



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

La amenaza dron, ¿medios y organización que deberían tener las Brigadas?

Autor

CAC Javier Lacalle Córdoba

Director/es

Director académico: Dr. Juan Ramón Bolea Bolea

Director militar: Cap. Raquel Rodríguez Taisma

Centro Universitario de la Defensa-Academia General Militar

2021





Agradecimientos

En primer lugar, me gustaría agradecer a la Capitán Rodríguez Taisma el otorgarme la oportunidad de realizar las prácticas externas en su unidad, la Batería MISTRAL del GACA X. Asimismo, agradezco al Teniente Daniel Andrade Bonilla todas sus enseñanzas durante mi estancia en la unidad, no solo en el ámbito del arma de Artillería, sino también en el día a día en la unidad, donde me he servido de él como mentor para adquirir conocimientos que, sin duda, me serán de utilidad en mi futuro.

También me gustaría agradecer al Dr. Juan Ramón Bolea Bolea su seguimiento e interés en mi Trabajo Final de Grado. Especialmente quiero resaltar su proactividad para llevar el avance del proyecto de forma coordinada y así poder desarrollar este de la forma más eficiente posible, incluso con las limitaciones que suponían el estar en diferentes ciudades por motivos de trabajo.

También me gustaría agradecer a mi familia; mis padres, mi abuela y mis hermanas, mis amigos y mis compañeros de armas su continuo apoyo en cada una de las etapas de mi carrera académica.

Por último, quiero agradecer a mi abuelo la enseñanza en los valores que me inculcó desde que nací, y como me han servido como guía en mi vida antes y después de entrar en la Academia General Militar. Espero hacerle sentir orgulloso de mí desde el cielo.





RESUMEN

La memoria que a continuación se desarrolla se enfoca en tres objetivos principalmente: demostrar que los medios españoles *C-UAS* (*Counter-Unmanned Aerial System*) no están capacitados para combatir a los *drones* más empleados en la actualidad, proponer una adquisición de medios de otros países más maduros, desarrollados y que han superado pruebas de capacidad *C-UAS*, siendo su efectividad probada y demostrada, y por último, proponer la creación de una unidad específica *C-UAS*, llamada "células *C-UAS*" con medios propios que se encuadre dentro del Batallón del Cuartel General de la Brigada y que sirva como unidad de apoyo al resto de unidades de la Brigada.

El motivo por el que se desarrolla este trabajo surge del aumento del empleo de los medios *UAS* en conflictos recientes como el de Nagorno-Karabaj (conflicto bélico entre Armenia y Azerbaiyán en el pasado 2020) en el cual se pudo comprobar la efectividad y eficiencia de los *drones* que, con una reducida carga logística y sin comprometer la vida de las tropas propias, tienen capacidad para causar un gran efecto en las fuerzas enemigas. Este nuevo rol de los medios *UAS* tiene una tendencia creciente y están alcanzando un mayor protagonismo ya no solo en el ámbito militar, sino también en el ámbito civil. Además, las tecnologías que a corto plazo se implementarán en los *drones*, van a suponer un verdadero reto para sus antagonistas, los medios *C-UAS*, ya que pretenden evitar ser detectados e identificados a través de técnicas innovadoras.

Partiendo de los puntos anteriormente mencionados, mediante herramientas tales como tablas comparativas, matriz de riesgos, análisis DAFO o entrevista libre con personal experto en Defensa Aérea, se pretende concienciar a la autoridad competente de la incapacidad de los medios actualmente en dotación en nuestro Ejército de Tierra, para poder llevar a cabo una actualización de nuestros medios con la finalidad poder realizar de manera efectiva la lucha *C-UAS*.

Como resultado del desarrollo del trabajo, una vez analizadas las características técnicas de nuestros medios *C-UAS* y habiendo sido comparadas con las especificaciones técnicas y las capacidades de los *drones*, se confirman las carencias de nuestros sistemas en dotación y como, en un hipotético escenario de confrontación, los medios *C-UAS* españoles se verían superados por las tecnologías de los *UAS* potencialmente empleables contra nuestro país.

PALABRAS CLAVE

Drone, UAS, C-UAS, tecnología, carencias, desarrollo.



ABSTRACT

The following report focuses on three main objectives: to demonstrate that Spanish C-UAS (*Counter-Unmanned Aerial System*) means are not capable of combating the drones most commonly used today, to propose the acquisition of means from other more mature, developed countries that have passed C-UAS capability tests, having been their effectiveness tested and demonstrated, and finally, to propose the creation of a specific C-UAS unit, called "C-UAS cells" with its own means, which would be part of the Brigade Headquarters Battalion and would serve as a support unit for the rest of the Brigade's units.

The reason for this work to be made arise from the increase in the use of UAS means in recent conflicts such as Nagorno-Karabakh (conflict between Armenia and Azerbaijan in 2020), in which the effectiveness and efficiency of *drones* was proven, which, with a reduced logistical load and without compromising the lives of their own troops, have the capacity to have a great effect on enemy forces. This new role of UAS means is on the rise and they are becoming increasingly important not only in the military but also in the civilian sphere. Moreover, the technologies that will be implemented in drones in the short term will suppose a real challenge to their antagonists, the C-UAS means, as they seek to avoid being detected and identified because of innovative techniques.

Based on the aforementioned points, using tools such as comparative tables, risk matrix, SWOT analysis or free interviews with Air Defence experts, the aim is to raise awareness among the competent authority of the incapacity of the means currently in use in our Army, in order to be able to carry out an update of our means with the aim of being able to effectively carry out the *C-UAS* fight.

As a result of the work carried out, once the technical characteristics of our C-UAS means have been analysed and compared with the technical specifications and capabilities of the *drones*, the shortcomings of our current systems are confirmed and, in a hypothetical confrontation scenario, the Spanish *C-UAS* means would be surpassed by the *UAS* technologies that could potentially be used against our country.

KEYWORDS

Drone, UAS, C-UAS, technology, shortcomings, development.







INDICE DE CONTENIDO

Contenido

1. INTRODUCCIÓN	- 1 -
1.1. ÁMBITO DE APLICACIÓN	- 1 -
1.2. ANTECEDENTES	- 2 -
1.3. CONTEXTO INTERNACIONAL Y CONFLICTOS RECIENTES.....	- 3 -
1.4. ESTRUCTURA DE LA MEMORIA.....	- 4 -
2. OBJETIVO Y METODOLOGÍA	- 5 -
2.1. OBJETIVO Y ALCANCE.....	- 5 -
2.2. METODOLOGÍA.....	- 5 -
2.3. REQUISITOS EXCLUIDOS E HIPÓTESIS DE PARTIDA	- 6 -
3. ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO (ESTADO DEL ARTE)- 8	-
3.1. DEFINICIÓN DE UAS Y CLASIFICACIÓN.....	- 8 -
3.2. CONCEPTO C-UAS Y SUS FASES.....	- 9 -
3.3. ESTADO DEL ARTE.....	- 11 -
4. DESARROLLO Y RESULTADOS.....	- 14 -
4.1. MEDIOS DEL ET Y UAS USADOS RECIENTEMENTE.....	- 14 -
4.1.1. MEDIOS C-UAS DEL EJÉRCITO DE TIERRA	- 14 -
4.1.2. UAS MÁS EMPLEADOS EN LA ACTUALIDAD	- 17 -
4.2. EVOLUCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS UAS Y TENDENCIAS	- 23 -
4.3. EVOLUCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS C-UAS Y TENDENCIAS	- 26 -
4.4. MEDIOS C-UAS DE OTROS PAÍSES	- 29 -
4.5. ORGANIZACIÓN DE LAS CÉLULAS C-UAS.....	- 33 -
5. CONCLUSIONES Y PROPUESTAS DE MEJORA	- 36 -
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	- 38 -
ANEXOS	- 42 -



