaga de Oerlikon 35/90.

Dado que los drones clase III se pueden combatir de manera eficaz y eficiente desde un punto de vista doctrinal, nos centraremos en los drones clase I y clase II. En la tabla 13 se puede ver el coste de diversos sistemas (o de sus equivalentes españoles) destruidos por drones clase I y II en la guerra de Nagorno-Karabaj. Los objetivos prioritarios fueron los de defensa antiaérea y, una vez cayeron estos, el resto fueron perseguidos sistemáticamente. No se sitúan los Puestos de Mando al tener configuraciones y tener un valor táctico más que económico por su naturaleza, pero también son objetivos muy rentables. Tampoco se contabilizan los medios logísticos porque su coste viene principalmente determinado por el material transportado, la inmediatez de la



necesidad de este material para las fuerzas propias y la gran cantidad de personal que involucran.

Tabla 17. Coste de materiales frecuentemente atacados por RPAS en acciones de combate. Elaboración propia.

SISTEMA	PRECIO ESTIMADO (dólares)
Defensa antiaérea	
Patriot	1 billón una batería completa[46]
	3 millones un misil [47]
Nasams 2	50 millones batería con radar[48]
	1 millón un misil [49]
Pantsir	15 millones batería con radar [50]
Tor M-1	26 millones con radar[51]
Artillería de campaña	
Obús autopropulsado M109	1,3 millones[52]
Santa Bárbara Sistemas 155/52	3 millones[53]
Medios Acorazados	
Leopardo 2E	10 millones de euros . Se obtiene de dividir un coste real del proyecto de 2399 [54] millones de euros entre 239 unidades entre carros de combate, de recuperación y escuela.



VCI Pizarro	1,92 millones de euros (primera fase) [55] / 7,1 millones de euros (segunda fase). Esta cantidad se ha calculado dividiendo el coste real del proyecto de 845 millones de euros [54] entre los 119 vehículos que serán finalmente entregados, según el propio programa Pizarro [56].
-------------	--

A la vista de estos costes sí que se puede deducir que la rentabilidad del empleo de los medios de defensa antiaérea depende enormemente del objetivo a defender. Un misil NASAMS derribando un dron Harop que fuese a destruir un VCI Pizarro no sería económicamente viable, pero sí sería tácticamente viable si tenemos en cuenta el coste de oportunidad para el enemigo, es decir, el valor del sistema que se está protegiendo. El valor de las vidas humanas y de la maniobra que se esté llevando a cabo añaden además factores que dependen de la situación táctica concreta y no son fácilmente cuantificables, los cuales podrían suponer aún más justificación al uso de medios cinéticos de precio elevado. Con esto, se pueden obtener dos conclusiones:

- Que no se debe reducir la defensa antiaérea convencional, puesto que la amenaza de la aviación sigue presente y es una pieza fundamental de la defensa contra UAS.
- Que, aunque los medios mecanizados no son el objetivo más rentable para los ataques con UAS, si son los que más necesitan un nuevo medio de defensa aérea frente a esta amenaza dada la baja rentabilidad del uso de medios convencionales en este caso.

A la hora de estimar un precio para un vehículo C-UAS español, debemos estimar el precio de la barcaza, de la torre y de los elementos complementarios.

En cuanto a la barcaza:

- El programa 8x8 Dragón va a proporcionar 348 vehículos por 2.100 millones de euros en una primera fase[43]. En la fase final se pretende que este número ascienda a 998 vehículos por 3.836 millones de euros (*VCR 8x8 Dragón: arranca la fabricación del nuevo vehículo blindado para el Ejército de Tierra*). Esto resulta en un coste unitario de 6 millones de euros en su primera fase y un coste unitario de 3,84 millones de euros en su fase final. Cabe destacar que estos costes no tienen en cuenta la torre, que quedó fuera del presupuesto.
- El programa Pizarro sufrió unos graves sobrecostes en su 2º Fase, lo que contribuyó a la reducción del alcance del programa. Cada Pizarro Fase I tuvo en precio entorno a los 2,6 millones de euros, mientras que los requisitos especiales en la segunda fase del programa y la mayor involucración de proveedores españoles han elevado el precio a los 7,1 millones de euros por unidad. Estos costes han sido calculados teniendo en cuenta la torre que incorpora el Pizarro, por lo que se puede suponer que la barcaza se podría adquirir a un precio inferior. Para realizar una suposición lógica del precio de la barcaza, se va a sustraer el precio de una torre Guardian 30 al precio de un Pizarro fase II.

En lo que respecta a la torre, en un acuerdo destinado a la fabricación del VCR 8x8 Dragón, se proporcionarán 219 torres Guardian 30 por 200 millones de euros (*Escribano producirá la torre de 30 mm del VCR 8x8 Dragón del Ejército de Tierra*), lo que resulta en un coste unitario de 0,91 millones de euros.

En cuanto a los elementos complementarios:

- El sistema NFZRONE Atenea se pretende integrar en la torre Guardian 2.0 supone un recargo de 150.000 euros (*Centum y Escribano trabajan en el diseño de un sistema*



antidrón). Podemos aplicar este coste a una posible integración del sistema en las torres Guardian 30, que son fabricadas por la misma empresa.

- El Iron Fist, un sistema de protección activa que incorpora radares AESA RPS10 de RADA, se podría instalar en la barcaza del Dragón el Pizarro con un coste unitario de 600.000 euros (*Dotar al VCR 8x8 para el Ejército de Tierra con un sistema de protección activa costaría menos de 600.000 euros por blindado-noticia defensa.com - Noticias Defensa España*). Para esta estimación vamos a conservar el precio de 600.000 considerando solo la instalación del radar y el visto electroóptico que lo acompaña. Se utiliza el precio completo del sistema para representar el reto tecnológico que supone integrar los medios de detección con el armamento de la torre escogida en lugar de los medios del Iron Fist.

Los precios estimados anteriormente quedan reflejados en la Tabla 14, obteniendo dos posibles resultados en función de la barcaza utilizada. Vamos a bautizar estos hipotéticos vehículos como Dragón M-SHORAD y Pizarro M-SHORAD.