Javier Lacalle Córdoba

ANEXO I: ENTREVISTA LIBRE A PERSONAL EXPERTO EN DEFENSA AÉREA.....	- 42 -
ANEXO II: MATRIZ DE RIESGOS	- 44 -
ANEXO III: MÚLTIPLES CONFIGURACIONES DEL SISTEMA AUDS BLIGHTER....	- 45 -
ANEXO IV: PANTSIR RUSO	- 47 -
ANEXO V: IM SHORAD ESTADOUNIDENSE	- 48 -
ANEXO VI: KRASUJA 4 RUSO	- 49 -
ANEXO VII: MÚLTIPLES CONFIGURACIONES DE LA EMPRESA MOOG	- 50 -
ANEXO VIII: R 330 HZ RUSO	- 51 -
ANEXO IX: SIMBOLOGÍA MILITAR	- 53 -



INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Áreas de capacidad afectadas por la defensa C-UAS [1].....	- 9 -
Figura 2. Ciclo de los sistemas C-UAS [1].....	- 10 -
Figura 3. Matriz de riegos (1)	- 11 -
Figura 4. Matriz de Riesgos (2)	- 11 -
Figura 5. Propuesta de Escribano en LIMEX 2020 sobre URO VAMTAC [12].	- 12 -
Figura 6. Propuesta de Escribano con Dillon Aero M134 y Guardian 2.0. [13].	- 13 -
Figura 7. Torre Guardian 2.0. [14].....	- 13 -
Figura 8. DJI Aeroscope [2].....	- 15 -
Figura 9. Sistema ASDT Sendes [16].....	- 15 -
Figura 10. Ciclo AUDES [17].	- 16 -
Figura 11. AUDES y sus partes [17].....	- 17 -
Figura 12. UAS SKYSTRIKER [18].....	- 18 -
Figura 13. Skywalker X8 [2].	- 19 -
Figura 14. DJI Mavic Pro 2 [2].....	- 19 -
Figura 15. DJI Phantom Pro 4 [2].....	- 20 -
Figura 16. PD-100 Black Hornet [2].	- 21 -
Figura 17. PHASER de Raytheon [33].....	- 31 -
Figura 18. Efecto HPEMcounterUAS [34].....	- 32 -
Figura 19. Arma láser MEHEL 2.0. [36].	- 33 -
Figura 20. Propuesta de Célula C-UAS.....	- 35 -
Figura 21. Anexo II. Matriz de Riesgos I.	- 44 -
Figura 22. Anexo II. Matriz de Riesgos II.	- 44 -
Figura 23. Anexo III. AUDES en contenedor [37].	- 45 -
Figura 24. Anexo III. AUDES remolcable [38].....	- 46 -
Figura 25. Anexo III. AUDES sobre vehículo [37].....	- 46 -
Figura 26. Anexo IV. Pantsir ruso [27].	- 47 -
Figura 27. Anexo V. IM SHORAD [28].....	- 48 -
Figura 28. Anexo VI. Krasuja 4 ruso [39].	- 49 -
Figura 29. Anexo VII. Múltiples configuraciones plataforma MOOG [30].	- 50 -
Figura 30. Anexo VIII. R 330 HZ ruso siendo estacionado [31].	- 51 -
Figura 31. Anexo VIII. R 330 HZ ruso en posición de alerta [31].....	- 51 -
Figura 32. Anexo VIII. Mando para el control remoto del R 330 HZ ruso [31].	- 52 -



INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación de UAS según el Departamento de Defensa de EEUU [10]. ...	- 8 -
Tabla 2: Clasificación de UAS LSS según el NIAG [10].	- 8 -
Tabla 3. Capacidades de los sistemas C-UAS estudiados	- 17 -
Tabla 4. Características principales de los drones estudiados.	- 21 -
Tabla 5. Carencias y soluciones operativas propuestas.	- 22 -
Tabla 6. Análisis DAFO	- 23 -
Tabla 7. Medios C-UAS estudiados	- 29 -



ABREVIATURAS, SIGLAS Y ACRÓNIMOS

AUDS: *Anti UAV Defense System* (Sistema de Defensa Anti UAV).

CENCIED: Célula Nacional Contra IED.

COAAAS: Centro de Operaciones de Artillería Antiaérea Semiautomático.

COINCIDENTE: Cooperación en Investigación Científica y Desarrollo de Tecnologías Estratégicas.

C-UAS: *Counter Unmanned Aerial System*. (Contra Sistemas Aéreos no Tripulados).

DA: Defensa Aérea.

DDC: Doctrina de Desarrollo Conceptual.

DGAM: Dirección General de Armamento y Material.

DJI: *Dà Jiang Innovations*.

EA: Ejército del Aire.

EEUU: Estados Unidos.

EO: Electro-óptico.

ET: Ejército de Tierra.

FUTER: Fuerza Terrestre.

GCS: *Ground Control System* (Sistema de Control Terrestre).

GNSS: *Global Navigation Satellite System* (Sistema Global de Navegación por Satélite).

HD: *High Definition* (Alta Definición).

HPM: *High Power Microwave* (Microondas de Alta Potencia).

I+D+i: Investigación, Desarrollo e Innovación.

ICC-N: *Integrated Command and Control- National* (Mando y Control Integrado-Nacional).

IED: *Improvised Explosive Device* (Artefacto Explosivo Improvisado).

IEEE: Instituto Español de Estudios Estratégicos.

ISR: *Intelligence, Surveillance and Reconnaissance* (Inteligencia, Vigilancia y Reconocimiento).

JEMAD: Jefe del Estado Mayor de la Defensa.

LSS: *Low, Slow, Small*.

MINISDEF: Ministerio de Defensa.

NBQR: Nuclear Biológico Químico Radiactivo.

NIAG: *NATO Industrial Advisory Group* (Grupo de Asesoramiento Industrial de la OTAN).

OTAN: Organización para el Tratado del Atlántico Norte.

PECAL: Publicación Española de Calidad.



Javier Lacalle Córdoba

PF: Protección de la Fuerza.

RAAA: Regimiento de Artillería Antiaérea.

ROE: *Rules Of Engadgement* (Reglas de Enfrentamiento).

RPAS: *Remote Piloted Aircraft System*. (Sistema de Pilotado Remoto de Aeronaves).

SC2N-EA: *System of Command and Control National*- Ejército del Aire (Sistema de Mando y Control Nacional- Ejército del Aire).

SHORAD: *Short Range Air Defense* (Defensa Aérea de Baja Cota).

UAS: *Unmanned Aerial System* (Sistema Aéreo no Tripulado).

UAV: *Unmanned Aerial Vehicle* (Vehículo Aéreo no Tripulado).

VSHORAD: *Very Short Range Air Defense* (Defensa Aérea de Muy Baja Cota).







1. INTRODUCCIÓN

La memoria que a continuación se expone es el resultado de la realización del Trabajo Final de Grado del Grado de Ingeniería de Organización Industrial cursado e impartido en el Centro Universitario de la Defensa, centro adscrito a la Universidad de Zaragoza.

En este documento se plantea el interrogante de qué medios y qué organización deberían tener dichos medios dentro de una Brigada, siguiendo la estructura de las Brigadas Orgánicas Polivalentes, para combatir las amenazas de tipo *drone* o *UAS (Unmanned Aerial System)*, una amenaza emergente y proliferada en los entornos operativos de nuestros días.

1.1. ÁMBITO DE APLICACIÓN

El escenario de la batalla ha cambiado. Con el tiempo es más inusual ver a los clásicos guerrilleros portando su casco, chaleco y fusil y la guerra de trincheras. Y el nuevo escenario plantea nuevos actores. En estos últimos años el protagonismo ha recaído sobre los *drones* y otros tipos de sistemas aéreos no tripulados.

El Reglamento de la Circulación Operativa (RCAO) define que “a efectos de RCAO, se considera que son sinónimos de *UAV*, las palabras “*drone*” y “*vehículo aéreo tripulado remotamente (RPA)*” [1]. A su vez, el término *UAS*, engloba tanto al *UAV (Unmanned Aerial Vehicle)*, como al *GCS (Ground Control System)*, es decir, este término incluye tanto al vehículo aéreo no tripulado como al sistema que usa el operador terrestre para manejarlo, es por ello por lo que de ahora en adelante durante esta memoria se usarán indistintamente los términos *UAS, drone o RPAS (Remote Piloted Aerial System)* para hacer referencia a dicho conjunto de sistemas.

Paralelamente, surge el término *C-UAS LSS (Counter-Unmanned Aerial System Low Small Slow)* definido como medios “contra sistemas aéreos no tripulados de pequeño tamaño, que operan a baja altura y velocidad” [1]. Estos medios están en el foco de los numerosos estudios que se han realizado en los últimos años por los diversos departamentos del Ministerio de Defensa. Los *UAS LSS* son los sistemas más difíciles de detectar y, consecuentemente, de combatir para nuestras unidades encargadas de la Protección de la Fuerza (PF) y la Defensa Aérea (DA), ya que la defensa contra los *drones* de clase III en adelante recae sobre los sistemas *Hawk, Patriot, Nassams y Mistral*. Por ello, este proyecto se enfoca en la defensa *SHORAD (Short Range Air Defense)* y en la defensa *VSHORAD (Very Short Range Air Defense)*.

Otro aspecto a tener en cuenta es el marco de actuación del empleo y fuerza en Zona de Operaciones, conocidas como *ROE,s (Rules of Engagement)*¹. En el caso de detectar una incursión en el espacio aéreo por parte de un *UAS* enviado desde otro Estado, el modo a proceder es neutralizarlo usando la técnica *soft kill*², mediante acciones que no impliquen el uso de la fuerza. Por el contrario, si no se puede determinar con la suficiente antelación si el *UAS* tiene intención de llevar a cabo un ataque, de causar daño a gran escala o si son susceptibles de ocasionar daño, aunque sea “indirectamente”, a las personas o los bienes, se autorizaría el uso de la respuesta *hard kill*³.

¹ Reglas de Enfrentamiento: Reglas que indican en qué caso se puede aplicar la fuerza y en cuál no y de qué manera se puede hacer.

² Contramedida electrónica no destructiva.

³ Contramedida física destructiva con empleo de munición.



Javier Lacalle Córdoba

Como síntesis del aspecto legal, sería conveniente consensuar unas ROE,s claras al respecto para determinar cuándo es legítimo el uso de la fuerza teniendo una especial consideración a los daños colaterales que involucren a personas, ya sean civiles o militares.

En esta memoria se plantea el interrogante de qué medios y qué organización deberían tener dichos medios dentro de una Brigada, siguiendo la estructura de las Brigadas Orgánicas Polivalentes, para combatir las amenazas *UAS*, una amenaza emergente y cada vez más común en el entorno operativo de nuestros días.

Para definir su encuadramiento dentro de la estructura orgánica de las Brigadas, surge la disyuntiva de si se debe catalogar a estos sistemas como Protección a la Fuerza (PF) o como Defensa Aérea (DA), debido a los diferentes cometidos que pueden ser asignados a los medios *C-UAS LSS (Low-Small-Slow)* y dependiendo del entorno, el escenario y la situación. Para dar respuesta a este interrogante, se llevó a cabo un informe de experimentación [2] por el cual los expertos consultados, procedentes de los tres ejércitos; Ejército de Tierra, Ejército del Aire y Armada, concluyeron que se debe dar un enfoque mixto y complementario, y que dada la situación en que prime la PT, se apoye en los medios de DA para ser complementado y reforzado.

Cabe destacar que la unidad elegida como Unidad de Referencia por el Ministerio de Defensa para experimentar con estos medios e impartir cursos de formación e instrucción para el personal que despliega en Zona de Operaciones es el RAAA71 (Regimiento de Artillería Antiaérea 71) de Fuencarral, Madrid, como es el caso de las jornadas del 9 al 13 de Septiembre de 2019 cuando personal de unidades del Ejército de Tierra (ET) y de la Armada se instruyeron en el uso del sistema fijo *AUDS* y de los sistemas portátiles *AEROSCOPE* y *Drone Defender* [3].

1.2. ANTECEDENTES

Como exponente del programa COINCIDENTE (“Cooperación en Investigación Científica y Desarrollo en Tecnologías Estratégicas”), que, según la asignatura Gestión de la Innovación y Política Tecnológica del Centro Universitario de la Defensa, Universidad de Zaragoza (2019-2020, p.246):

“tiene como objetivo aprovechar las tecnologías de carácter civil desarrolladas en el ámbito de los Planes Nacionales de I+D+i para incorporar soluciones estratégicas innovadoras de interés para el MINISDEF, fomentando así el tejido industrial, científico y tecnológico dedicado a la defensa” [4].

, cuyo inicio se remonta a 1985, nace en 2015 el proyecto RAPAZ, a petición de la DGAM (Dirección General de Armamento y Material) cuyos principales objetivos son impulsar la dualidad civil-militar de la industria española y conseguir desarrollos en los sistemas *RPAS*, especialmente en los de clase I. Dos de los requisitos más notables que planteó la DGAM para este proyecto fueron que al menos el 70% del diseño, producción y fabricación de los sistemas procedentes de este proyecto tuvieran su origen en la red industrial española. Asimismo, estos sistemas deberían gozar de cierta madurez, es decir, deberían estar preparados para comenzar su funcionamiento sin necesidades sobrevenidas de otros desarrollos.