Tabla 18. Estimación de costes para un posible sistema M-SHORAD. Elaboración propia.

Sistema	COSTE (euros) por unidad
Barcaza 8x8 Dragón	6,03 millones (primera fase) / 3,84 millones (fase final)
Barcaza Pizarro Fase 2	6,19 millones
Torre Guardian 2.0	0,91 millones
NFZRONE integrado	150000
Radar RPS10	600000
Dragón M-SHORAD	7,69 millones (primera fase) / 5,5 millones (fase final)
Pizarro M-SHORAD	7,85 millones

Si comparamos este coste con el de los medios antiaéreos de la Tabla 13, es realmente bajo y en una plataforma de alta movilidad, si bien es cierto que no ofrece protección ante drones clase III e incluso drones clase II, como podría ser el Bayraktar TB2.

Para completar la comparativa, el programa M-SHORAD del ejército de los EE. UU. ha encargado 28 Stryker M-SHORAD por 230 millones de dólares, lo que resultaría en un coste de



8,2 millones de dólares, que sería más correcto comparar con el coste de 5,5 millones de euros (6,22 millones de dólares hoy) dado que el programa del Stryker está muy asentado. Aunque los vehículos propuestos tengan un coste previsto inferior al Stryker M-SHORAD, los sobrecostes medios de programas de armamento españoles son aproximadamente del 32% (*Los programas especiales de armamento registran una desviación de coste del 32*), lo que podría resultar en un precio final muy similar.

En definitiva, se pueden desarrollar medios dentro de programas de armamento españoles existentes que permitan contrarrestar los UAS manteniendo la viabilidad táctica en las acciones de protección de fuerzas de infantería mecanizada gracias a un acompañamiento cercano, eficacia y eficiencia.

4.2.3 Determinación de necesidades de la Infantería mecanizada y propuestas

A partir de las problemáticas y los sistemas analizados, se puede determinar que la infantería mecanizada tiene las siguientes necesidades respecto al C-UAS:

- 1) Contar con doctrina que le permita modificar su actitud en un ambiente con presencia de UAS enemigo y mejorar su autoprotección
- 2) Medidas de protección pasivas adaptadas a los modernos sistemas de visión de los UAS
- 3) Capacidad de detección de UAS clase I y II.
- 4) Capacidad de neutralización de clase I y II, para autoprotección y dentro del concepto “defensa en profundidad”, para evitar que neutralicen las baterías antiaéreas y trenes logísticos a retaguardia que permiten actuar a la unidad de maniobra.

Las propuestas son las siguientes:

1) Doctrina adaptada a entorno UAS

Como ya se ha comentado en el análisis realizado, la rápida destrucción de las ya de por sí maltrechas defensas antiaéreas durante la guerra de Nagorno-Karabaj dejó a las unidades acorazadas/mecanizadas a merced del ataque de UCAS. Una vez se produjo esta situación, el ejército armenio tuvo grandes dificultades para reconocer que se estaba moviendo en un entorno dominado por UAS y adoptar su doctrina en consecuencia. Separación de vehículos, evitar la concentración de personal y cambiar constantemente el asentamiento de la artillería propia son medidas que no se llevaron a cabo con la diligencia requerida, pero que sí se encuentran en la doctrina española. Sin embargo, hay dos acciones que podrían haber mitigado el efecto de los UAS y no se encuentran reflejadas en la doctrina española:

La primera, y de muy difícil aplicación, es el uso de señuelos. Los escasos y rudimentarios señuelos desplegados por el ejército armenio fueron eficaces a la hora de engañar a los UAS azeríes, pero se desplegaron en una cantidad demasiado pequeña para marcar la diferencia. Los señuelos están doctrinalmente contemplados en el ejército español en manual OR5-005, pero no se ha mostrado ningún interés por parte del Ministerio de Defensa en llevar a cabo una producción de señuelos a gran escala, por lo que no formarán parte de esta propuesta, pero es importante tener en cuenta las ventajas de su uso. Señuelos hinchables rudimentarios pueden liberar muchos sistemas del acoso de UAS guiados por medios ópticos, y en la guerra moderna donde se busca bloquear las comunicaciones y radares enemigos con EW y municiones



merodeadoras, los señuelos que emitan señales EM podrían proporcionar la distracción necesaria para operar nuestros sistemas.

La segunda y que sí formará parte de la propuesta, es la actualización del manual OR5-004 (Enmascaramiento, Ocultación y Decepción) para incluir la preferencia que debe tomar la ocultación frente a la fortificación en un entorno sin superioridad aérea o en el cual la superioridad aérea propia no puede garantizar la protección frente a las actuaciones de UCAS dadas sus características particulares. Los vehículos acorazados/mecanizados deben permanecer en movimiento para su buen uso, pero cuando deben detenerse para formar parte de una defensiva



Figura 5. Dron TB-2 azerí abatiendo sistemas antiaéreos armenios. Fuente. Ministerio de Defensa de Azerbaiyán. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=WGpOg93GPKg> y <https://www.youtube.com/watch?v=bNoPM5T6qoE>

es común la excavación de puestos de tiro de vehículo, a fin de aprovechar su potente armamento. Estos fosos protegen del tiro tenso y las vistas en el entorno terrestre, pero delatan cualquier material que se introduzca en ellos por muy camuflado que esté, debido a la gran transformación del terreno fácilmente observable desde el cielo, como se puede observar en la Figura 10.

Se debe sopesar el riesgo beneficio y, en muchos casos, colocar el vehículo más a retaguardia y bien oculto de vistas aéreas por vegetación o redes, esperando el momento adecuado para su uso. El apartado 11.3 de este manual podría ser modificado para incluir el caso particular expuesto (la parte añadida se muestra en **negrita**):

11.3 OCULTACIÓN A LA OBSERVACIÓN AÉREA

Contra la observación aérea, las masas arbóreas densas ocultan bien a toda clase de medios, el monte bajo oculta bien al personal y los sembrados de cereales y similares no ocultan ni al personal ni al material.



Cuando nos encontremos en un entorno en el que el enemigo tiene la superioridad aérea o puede llevar a cabo acciones con medios UCAS, se debe analizar el riesgo y el beneficio de primar la ocultación a la observación aérea frente a la ocultación y protección frente a medios terrestres. Se deben evitar modificaciones evidentes del terreno, como fosos para carros, que puedan delatar la posición de nuestros medios pese a su camuflaje.

2) Mejora de las redes de camuflaje españolas

Las redes de camuflaje actuales del ejército español solo proporcionan protección visual. Como se ha expuesto en el apartado de defensas pasivas, las redes multiespectrales pueden marcar la diferencia a la hora de ocultar los medios españoles frente a los modernos medios electrópticos que se pueden incorporar en los UAS. Es una medida muy eficaz en cuanto a coste-beneficio, que ya se encuentra en dotación y reflejada en la doctrina española, y tan solo requeriría una actualización del material. Una opción atractiva y la que forma parte de esta propuesta es adquirir redes ULCANS (*Ultra Lightweight Camouflage Net System*) y sistemas de camuflaje móvil para los medios mecanizados españoles. El ET ya ha presentado a concurso una partida de 16.648.890 de euros por la fabricación de 69.000 redes miméticas multiespectrales, que se adquirirán de manera centralizada en el ET y se repartirán a posteriori. El resultado de este concurso público, que establecerá un contrato de suministro de 4 años ampliable a 6, puede servir de precursor para valorar la adquisición de sistemas de camuflaje móvil para complementar el uso de redes miméticas, si el uso de estas resulta satisfactorio. Empresas como SAAB Barracuda y TDU ofrecen estos sistemas. La primera empresa se encargará de proporcionar sistemas de camuflaje móviles para los nuevos Leopard 2 A7V alemanes. ULCANS y sistemas de camuflaje móviles se pueden combinar para formar sistemas combinados, de una eficacia notable por un coste muy reducido. La propuesta consiste en continuar este tipo de inversiones y que todo vehículo mecanizado español desplegado pueda contar con defensas pasivas de esta clase. Se puede observar la diferencia entre un camuflaje multiespectral móvil, en la Figura 11, y una ULCAN, Figura 12.



Figura 6. Camuflaje multiespectral móvil.



Figura 7. ULCANS

3) Implantación de plataforma M-SHORAD para acompañar a unidades de infantería mecanizada

La batería MINSTRAL que posee la Brigada se suele constituir como Unidad de Defensa Antiaérea (o UDAA) que da apoyo a los GT (Grupos Tácticos) que lo requieren a juicio de la Brigada. Según el manual PD4-306 la batería MINSTRAL es capaz de realizar misiones de acompañamiento a las unidades de maniobra, modalidad de apoyo que sería adecuada para contrarrestar la amenaza UAS. Pero esto presenta una problemática diversa y que ya se ha ido comentando a lo largo de este trabajo:

- Los misiles MINSTRAL son ineficientes contra una gran variedad de drones de clase I, especialmente los LSS comerciales. Aunque sean eficaces, tienen un elevado precio y su uso C-UAS podría privar al Grupo Táctico Mecanizado de protección contra otras amenazas.
- Los misiles MINSTRAL no son aptos para neutralizar enjambres de drones.
- El radar RAVEN de la batería MINSTRAL se encuentra en el Centro de Operaciones de Artillería Antiaérea Semiautomático Ligero (o COAAAS-L), a retaguardia, y está pensado para detectar amenazas convencionales como helicópteros. No presenta las características necesarias para detectar UAS debido a su baja Sección Equivalente de Radar y perfil de vuelo.
- Las baterías MINSTRAL actualmente se despliegan sobre URO VAMTAC, un medio rueda incapaz de seguir el ritmo de medios cadena como el Pizarro en terreno complicado.

Todo esto denota la necesidad de incorporar medios M-SHORAD capaces de realizar un acompañamiento cercano a las unidades mecanizadas, que aportaría dos capacidades fundamentales: La autoprotección de la fuerza acompañada frente a drones clase I y II y la detección temprana de drones clase I y II que se dispongan a atacar los medios de defensa antiaérea propios, dentro del concepto de defensa ponderada. El vehículo M-SHORAD elegido debería poseer una movilidad similar a la unidad acompañada, un armamento eficaz y eficiente contra drones clase I y II y un sistema radar vehicular capaz de detectar drones clase I y II, si pretende aportar las capacidades indicadas.

La propuesta de este trabajo consiste en la creación de una sección M-SHORAD en las



Brigadas del ET. Esta sección de M-SHORAD se pondría bajo TACOM¹¹ de los GT según las necesidades de la misión encomendada, para poder llevar a cabo un acompañamiento cercano e integrado. En caso de que el uso de los UAS clase I y II proliferen más de lo previsto y se convierta en un elemento extremadamente importante, sería más correcto crear una sección de M-SHORAD dentro de la Compañía de Cuartel General de los Batallones. En el caso más extremo se podría dar la misma importancia al M-SHORAD que, a la Defensa Conta Carro (DCC), creando de forma orgánica la Sección de M-SHORAD en las Compañías CG y la Compañía de M-SHORAD en los Batallones de Cuartel General de las Brigadas.

En las Brigadas pesadas, como la Brigada 'Guadarrama' XII, sería recomendable incorporar un vehículo M-SHORAD con capacidad para enfrentarse a drones clase II. Como ya se ha comentado, la elección del Pizarro M-SHORAD o del Dragón M-SHORAD dependería del criterio del Ministerio de Defensa. Los vehículos 8x8, aunque son realmente móviles en terreno complejo, no alcanzan el nivel de los medios acorazados/mecanizados, por lo que podrían llegar a ralentizar su maniobra, pero la inversión actual del presupuesto del ET favorece enormemente al VCR 8x8 Dragón y sus variantes. Una opción interesante sería portar fusiles anti-dron (como el los contemplados en el programa CONDOR) en estos vehículos, ya que disponen del espacio suficiente para ello. Esto le aportaría la capacidad de poder desplegar equipos capaces de enfrentar drones LSS con un coste de operación nulo y sin riesgo de fuego amigo. La opción de los fusiles anti-dron es especialmente recomendable si finalmente no se incorporase ningún medio de neutralización no cinético en el propio vehículo.