Como continuación al programa COINCIDENTE, sale a la luz el programa CONDOR, concretamente en febrero de 2018, cuyo principal enfoque es el de obtener sistemas *C-UAS* tanto fijos como portátiles/móviles. Entre otros requisitos y en consonancia con el proyecto RAPAZ, al menos el 70% de los materiales deberían ser de fabricación y producción española.

El proyecto CONDOR nace a raíz de la enunciación de un PMO (*Problema Militar*



Javier Lacalle Córdoba

Operativo), publicado en diciembre de 2017 por la CENCIED: “*Las Fuerzas Armadas no cuentan con un conjunto de capacidades, ni procedimientos estandarizados que permitan a sus unidades e instalaciones detectar, identificar y derrotar la amenaza que supone el empleo de UAS (Unmanned Aerial System) LSS (Low, Slow, Small) como IWD (“Improvised Weapon Devices)”*” [1]. La Directiva de Desarrollo Conceptual 01/2018 la califica como urgente y la remite al JEMAD para su aprobación en Enero de 2019.

Al margen de los citados proyectos y debido al extraordinario desarrollo de las tecnologías *UAS*, en las últimas convocatorias del programa COINCIDENTE se adquiere una nueva dimensión en las necesidades que se plantean, véase la del año 2020 [5], en la cual se buscan tecnologías de detección para sistemas de protección activa y reducción de firma, o la del año 2018 en la que se demanda a la industria nacional propuestas y proyectos de armas de energía láser, que es una de las técnicas más innovadoras para combatir *drones* [5].

Una vez nombrados estos proyectos, programas y convocatorias, cabe reconocer que España, y más en concreto el Ministerio de Defensa, no ha sido ajeno a la evolución de los *UAS* y de su rol en el entorno operativo. No obstante, a lo largo de esta memoria se demostrará que estas iniciativas no han sido suficientes y que el ritmo al que avanzan estos proyectos es menor al del desarrollo de las tecnologías *UAS*, con el riesgo de quedar obsoletos estos sistemas poco tiempo después de incorporarse a nuestra dotación, o incluso antes.

1.3. CONTEXTO INTERNACIONAL Y CONFLICTOS RECIENTES

Como cualquier situación de especial relevancia en el entorno operativo, esta amenaza ha involucrado a los países más poderosos tecnológica y militarmente, como Estados Unidos o Rusia, y se ha convertido en una situación de interés internacional. Un reflejo de este nuevo escenario bélico ha sido el reciente conflicto de Nagorno-Karabaj que se ha desarrollado entre los meses de septiembre y noviembre del año 2020, conflicto que ha sido protagonizado por Armenia y Azerbaiyán.

Para poner en contexto la capacidad destructiva de los *UAS*, basta con analizar los datos aportados por el propio Ministerio de Defensa de Azerbaiyán, que afirma que sus *UAS* habían destruido más de 200 carros de combate, 228 piezas de artillería, 30 medios de Defensa Aérea y 110 vehículos, entre otros medios de Armenia [6], todo ello con un reducido gasto logístico y sin significar bajas en el ejército azerí.

Otras acciones *UAS* de las que extraer lecciones aprendidas son:

- La guerra civil de Libia, acontecida entre los años 2014 y 2020, donde los *UAS* turcos *TB2* han supuesto un reto para los sistemas *Pantsir* rusos, haciendo latente la paridad de los medios *C-UAS* más desarrollados con sus antagonistas, los *drones*.
- El ataque a drones fronterizos de Estados Unidos en diciembre de 2015, cuando sufrieron acciones de *spoofing*⁵ y hackeo de sus sistemas a manos de cárteles de la droga.
- El ataque con drones sobre bases aéreas rusas en 2018 en Siria, realizados por al menos 13 *drones* de realización artesanal, neutralizados por los

⁴ Centro Conjunto de Desarrollo de Conceptos (CCDC), Ministerio de Defensa, “Concepto Nacional *C-UAS LSS*”

⁵ “Técnica de interferencia en la que un dispositivo emite una señal análoga a la del satélite, pero de mayor potencia, de tal manera que el receptor GNSS pasa a sintonizar la señal falsa en lugar de la real y, con ella, calcula una posición en la que realmente no se encuentra o una variable temporal errónea” [8]



Javier Lacalle Córdoba

medios *C-UAS Pantsir-S* y medios no cinéticos.

- El robo de un *dron RQ-170* americano a manos del ejército iraní en 2011 mediante técnicas de *jamming*⁶ y *spoofing* [7].

Como se puede ver con los ejemplos anteriores, los medios *UAS* son versátiles, peligrosos y de fácil acceso para insurgentes o incluso narcotraficantes. Es por ello que la tecnología *C-UAS* para hacerle frente ha avanzado notoriamente en los últimos años, siendo incluidos en el presupuesto de I+D+i de países occidentales. A la cabeza de este mercado se encuentran Estados Unidos, Turquía, Rusia e Israel, que son los principales países exportadores tanto de sistemas *UAS* como de medios *C-UAS*, como se puede ver en los conflictos de Libia o Nagorno-Karabaj.

1.4. ESTRUCTURA DE LA MEMORIA

Esta memoria de Trabajo de Fin de Grado se estructura en cinco partes.

En la primera parte se realiza una introducción de todo lo que concierne a los *UAS*, de los antecedentes, trabajo previo y proyectos de nuestro Ministerio de Defensa y por extensión de los militares de nuestras Fuerzas Armadas. Adicionalmente, se establece un contexto internacional, nombrando algunos conflictos recientes, para comprender la situación actual internacional. Finalmente se detalla la estructura utilizada para realizar esta memoria.

En un segundo apartado se menciona la finalidad y el objetivo de este trabajo, así como la metodología y herramientas empleadas para llevarlo a cabo. Para acabar este apartado, se enumeran una serie de hipótesis de partida y requisitos excluidos de este proyecto.

En el tercer apartado se procede a explicar la clasificación de los sistemas *UAS*, tanto la obsoleta como la más reciente y paralelamente se definen y clasifican las tecnologías *C-UAS*, tanto las nacionales como las de diversos países, ya sean aliados de la OTAN o no.

Seguidamente, en el cuarto apartado se analizan los medios *C-UAS* que posee España y se compara con algunos de los drones más usados. Con el objetivo de hacer énfasis en la ineficacia de nuestros medios, se desarrollan las tecnologías tanto *UAS* como *C-UAS* más recientes y se enumeran los medios *C-UAS* de los que disponen otros países clasificados según su tecnología. Por último, se hace una propuesta de organización de las células *C-UAS* dentro del ET, respetando su doble funcionalidad con el Ejército del Aire.

En el último apartado se extraen una serie de conclusiones obtenidas a raíz del estudio del problema y se desarrollan propuestas de mejora y posibles líneas futuras de trabajo en materia de lucha contra *drones*.