¹¹ *Tactical Command*, término militar que hace referencia a la situación que se da cuando a una unidad se le agrega otra a la que le puede dar cometidos o misiones. La unidad *bajo* TACOM es la que se agrega y recibe estos cometidos.



5 CONCLUSIONES

Se pueden extraer varias conclusiones de la realización de este trabajo. En primer lugar, la proliferación de los UAS es una realidad que se ha observado en múltiples conflictos, como las guerras de Nagorno-Karabaj y Siria. Por tanto, se confirma la necesidad de actualizar los medios de defensa aérea cuando se tienen en cuenta las características de los medios expuestos en este trabajo, principalmente UAS clase I y II, frente a los medios antiaéreos utilizados actualmente. Incluso si tenemos superioridad aérea en un teatro de operaciones, si no se contrarresta la acción de los UAS no se puede asegurar la superioridad aérea local. Los medios antiaéreos españoles expuestos, que son todos con los que cuenta el ET, no tienen las características necesarias para lidiar con los medios UAS clase I y II expuestos en este trabajo. La doctrina española, según los expertos consultados, también necesitaría ser actualizada consecuentemente.

En segundo lugar, una respuesta eficaz ante la amenaza UAS no puede depender solo de la compra de nuevo material. Gracias a toda la documentación de Nagorno-Karabaj se conocen casos en los que medios como el Pantsir, perfectamente capaces de combatir UAS, se vieron superados por un mal empleo. En la misma línea, las tropas armenias en repetidas ocasiones no emplearon las defensas pasivas necesarias para aumentar su supervivencia. Por lo tanto, es esencial invertir en defensas pasivas, que suelen tener un coste relativamente bajo, y adaptar la doctrina propia para mitigar el impacto de los UAS.

En tercer lugar, el desarrollo de vehículos con altas capacidades C-UAS y las capacidades, en cuanto a movilidad y protección, para acompañar a las unidades de primera línea es posible con las tecnologías actuales. Prueba de esto es el A1 Stryker M-SHORAD, que recoge conceptos de vehículos SHORAD que estaban cayendo en desuso, como el Avenger y el Ozelot, y los actualiza y complementa con nuevos sistemas para conseguir una respuesta muy eficaz contra los UAS. Las principales características diferenciadoras de este vehículo respecto a los mencionados son la incorporación de radares en el propio vehículo, sistemas electroópticos y direcciones de tiro modernos y sistemas de neutralización no cinéticos. España tiene activos los programas de armamento necesarios y posee empresas en los sectores requeridos para desarrollar un vehículo como el descrito en este trabajo.

ADENDA: Durante la realización de este trabajo Rusia comenzó la invasión de Ucrania con fecha 22 de febrero de 2022, y a día de entrega el conflicto no ha concluido. Aunque se ha dado el uso de RPAS y C-RPAS expuestos en este trabajo, no se va a incluir información ni conclusiones sobre este conflicto dada la escasa fiabilidad de la información que llega actualmente.



6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] INTA, “¿UAV, UAS, RPAS o drones?,” 2019. https://www.inta.es/INTA/es/blogs/copernicus/BlogEntry_1553849310660# (accedido Enero 08, 2022).
- [2] G. Gressel, “Military lessons from Nagorno-Karabakh: Reason for Europe to worry – European Council on Foreign Relations,” Nov. 24, 2020. <https://ecfr.eu/article/military-lessons-from-nagorno-karabakh-reason-for-europe-to-worry/> (accedido Enero 08, 2022).
- [3] P. Bergen, M. Salyk-Virk, and D. Sterman, “World of Drones: Who Has What: Countries with Armed Drones,” 2020. <https://www.newamerica.org/international-security/reports/world-drones/who-has-what-countries-with-armed-drones/> (accedido Enero 08, 2022).
- [4] J. A. Marín Delgado, “Guerra de drones en el Cáucaso Sur: lecciones aprendidas de Nagorno Karabaj,” p. 21, 2021, Accedido: Enero 08, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://dronewars.net/2020/10/14/the-use-of-drones-in-the-ongoing-nagorno-karabakh-conflict/>.
- [5] EMAD, “CONCEPTO NACIONAL C-UAS LSS,” Enero 2019. Accedido: Enero 08, 2022. [En línea]. Disponible en: https://emad.defensa.gob.es/Galerias/CCDC/files/01_CONCEPTO_NACIONAL_C-UAS_LSS_xPARA_WEBx.pdf.
- [6] T. Rogoway, “Marine Corps Eyes Deploying Small Drones At The Squad Level,” *The War Zone*, Aug. 2016. <https://www.thedrive.com/the-war-zone/4827/marine-corps-considers-deploying-small-drones-at-squad-level> (accedido Enero 08, 2022).
- [7] D. Gettinger and A. Holland Michel, “Loitering Munitions In Focus,” 2017. Accedido: Enero 08, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://dronecenter.bard.edu/files/2017/02/CSD-Loitering-Munitions.pdf>.
- [8] F. S. Tapia, “La industria turca de defensa. Activo estratégico de primer orden,” Feb. 2021. Accedido: Enero 08, 2022. [En línea]. Disponible en: http://www.ieee.es/Galerias/fichero/docs_analisis/2021/DIEEEA06_2021_FELSAN_IndustriaTur.
- [9] SOPT, “Proyecto RAPAZ y tecnologías anti-RPAS,” Dec. 2016. Accedido: Enero 08, 2022. [En línea]. Disponible en: <http://www.tecnologiaeinnovaci>.
- [10] A. Warner, “Libya’s deadly game of drones,” *Times Aerospace*, 2020.
- [11] J. A. Marín Delgado, “Drones militares Marruecos,” Dec. 2021. Accedido: Enero 08, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://global-strategy.org/marruecos-y-la-senda-de-azerbaiyan/>.
- [12] J. Carretero Moya, J. Riera Sanz, J. M. Peña Espartero, and Advanced Radar Technologies S.A., “Radares 3D para sistemas C-UAS,” *Boletín Obs. Tecnológica en Def.*, no. 65, pp. 14–19, 2020.
- [13] “Ataque con drones incendia instalaciones de petrolera saudita Aramco | El Mundo | DW | 14.09.2019,” 2019. <https://www.dw.com/es/ataque-con-drones-incendia-instalaciones-de-petrolera-saudita-aramco/a-50430799> (accedido Abril 13, 2022).
- [14] J. M. Navarro García, “El nuevo sistema antiaéreo sobre 8x8 Stryker para el U.S. Army,” *Defensa.com*, Grupo EDEFA S.A., Oct. 19, 2020.
- [15] MADOC, “OR4-123 CIMZ.” 2005.
- [16] MADOC, “OR4-122 BIMZ.” 2005.
- [17] DIRECCIÓN DE ADQUISICIONES, “INFORME JUSTIFICATIVO DE LA NECESIDAD: ‘ACUERDO MARCO REDES MIMÉTICAS MULTIESPECTRALES 2D’.” 2021. Accedido:



- Enero 08, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://contrataciondelestado.es/wps/wcm/connect/e6b9ae88-a3e0-4174-b1d1-b60720188622/DOC20210930123901INFORME+JUSTIFICATIVO.pdf?MOD=AJPERES>.
- [18] T. Kučera and B.O.I.S. – FILTRY, “Mobile Camouflage System and Combined Camouflage System for Support Vehicles.”
- [19] C. Gao, “Missiles vs. ‘Guns’: What Is the Best Way to Kill an Enemy in the Air?,” *The National Interest*, Sep. 16, 2018.
- [20] J. A. Marín Delgado, “El sistema de defensa aérea no-cinético, clave para la defensa antidrón,” Nov. 2018. Accedido: Enero 08, 2022. [En línea]. Disponible en: https://www.ieee.es/Galerias/fichero/docs_marco/2018/DIEEEM21_2018JAMADE-antidron.pdf.
- [21] MADOC, “PD3-311 Defensa Antiaérea.” 2015.
- [22] “Materiales - Ejército de tierra.” <https://ejercito.defensa.gob.es/materiales/> (accedido Abril 13, 2022).
- [23] “Guardian 30 de Escribano Mechanical & Engineering,” *Revista Ejércitos*, Marzo 17, 2021.
- [24] El Radar, “Sistema anti-drone AUDS,” Oct. 25, 2017. <https://www.elradar.es/sistema-anti-drone-auds/> (accedido Enero 08, 2022).
- [25] “Defensa prueba un sistema para capturar drones,” *El Confidencial Digital*, Abril 19, 2019.
- [26] “Indra dotará a Defensa de radares Lanza 3D tras un contrato por 120 millones,” *Diario de Sevilla*, Sep. 08, 2021.
- [27] Y. Laskin, “PANTSIR now one of Russia’s best sellers,” *European Security & Defence*, Abril 22, 2020. <https://euro-sd.com/2020/04/articles/exclusive/17029/latest-pantsir-developments/> (accedido Enero 08, 2022).
- [28] G. Sheftick, “Army rebuilding short-range air defense,” *Army News Service*, Jul. 03, 2019.
- [29] “ARMS: la solución anti-drones de Indra,” *INDRA*. <https://counteruas.indracompany.com/es> (accedido Enero 08, 2022).
- [30] “DroneSentry-X,” *DroneShield*. <https://www.droneshield.com/sentry-x> (accedido Enero 09, 2022).
- [31] N. Strout, “Drone-killing, dune buggy-mounted laser gets tested overseas,” *c4isrnet*, Marzo 15, 2021.
- [32] “Rheinmetall Air Defence presenta el Skyranger 30 CUAS mejorado,” *El Radar*, Marzo 26, 2021. <https://www.elradar.es/rheinmetall-air-defence-presenta-el-skyranger-30-cuas-mejorado/> (accedido Enero 09, 2022).
- [33] “Mavic Air 2 - Sube de nivel - DJI.” <https://www.dji.com/es/mavic-air-2> (accedido Abril 13, 2022).
- [34] “Mavic Mini - DJI.” <https://www.dji.com/es/mavic-mini> (accedido Abril 13, 2022).
- [35] “Engineering the Next.” <https://www.stm.com.tr/en/kargu-autonomous-tactical-multi-rotor-attack-uav> (accedido Abril 13, 2022).
- [36] D. Gettinger, “Loitering Munitions In Focus,” *Cent. study Drone*, 2017, [En línea]. Disponible en: <https://dronecenter.bard.edu/files/2017/02/CSD-Loitering-Munitions.pdf>.
- [37] “Loitering munitions: HAROP - Electro-Optically guided attack weapon.” <https://www.iai.co.il/p/harop> (accedido Abril 13, 2022).
- [38] “Baykar Bayraktar TB2.” https://www.militaryfactory.com/aircraft/detail.php?aircraft_id=1679 (accedido Abril 13, 2022).