⁶ "Técnica de interferencia que consiste en la emisión de señales de radiofrecuencia con unas características concretas y potencia mayor que las propias del GNSS con el fin de bloquear la recepción de éstas." [8]



2. OBJETIVO Y METODOLOGÍA

2.1. OBJETIVO Y ALCANCE

El objetivo general de este trabajo consiste en demostrar que los medios con los que cuenta el Ejército de Tierra son insuficientes e ineficaces y no están preparados para hacer frente a la amenaza *drone*. Implícitamente, parte de este objetivo es proponer, tras un estudio de los medios y varias demostraciones, la adquisición de medios de otros países para cumplir con las capacidades operativas que se requieren en la lucha contra los *UAS*.

Otro de los objetivos implícitos dentro del objetivo general es analizar las características de dichos medios y compararlos con los *drones* más usados en la actualidad en el entorno operativo.

El alcance del producto es un sistema de armas con capacidad para detectar, identificar y neutralizar tanto amenazas convencionales como *UAS*, especialmente de tipo I y tipo II según la clasificación del *N/AG* (véase tabla 2). En el caso de los medios que sean móviles, deben tener la capacidad de movilidad similar a la unidad que apoyan, además de tener la madurez necesaria para su puesta en funcionamiento a la mayor brevedad sin necesidad de desarrollos complementarios.

El alcance del proyecto tiene dos posibles vías. La primera consiste en el estudio, desarrollo y producción, a ser posible por una empresa española en consonancia con el programa *COINCIDENTE*, de un sistema de armas que cumpla con los requisitos mencionados en el párrafo anterior, para llevar a cabo posteriormente el proceso de adquisición por parte del ET.

La segunda vía posible es el proceso de adquisición de medios producidos por empresas externas al territorio nacional, ya sean aliados de la OTAN o no, debido a la urgencia que supone para nuestro ET dotarse de medios para combatir los *UAS*. En ese caso, la DGAM debería llevar a cabo el proceso de adquisición y transporte a la mayor brevedad posible.

2.2. METODOLOGÍA

Para hacer cumplir el objetivo general mencionado anteriormente, se realizan en este trabajo estudios y análisis de documentación relativa a este tema.

En primer lugar, se procede a una recopilación, estudio y selección de documentación de uso oficial, ya sea publicado por el Ministerio de Defensa o algunos de sus departamentos, o bien otros organismos de interés como es el IEEE. También se incluyen en estas fuentes publicaciones de revistas en materia de Defensa que se publican periódicamente y que tratan de temas de actualidad, entre los cuales se incluyen numerosas menciones y referencias en lo que concierne a los *UAS* y a la lucha contra la amenaza que suponen y experiencias de usuarios que han puesto en práctica ejercicios de instrucción y adiestramiento donde se simula este escenario usando los medios en dotación del ET. De especial relevancia son las jornadas *C-UAS* de FUTER celebradas entre el 4 y el 5 de noviembre de 2020 en Madrid.

Posteriormente y, de nuevo mediante la revisión documental, se describen los *UAS* y las clases en las que están clasificados. Se estudiarán la clasificación antigua (véase tabla 1) y la más actualizada (véase tabla 2).

Seguidamente, y basadas en fuentes de carácter oficial, se estudian las características de los *drones* que han tenido mayor protagonismo en los conflictos de los últimos años. Paralelamente se realiza el mismo procedimiento con los medios *C-UAS*



Javier Lacalle Córdoba

del ET y se comparan algunas de las características vitales para la batalla, como son el alcance, techo de vuelo o distancia de detección y uso. Para hacer más visible esta síntesis de información, se usarán tablas de elaboración propia.

Con el objetivo de dar solidez al argumento de la no capacidad de los sistemas actuales en dotación para combatir la amenaza, se realizará una entrevista libre a personal experto en Defensa Aérea y con presencia en las jornadas *C-UAS* de FUTER (véase anexo I). Mediante esta entrevista se podrán extraer conclusiones acerca del pensamiento del personal de las Fuerzas Armadas. En este caso se realizará a una oficial, jefe de una Batería Mistral, como representante de todo el personal de la Batería.

Tras este estudio y comparación, se recurrirá de nuevo a publicaciones oficiales recientes para explicar el desarrollo tanto de la tecnología *UAS*, como de la tecnología *C-UAS* para conocer el estado del arte de estos sistemas y las tendencias futuras. Para valorar la posibilidad de adquirir medios que usen estas tecnologías, se desarrolla un análisis DAFO y también se presentará una matriz de riesgos para ver la viabilidad de esta propuesta y si los riesgos que pudieran surgir son solucionables por parte de nuestro ET.

2.3. REQUISITOS EXCLUIDOS E HIPÓTESIS DE PARTIDA

En consonancia con el alcance de la memoria del trabajo, se enumeran a continuación una serie de requisitos excluidos e hipótesis de partida que se consideran

Como requisitos excluidos se enumeran los siguientes:

- Establecer planes de Instrucción y Adiestramiento (I+A).
- Proceso de adquisición, ya que es competencia de la DGAM⁷ [9].
- Información acerca del presupuesto de Defensa.
- Explicación de la cadena logística del ET, ya que no es el objetivo del trabajo.
- No se crea una unidad de servicios dentro de la célula *C-UAS* ya que, al estar en el Batallón del Cuartel General, es competencia del Grupo Logístico.
- Inclusión de requisitos de infraestructuras.
- No se especifica las mallas o redes de comunicaciones que usará cada unidad.

Las hipótesis de partida que se contemplan son las siguientes:

- El personal competente dentro del ET considera esta situación como un problema.
- El ET tiene capacidad económica y logística para adquirir estos medios.
- Los hipotéticos usuarios de estos sistemas tendrán acceso a cursos de

⁷ Calidad, Centro Universitario de la Defensa, Universidad de Zaragoza. Tema 8 “Sistemas de Gestión de Calidad”, 8.2.2. “Gestión de la Calidad de las Fuerzas Armadas (PECAL 2000)”.



Javier Lacalle Córdoba

formación y manuales para aprender a usarlos.

- La célula *C-UAS* se puede integrar dentro de la orgánica del Batallón del Cuartel General de la Brigada.



3. ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO (ESTADO DEL ARTE)

3.1. DEFINICIÓN DE UAS Y CLASIFICACIÓN

Al ser una tecnología en constante desarrollo y actualización, los *UAS* han evolucionado para ganarle la partida a sus antagonistas, los medios *C-UAS*. También ha cambiado la forma en la que son empleados, es por ello por lo que incluso ha cambiado su clasificación.

En la siguiente tabla, la tabla 1, podemos ver la clasificación *UAS* del manual ATP 3-01.81 [22] que atiende principalmente al peso máximo para el despegue, el techo de vuelo y la velocidad:

Tabla 1: Clasificación de *UAS* según el Departamento de Defensa de EEUU [10].