- [39] W. T. Wheeler, "MQ-9 Reaper Drone: Not a Revolution in Warfare."
- [40] "MQ-9 Reaper > Air Force > Fact Sheet Display." <https://www.af.mil/About-Us/Fact-Sheets/Display/Article/104470/mq-9-reaper/> (accedido Abril 13, 2022).
- [41] B. Carrasco, "Defensa alerta de que será 'enormemente' difícil lanzar grandes programas de armamento hasta 2028," 2021. <https://www.infodefensa.com/texto-diario/mostrar/3254026/defensa-alerta-sera-enormemente-dificil-lanzar-grandes-programas-armamento-hasta-2028> (accedido Abril 13, 2022).
- [42] "Defensa prueba un sistema para capturar drones," Abril 09, 2019. <https://www.elconfidencialdigital.com/articulo/defensa/defensa-prueba-sistema-capturar-drones-amenazan-tropas-espanolas/20190408210706123970.html> (accedido Abril 13, 2022).
- [43] "programa-VCR8x8.pdf." 2021, [En línea]. Disponible en: <https://www.defensa.gob.es/Galerias/dgamdocs/programa-VCR8x8.pdf>.
- [44] "Searcher." <https://www.deagel.com/Support Aircraft/Searcher/a000384> (accedido Abril 13, 2022).
- [45] A. J. Yackley, "Ukraine army hails Turkish drones but Ankara plays down weapons sales | Financial Times," *Financial Times*, Marzo 12, 2022.
- [46] "Russia lures buyers as S-400 missile system costs less than US models." <https://www.cnbc.com/2018/11/19/russia-lures-buyers-as-s-400-missile-system-costs-less-than-us-models.html> (accedido Abril 13, 2022).
- [47] "New Saudi Missile Order Reveals The High Cost Of Asymmetric Drone War." <https://www.forbes.com/sites/davidhambling/2021/11/11/new-missile-order-reveals-true-cost-of-assymnetric-drone-war/?sh=4ff9ad4616f2> (accedido Abril 13, 2022).
- [48] "NASAMS." <https://www.deagel.com/Artillery Systems/NASAMS/a000380> (accedido Abril 13, 2022).
- [49] "Here Is What Each Of The Pentagon's Air-Launched Missiles And Bombs Actually Cost." <https://www.thedrive.com/the-war-zone/32277/here-is-what-each-of-the-pentagons-air-launched-missiles-and-bombs-actually-cost> (accedido Abril 13, 2022).
- [50] "Pantsir." <https://www.deagel.com/Artillery Systems/Pantsir/a000019> (accedido Abril 13, 2022).
- [51] "Tor-M1." <https://www.deagel.com/Artillery Systems/Tor-M1/a000375> (accedido Abril 13, 2022).
- [52] "Army Guide." <http://www.army-guide.com/eng/product1438.html> (accedido Abril 13, 2022).
- [53] "155/52 APU SBT." <https://www.deagel.com/Artillery Systems/15552 APU SBT/a000290#001> (accedido Abril 13, 2022).
- [54] "Los programas especiales de armamento registran una desviación de coste del 32." <https://www.infodefensa.com/texto-diario/mostrar/3144257/programas-especiales-armamento-registran-desviacion-coste-32> (accedido Abril 13, 2022).
- [55] "ASCOD." <https://www.deagel.com/Armored Vehicles/ASCOD/a000405> (accedido Abril 13, 2022).
- [56] "programa-PIZARRO.pdf." [En línea]. Disponible en: <https://www.defensa.gob.es/Galerias/dgamdocs/programa-PIZARRO.pdf>.
- [57] "VCR 8x8 Dragón: arranca la fabricación del nuevo vehículo blindado para el Ejército de Tierra." <https://www.20minutos.es/noticia/4925306/0/vcr-8x8-dragon-arranca-la-fabricacion-del-nuevo-vehiculo-blindado-para-el-ejercito-de-tierra/> (accedido Abril 13, 2022).



- [58] “Escribano producirá la torre de 30 mm del VCR 8x8 Dragón del Ejército de Tierra.”
<https://www.infodefensa.com/texto-diario/mostrar/3123367/escribano-producira-torre-30-mm-vcr-8x8-dragon-ejercito-tierra> (accedido Abril 13, 2022).
- [59] “Centum y Escribano trabajan en el diseño de un sistema antidrón.”
<https://www.infodefensa.com/texto-diario/mostrar/3131062/centum-escribano-trabajan-diseno-sistema-antidron> (accedido Abril 13, 2022).
- [60] “Dotar al VCR 8x8 para el Ejército de Tierra con un sistema de protección activa costaría menos de 600.000 euros por blindado-noticia defensa.com - Noticias Defensa España.”
<https://www.defensa.com/espana/dotar-vcr-8x8-para-ejercito-tierra-sistema-proteccion-activa-600> (accedido Abril 13, 2022).



7 ANEXOS

ANEXO A

Entrevista al Capitán del EA don José Alberto Marín Delgado, destinado en la patrulla Águila

1. ¿Podría indicar brevemente de donde proceden sus conocimientos sobre UAS?

He estado destinado 12 años en unidades de caza, el ala 15 en Zaragoza y el ala 46 en Gran Canaria. Soy piloto de F-18. He estado destinado en secciones de análisis de amenazas aéreas (otros cazas, UAS). De ahí surge mi interés. En el destino de profesor de la Academia General del EA me dediqué a la investigación sobre UAS. He colaborado con la revista aeronáutica del Ejército del EA y con el IEEEE (Instituto de Estudios Estratégicos).

2. ¿Qué tendencias en cuanto al uso de sistemas UAS y C-UAS se observan internacionalmente?

UAS: Los artículos apuntan al éxito de democratizar el dominio aéreo, previamente solo accesible a países muy punteros por el elevado coste que conlleva, por el coste de infraestructura y personal. Los países que no pueden permitirse una fuerza aérea pueden utilizar los drones para funciones ISTAR y actualmente de combate. Hasta hace poco EE. UU. e Israel eran principales fabricantes, limitado el mercado internacional (en el tratado MTCR, régimen de control de tecnología misiles, se incluyeron los drones). El interés de clientes y aliados de EE. UU. para adquirir drones de combate los hizo recurrir a Turquía y China (con drones chinos como el CH3, CH4) ante la reticencia de EE. UU. China y Turquía han roto el mercado proporcionando drones de combate. EE. UU. ha hecho el MTCR (Régimen de Control de Tecnología Misilística) más laxo para ocupar mayor parte del mercado. La tendencia hoy en día es de drones de clase III (+600kg), como el PREDATOR o el HERON. También proliferan los de clase I y las municiones merodeadoras como el HAROP, el HARPY o el KARGU 2.