GRUPO	TECHO DE VUELO (PIES/ metros)	VELOCIDAD (NUDOS/ Km/h)	PESO MÁXIMO PARA DESPEGAR (LIBRAS/Kg)
CLASE I	<1200/ <365,76	100/185,2	0-20/ 0-9,078
CLASE II	<3500/ <1066,8	<250/<463	21-55/ 9,53-24,97
CLASE III	<18000/ <5486,4	Cualquiera	<1320/ <599,17
CLASE IV		Cualquiera	>1320/ >599,17
CLASE V	>18000/ >5486,4	Cualquiera	

Los *drones* contenidos en las clases I, II y III son los conocidos como *UAS LSS* por su complejidad para ser detectados, identificados y neutralizados por los medios clásicos de Defensa Aérea. En cuanto a los *drones* de las clases IV y V, son similares a las aeronaves tripuladas en lo referente al techo de vuelo o la detectabilidad, por ello no se analizarán detalladamente al no ser la amenaza que se trata en este trabajo.

Esta clasificación ha quedado obsoleta y anticuada, ya que hay *UAS* de la clase I que pueden tener techos de vuelo similares a los de clase IV y no contempla especificaciones vitales para la Defensa Aérea como puede ser el radio de acción, es decir el alcance máximo desde del cual el operador terrestre puede manejar el *UAS*.

Motivado por esta carencia, el *NATO Industrial Advisory Group (NIAG)* elaboró una nueva clasificación más actualizada, en la cual se divide la clase I en tres subclases y se incluye el radio de acción de los *drones*. Es una clasificación flexible, ya que gran parte de los *drones* usados en la actualidad son de fabricación casera y no cumplen con los umbrales de los *drones* comerciales.

En la tabla 2, se expone esta nueva clasificación desarrollada por el *NIAG*:

Tabla 2: Clasificación de *UAS LSS* según el *NIAG* [10].

CLASE	CATEGORÍA	ALCANCE DE OPERACIÓN	TECHO DE VUELO (PIES/ metros)	CARGA (KG)
CLASE I (<150KG)	Micro (<2kg)	5km	300/ 91,44	0,2-0-5
	Mini (2-20kg)	25km	3000/ 914,4	0,5-10
	Pequeño (<150kg)	50-100km	5000/ 1524	5-50
CLASE II (150-600KG)	Táctica	200km	10000/ 3048	25-200



Las ventajas principales de los *drones* de la clase II e inferior son su accesibilidad, ya que es fácil adquirirlos en el mercado y manipularlos para que puedan portar carga explosiva, su precio, puesto que son sistemas nada comparables en el gasto económico con otro tipo de aeronaves, su polivalencia y versatilidad y, sobre todo, su difícil detectabilidad, al ser de reducidas firmas radar, acústicas e infrarrojas. No obstante, también tiene algunas desventajas como la reducida autonomía de vuelo o la reducida capacidad de carga explosiva que puede portar.

3.2. CONCEPTO C-UAS Y SUS FASES

Se define la tecnología *C-UAS* como un conjunto de sistemas o un “sistema de sistemas”, que involucra no solo al sistema en sí y al operador, sino que también incluye aspectos relevantes como el C2 (*Command and Control*)⁸, o los diferentes sensores, entre otros, como se desarrolla en la figura 1:

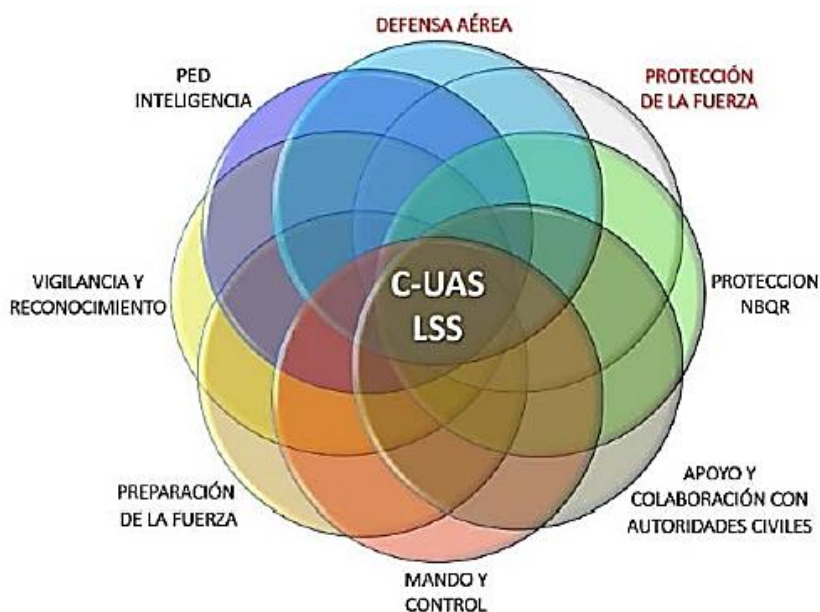


Figura 1. Áreas de capacidad afectadas por la defensa C-UAS [1].

A su vez, el proceso de lucha contra *UAS*, no consiste exclusivamente en el ataque contra el sistema, sino que se divide en cinco fases:

- **Prevención:** Es labor de inteligencia conocer si hay amenazas *UAS* en la zona de despliegue de las unidades, de qué tipo son, la frecuencia con la que son empleados, las zonas de vuelo, etc.
- **Detección:** Los sensores acústicos y radar obtienen una alarma por el vuelo de un objeto no identificado en la zona vigilada. Es vital obtener una alerta temprana.
- **Identificación:** A medida que siguen el vuelo del objeto no identificado, los sensores disciernen entre *UAS* y otros elementos sin interés para la DA (por ejemplo, aves). En algunos sistemas, las fases de detección e identificación confluyen y trabajan de manera simultánea.
- **Decisión:** El mando responsable decide si se ataca o no al *drone* y de qué

⁸ Del inglés: Mando y Control.



Javier Lacalle Córdoba

manera se va a llevar a cabo dicha neutralización.

- Neutralización: Entendiendo por este el proceso final por el cual, mediante los sistemas de armas *C-UAS*, se perturba, controla o destruye el *UAS-LSS*, ya sea por *hard kill* o *soft kill*.

Este procedimiento se refleja de manera visual en la figura 2:



Figura 2. Ciclo de los sistemas *C-UAS* [1].

Este método compuesto por cinco fases supone un problema para combatir la amenaza *drone*, ya que habitualmente hay intervalos reducidos de tiempo entre unos y otros y hay escasa oferta de sistemas que se puedan emplear en dos o más fases.

Esta es una de las principales carencias de los medios en dotación del ET: los sistemas con capacidad de neutralizar no tienen la capacidad de detectar e identificar los medios cuando se tratan de amplios radios de acción y precisan de un sistema adicional para ello.

Un requisito vital para que un sistema *C-UAS* sea efectivo es que sea autónomo, maduro y tenga un alto grado de automatización, o en su defecto que sea interoperable con otros sistemas para una rápida respuesta y reacción a una amenaza.

Otros requisitos que deben cumplir estos sistemas para llevar a cabo la lucha contra la amenaza es que sean operables en condiciones climáticas adversas, que sean sencillos de manejar y tenga un reducido tiempo de puesta en funcionamiento, que sea de reducida superficie para su fácil ocultación y protección y que tenga diferentes capacidades de movilidad. Aunque esta última es difícil de obtener, por lo que, a lo largo del desarrollo de diversos sistemas empleados por otros países, se distinguirán entre fijos y móviles/portátiles, ya que se emplean para diferentes cometidos: el primero para la Defensa Aérea, como puede ser la protección de infraestructuras vitales, bases o acuartelamientos, entre otros, y el segundo para la Protección de la Fuerza, como puede



Javier Lacalle Córdoba

ser la de un convoy o una unidad en movimiento.

3.3. ESTADO DEL ARTE

Actualmente, los Ejércitos y la Armada están desarrollando prácticas y evaluando los sistemas C-UAS LSS presentados por las empresas españolas. Buena prueba de ello es el “Ex. CONDOR 19”, en el cual se emplearon medios como *Drone Defender*, *Aero Scope* o *Skydor* contra UAS tipo *Raven* y *DJI⁹ Phantom* [11]. Tras finalizar el ejercicio, se pudieron extraer conclusiones en general negativas; el *Aero Scope* es eficaz pero solo solo contra *drones* tipo *DJI*, el *Skydor* reflejó carencias como la dificultad en la detección y seguimiento de los UAS, y el *Drone Defender* es demasiado lento para un convoy. En líneas generales, los medios C-UAS utilizados tenían dificultades para detectar estos UAS.

El RAAA71 es el encargado de dirigir los grupos de estudio de plataformas duales VSHORAD cuyo objetivo es dotar al ET de sistemas de armas VSHORAD con capacidad para combatir tanto a amenazas convencionales como a amenazas UAS de tipo I y II, conocidos como LSS.

El principal problema reside en que los radares convencionales presentan múltiples problemas para la detección de los UAS LSS por su reducido tamaño y escasa velocidad. Para solucionar esta carencia serían necesarios el empleo combinado de diferentes sistemas, como son los radares multifunción 3D, sensores ópticos de gran resolución y sensores acústicos de gran sensibilidad, puesto que los UAS LSS se caracterizan por tener una reducida firma acústica y radar. Todos estos sistemas deberán estar dotados de algoritmos que procesen los datos recogidos de manera rápida y eficaz. Este es el motivo por el que los radares *RAC 3D*, *PAR*, *SENTINEL*, *RAVEN* y *PATRIOT* no se consideran efectivos contra este tipo de *drones*.

Como se puede ver en las figuras 3 y 4, que son el resultado de la matriz de riesgos obtenida tras realizar una evaluación de riesgos mediante la herramienta “análisis de riesgos” (véase anexo II), estas carencias tienen un efecto crítico en la lucha C-UAS y suponen un riesgo severo:

Matriz riesgos				
Probabilidad	3	0	3	4
	2	0	1	1
	1	0	0	0
		Low	Medium	High
		Impacto		

Figura 4. Matriz de Riesgos (2)

Estadística	
Clase riesgo	Número
Crítico	4
Alto - medio	4
Medio	1
Bajo	0
Total:	9

Figura 3. Matriz de riesgos (1)

⁹ *Dà-Jiang Innovations*, empresa tecnológica china en el mercado de *drones*.



La empresa Española *Escribano Mechanical and Engineering S.L.* presentó en el evento sobre protección de fronteras *LIMEX*, celebrado entre el 28 y el 30 de enero de 2020 en Madrid, una propuesta para dar solución a todas las carencias de los sistemas *C-UAS*. Se trata de un sistema compuesto por una estación remota *Guardian 2.0* y una ametralladora *MK19* con posibilidad de utilizar munición no letal (*soft kill*) y de esta manera integrarse en el programa *CONDOR* [12]. En este caso fue presentado instalado sobre un vehículo *URO VAMTAC*. Este arma actúa conjuntamente con el sistema de observación avanzado *Oteos*, también de la empresa *Escribano*, para la identificación y seguimiento de objetivos, compuesto por cámara diurna, una cámara *IR¹⁰*, y un telémetro láser instalado, todo ello instalado en la parte superior del mástil retráctil que está acoplado al vehículo (véase figura 5) [12].



Figura 5. Propuesta de *Escribano* en *LIMEX 2020* sobre *URO VAMTAC* [12].

Una propuesta que ofrece y es más interesante para el objetivo de los grupos de estudio de los sistemas duales *C-UAS* es la plataforma dual misil-cañón compuesta por:

- Un *hard kill* tipo 1 con arma de saturación tipo *Dillon Aero M134 Minigun* y el sistema *Guardian 2.0*, con munición 7.62mm, capacidad de fuego de 3000 cartuchos por minuto, alcance efectivo de 1000m y área de dispersión de 2x2 m², pendiente de disponer de una solución *soft kill* (véase figura 6) [13].

¹⁰ Infrarroja



Figura 6. Propuesta de Escribano con Dillon Aero M134 y Guardian 2.0. [13].

- Un *hard kill* tipo 1 basado en arma de dispersión con el sistema *Guardian 2.0*. (véase figura 7) Basado en munición *NAMMO HEDP-RF* sin necesidad de impacto, compatible con lanzagranadas, munición de fácil integración y una óptima relación coste-eficacia.



Figura 7. Torreta Guardian 2.0. [14].

Estos sistemas contarían con radar capacidad 2D y 3D en función de las necesidades y de sistemas optrónicos de última generación y resolverían uno de los problemas de movilidad al ser adaptable a vehículos sobre ruedas.



4. DESARROLLO Y RESULTADOS

4.1. MEDIOS DEL ET Y UAS USADOS RECIENTEMENTE

En este apartado se analizan algunos de los medios estudiados en el “Informe de Experimentación Concepto C-UAS” LSS del CESEDEN [2] y que han sido tratados en las jornadas FUTER C-UAS LSS 20 y se van a comparar con algunos de los medios UAS empleados en el conflicto de Nagorno-Karabaj según el Capitán Juan Manuel Torrico García en su presentación sobre “Plataformas duales C-UAS”, con el objetivo de demostrar que las capacidades de los UAS son superiores a las de los medios que deben combatirlo quedando en inferioridad aérea.

En la tabla 3 se muestra una síntesis de las capacidades de los medios estudiados.

4.1.1. MEDIOS C-UAS DEL EJÉRCITO DE TIERRA

DJI AEROSCOPE

Consiste en un sistema contenido en una maleta portátil. Este hecho significa una gran ventaja ya que puede ser portado por un solo usuario lo que le capacita para acompañamiento de unidades desde un vehículo o bien desde un puesto fijo.

Es un sistema de detección, identificación y seguimiento de UAVs dedicado a los drones de la empresa DJI que representan un 70% de los drones usados con finalidad militar. Permite alertar al operador cuando se produce un vuelo de UAVs en el radio de acción de la maleta, de aproximadamente 5 km. Su uso en el interior de edificios reduce su alcance.

Es un sistema sencillo que no requiere una formación especial para su uso. Es pasivo, lo que significa que no emite y por tanto imposibilita su detección por parte de los UAVs. Además, no genera interferencias con otros sistemas en caso de que se esté interoperando. Es omnidireccional.

Permite en su pantalla reproducir los mapas descargados de internet y puede representar las rutas programadas que están siguiendo los UAVs que detecta.