C-UAS: La tendencia son los sistemas perturbadores, sobre todo fusiles. En Siria e Irak el DAESH ha operado drones recreativos modificados con cargas explosivas para realizar ataques. Estos ataques pusieron en evidencia la vulnerabilidad ante esta amenaza. Se produjo una proliferación de los sistemas perturbadores tipo fusil. Estos sistemas han proliferado en misiones en el exterior y en defensa en territorio nacional. Son comunes a las labores de las FAS y de los cuerpos de seguridad del estado. Están proliferando también los sistemas de defensa de instalaciones. Los nuevos avances prometedores son las armas láser de alta energía portadas en barcos, helicópteros e incluso proyectos para cazas. También hay proyectos para equipar sistemas láser sobre el Stryker americano. El láser conlleva la problemática de cómo proporcionar energía eléctrica al sistema, con lo cual cuanto mayor sea el vehículo (como un barco), más potente y letal el láser. También se están desarrollando las armas microondas, pero estas pueden causar muchos daños colaterales. Otros sistemas eficaces son los cohetes con guía láser, cañones AAA con munición específica, lanzagranadas con redes anti-dron. Según la clase de dron se necesitan sistemas muy distintos de detección y neutralización, el futuro es la



combinación de soft kill (neutralización sin destrucción) y hard kill (destrucción), cinético y no cinético, Para neutralizar todo tipo de drones.

3. ¿Cuál es el estado del C-UAS en las FAS españolas?

Nos encontramos en un estado inicial. Tenemos diversos proyectos europeos, OTAN, el proyecto CONDOR español. La problemática principal es que el desarrollo de C-UAS es mucho más caro que la amenaza y normalmente es caduco. Los nuevos sistemas deben ser escalables, porque el rápido desarrollo de los UAS los deja rápidamente obsoletos. Existe un ambiente que invita a esperar un poco más para sacar al mercado un sistema ya definitivo. Se están barajando diversas compras de fusiles y sistemas C-UAS, pero no hay un plan general a día de hoy. Se debe apostar por sistemas como el láser, como dijo el Almirante Jefe de Estado Mayor de la Armada.

4. ¿Cuáles son los sistemas UAS más preocupantes para las FAS españolas: los LSS, los drones suicidas (como el IAI Harop), los drones de peso y altitud de vuelo medios (como el Bayraktar TB2); o modelos mucho mayores (como el MQ-9 Reaper)?

El sistema más preocupante es aquel que no podemos neutralizar. La arquitectura de las FAS españolas y aliadas está optimizada para una amenaza tradicional: cazas, bombarderos, misiles, etc. Se basa en la defensa en profundidad, se detecta a larga distancia, se identifica, se elige el medio más eficiente para contrarrestarlo. El perfil de vuelo de los drones es distinto al de las aeronaves tradicionales. La capacidad de detección de nuestros sistemas se basa en la *cross section* (*cross section es la denominación inglesa de Sección Equivalente de Radar*). En general, cuanto mayor es una aeronave, más *cross section* (influyen otros factores como forma y material). Los drones tienen una *cross section* muy reducida, como los aviones furtivos. El MQ-9 Reaper es muy detectable, pero el TB2 ya presenta más problemas y el HAROP posee una sección radar inferior a 0,5 m². Un F-18 "Super Hornet" tiene aproximadamente 10 m². La detección es muy difícil, es un gran problema. También es un problema la neutralización. Israel derribó un dron recreativo de 1000 euros con un misil Patriot. No es eficiente ni sostenible. No podemos matar moscas a cañonazos. No se debe derribar un HAROP con un misil HAWK.

Además, una amenaza tripulada siempre siente el riesgo de la misión, nunca se van a lanzar de manera kamikaze contra las defensas antiaéreas, se deben conservar pilotos. Las municiones merodeadoras son kamikazaes y capaces, tienen un rango de hasta 1000km, no están sujetas a los niveles de riesgo y se pueden lanzar en grandes oleadas. Se debe buscar una respuesta eficiente, con sistemas de armas no cinéticos, para conservar los sistemas cinéticos.

5. En cuanto a la capacidad de ataque de los sistemas UAS, ¿considera que pueden convertirse en un medio dominante y transformador en el campo de batalla, o considera que los Tor y Pantsir rusos demostraron, hacia el final de la guerra de Nagorno Karabaj, que estos medios no son tan eficaces contra un enemigo que se encuentra en igualdad o superioridad de medios?



Considero que va a ser sin duda un elemento dominante y transformador del campo de batalla, pero la información de Nagorno-Karabaj y Libia se debe tomar con cuidado. La tripulación de los Pantsir empleada no estaba completamente entrenada, lo cual no quita que se trata de un sistema muy potente. Defenderse con Tor y Pantsir frente a municiones merodeadoras, TB2, y artillería es muy complicado. Va a hacer falta que las fuerzas terrestres replanteen su forma de actuar en un campo de batalla saturado en cuanto al dominio aéreo.

En Nagorno-Karabaj fue complicado el uso de manera aislada del Pantsir desde un punto de vista doctrinal. La combinación HAROP y TB-2 requiere de un despliegue mucho mayor de medios AA y de sensores. Los sensores son fundamentales, ya que nos permitan detectar desde drones clase I a clase III. Esta es la problemática, defenderse de la combinación de estos tipos de drones.

Se debe partir de un análisis de la amenaza. No es lo mismo defenderse de un dron HARPY que de un TB2, la táctica debe ser distinta. Pero sobre todo se necesitan sensores para poder detectarlos. En Nagorno-Karabaj faltaban estos sensores. Numerosas imágenes muestran ataques de TB2, con estos volando en el frente a plena luz del día sin ninguna amenaza que lo batiera.

Sobre todo, se debe cambiar a nivel doctrinal las prácticas tradicionales ante esta amenaza. Vuelan más bajo y son muy difíciles de detectar. Este tipo de amenazas van a hacer muy difícil asegurar una supremacía aérea. Se puede asegurar una supremacía aérea en altas cotas, sin poseerla en el ambiente SHORAD.

6. ¿Considera que la adquisición de un sistema como el ARMS de Indra podría solventar las necesidades de C-UAS en cuánto a detección y medios no cinéticos para las FAS españolas?

Este tipo de sistemas es muy válido para defensa de instalaciones, tienen un buen sistema de detección y de C2 para elegir la respuesta a las amenazas. En el entorno táctico se necesitan sistemas de acompañamiento cercano a la fuerza, sistemas SHORAD optimizados para este tipo de amenazas. El sistema Pantsir es un sistema muy bueno en este aspecto. Tiene una capacidad de combate muy buena y versátil, ese es el camino del SHORAD.

7. En cuanto a los medios cinéticos, ¿qué opinión le merece la implantación de vehículos mecanizados con cañones antiaéreos para suplir las necesidades SHORAD? ¿Y si se dotara estos vehículos de medios misil como MISTRAL o STINGER?

Como ya se ha comentado en otras respuestas, los medios misil y cañón son eficaces en el C-UAS. Si se consigue solucionar el problema de detectar los drones enemigos, un vehículo con este armamento podría proporcionar el SHORAD necesario. Como ya he dicho también, se beneficiaría mucho de la incorporación de medios no cinéticos.

8. ¿Qué otros aspectos considera útiles a la hora de tratar este tema?



Los radares actuales de defensa aérea, sobre todo los fijos, tienen capacidad para detectar drones hasta cierta *cross section*, siendo muy difícil que detecten los menores drones. Se necesitan sensores portátiles para detectar medios con poco RFS. Hay una necesidad de sensores tácticos. Los drones clase I necesitan unos sensores transportables y móviles para acompañar a la fuerza, como el sistema Stryker al que han incorporado laser y un radar de detección de amenazas dron, para detección a corta distancia, lo cual es necesario contra drones como el HARPY o el KARGU-2.

Se necesitan radares de acompañamiento más cercano que los RAVEN de las baterías MISTRAL.

En los últimos conflictos, un denominador común es la supremacía aérea (Iraq, Libia). Occidente siempre ha ganado la supremacía aérea. Esta supremacía aérea está en entredicho con los drones, ya que ha habido un detrimento del SHORAD en Occidente debido a esta dependencia en la supremacía aérea. Empezamos a darnos cuentas de esto cuando el ISIS aprovechó esta carencia de SHORAD al usar drones recreativos suicidas contra posiciones de la alianza. La rápida proliferación de las municiones merodeadores y clase I ha creado una necesidad imperiosa de medios SHORAD.

Los cañones antiaéreos son más eficientes que los misiles MISTRAL a la hora de derribar pequeños drones. Existe munición optimizada para batir UAS para nuestros Oerlikon. Aun así, el MISTRAL 3 está optimizado para ciertos tipos de drones. Primero necesitamos los sensores para ver la amenaza.

Tiene gran importancia la Guerra Electrónica. Los sistemas micro y mini son mucho más vulnerables a esto que los grandes drones, es muy necesario potenciar esta tecnología. Muchos drones tienen contramedidas para esto, como la navegación inercial. Aun así, el dron operaría en un modo degradado. Es importante potenciar la Guerra Electrónica.

Otra lección aprendida es que en Occidente no se promueve el uso de señuelos, pero es importante. Señuelos con firma radar infrarroja igual a la de otro vehículo, como un 8x8 Dragón. El uso de señuelos puede ser clave. También son importantes los medios pasivos como las redes multiespectrales. Para vencer esta amenaza se necesita una combinación de todos estos aspectos.



ANEXO B

Entrevista al Capitán del EA D. Santiago García Ramos, destinado en Subdirección General de Planificación, Tecnología e Innovación (SDG PLATIN) de la Dirección General de Armamento y Material (DGAM)

¿Cuál es el estado actual del C-UAS en España?

Los programas comenzaron sobre 2017-2018. Se nombra un director de RPAS y se inicia programa CONDOR al producirse un incidente DRON en la base de Besmayah en Iraq. Un informe del MOPS provoca la compra de diversos sistemas anti-drones para llevarlos a zona. El avistamiento del dron se produce en Julio de 2017 y en 2018 se instala el sistema AUDS (británico).

¿Cuál es el objetivo y desarrollo del proyecto CONDOR?

El programa CONDOR sigue centrado en los drones comerciales, que hoy en día se estima que suponen el 70% de la amenaza. El programa CONDOR se inició con el objetivo de mejorar la capacidad de la industria nacional y de I+D, con tecnología un 70% española, centrado en defensa nacional, no para zona de operaciones. Con dinero del MOPS se adquirieron una serie de sistemas anti-dron y luego se produjeron algunos de fabricación española. Dentro del programa CONDOR se prueban los anti UAS y se realizan informes de los sistemas de armas para que las empresas lo mejoren. Es un programa pequeño con un presupuesto de aproximadamente 300.000€ al año. Uno de los objetivos es conseguir torreta (emplazamiento fijo), aunque hay empresas españolas como INDRA tiene una ya (ARMS), que podrían eliminar esa necesidad. Los fusiles del programa CONDOR funcionan con detección por radiofrecuencia, no radar. El programa debería haber acabado con una adquisición centralizada de GESPRO (Gestión de Programas), pero están todavía se están estableciendo los requisitos de estado mayor (REM), por lo que todavía no hay un DDV (Documento de Viabilidad).

¿Eficacia de los programas?

Las pruebas de los sistemas en INTA son positivas. Son inhibidores de frecuencia que funcionan en un área, con un rango estimado de buen funcionamiento a 500m, a los 700 decae la efectividad, y a 2km un 30% efectividad. Dentro del programa se han probado diversos sistemas con resultados satisfactorios, entre ellos el Galileo de Wavenet, el Proteus de Engiino y el SEN02 de ASDT. Como referencia, el Proteus tiene un precio aproximado de 30.000€ y el SEN02 un precio aproximado de 18.000€. El precio es algo elevado al tratarse de sistemas experimentales. Se ha constatado también que el uso de estos sistemas no es perjudicial para la salud, al estar dentro de los deciteslas asumibles.

Otro programa español sobre RPAS es el proyecto RPAZ, que en su fase I ha conseguido incentivar la construcción de drones clase I industria española. Tenemos Tarsis, Atlantic y Fulmar. A parte, se han establecido unos REM para drones LSS de cara a una adquisición centralizada.