Entre sus desventajas principales está su autonomía en uso, de apenas 1 hora por batería (aunque puede llevar dos), su tiempo de carga, de 1,5 horas y el hecho de que no tiene capacidad para neutralizar la amenaza drone, por lo que es un sistema dependiente de otros para completar el ciclo C-UAS. También cuenta con el inconveniente de que solo detecta los drones de la empresa DJI que, aunque representen la mayoría de los UAVs usados, no cubre la totalidad de la amenaza.

Con respecto a su diseño, presenta las carencias de que es sensible a los golpes, ya que no está rugerizado, y a las condiciones climáticas adversas debido a que su rango de temperatura soportado está entre los -20°C y los 40°C.



Figura 8. DJI Aeroscope [2].

ASDT SENDES

Es un sistema portátil de contramedidas *UAS*. Funciona emitiendo interferencias que cortan las señales entre el *UAV* y su *GCS* interrumpiendo la señal del piloto, la emisión de vídeo y la señal *GNSS*¹¹ de navegación. Su rango de frecuencias es entre 2,4 GHz y 5,8 GHz, aunque con antenas adicionales puede incorporar nuevas frecuencias. Permite inhibir todas estas frecuencias simultáneamente o por separado. Es pequeño y pesa 2,4 kg.

La composición de su carcasa, de poliamida, le hace resistente al calor y los golpes.

Sus principales desventajas son la autonomía, de apenas 2 horas, su alcance, de 1000 metros y su cobertura tanto horizontal como vertical, de 30° [15].



Figura 9. Sistema ASDT Sendes [16].

¹¹ *Global Navigation Satellite System*: Sistema Global de Navegación por Satélite.



SISTEMA AUDS

Es un sistema de subsistemas, en concreto tiene 3: sistema de radar, sistema de cámaras y sistema de inhibición. Se encuentra en un proceso de adquisición por parte de la DGAM debido a que solventa las necesidades de las unidades del ET en Zona de Operaciones.

Dispone de un radar 3D Doppler de barrido electrónico que necesita 4 antenas para una cobertura 360°. Proporciona velocidad, coordenadas, rumbo, altura del objetivo y RCS. Es capaz de detectar drones tipo micro a 3,5km, de tipo mini a 5km y de tipo pequeño a 10 km en rangos de velocidades desde 0,1m/s hasta $M1.0^{12}$. Las cámaras EO/IR están integradas con el radar (el radar detecta el azimut de la amenaza y la transmite directamente a las cámaras para que estas se orienten al objetivo). Su frecuencia de inhibición va desde los 400 MHz hasta los 6 GHz. También dispone de integración con C2 [17]. El ciclo de detección a neutralización (véase figura 10) es de 25 segundos. Una gran ventaja es las múltiples configuraciones que tiene y le convierten en un sistema polivalente (véase anexo III).

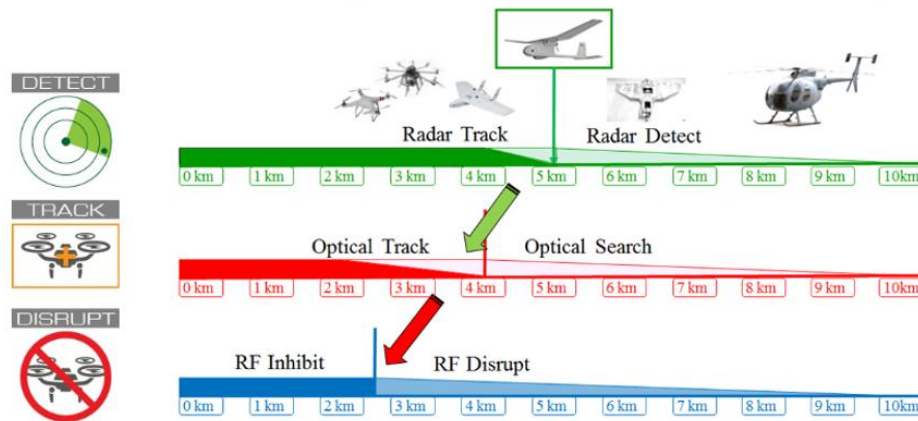


Figura 10. Ciclo AUDS [17].

A pesar de estar capacitado para combatir la amenaza *drone*, tiene un inconveniente y es que, aunque su alcance radar es de 10 km, el alcance de las cámaras es de 2,2 km, y el de inhibición tiene un máximo de 2 km.

Otros inconvenientes son su peso, de 18 kg, y la no existencia de un simulador.

A pesar de estas vicisitudes, sus capacidades le convierten en el sistema *C-UAS* más eficaz del que dispone el ET, a pesar de poseer escasas unidades (solo 1 en Zona de Operaciones, empleado por el Regimiento de Infantería "Garellano 45").

¹² Número de Mach. Mach1.0= velocidad del sonido= 343 m/s.

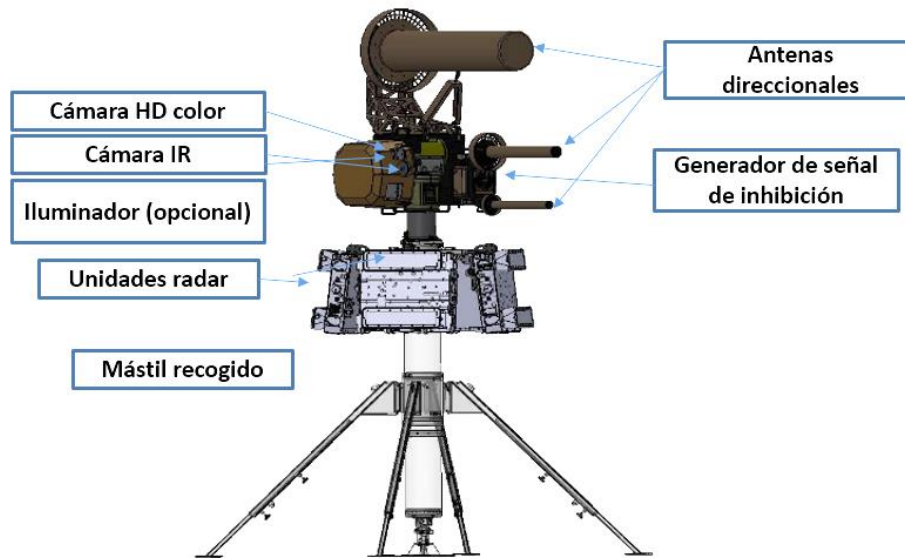


Figura 11. AUDS y sus partes [17].

En la tabla 3 se muestra un resumen de las características de los medios C-UAS estudiados:

Tabla 3. Capacidades de los sistemas C-UAS estudiados

Sistema	Detección	Identificación	Seguimiento	Neutralización	Alcance
DJI AEROSCOPE	X	X	X		5km
ASDT SENDES				X	1km
AUDS	X	X	X	X	10km (detección) 2,2km (seguimiento) 2km (inhibición)

A continuación, se analizan algunos de los *drones* de clase I y II empleados en el conflicto de Nagorno-Karabaj [18] y que se usarán como referencia para la comparación entre medios C-UAS y medios UAS.

4.1.2. UAS MÁS EMPLEADOS EN LA ACTUALIDAD

MINIS

UAS SKYSTRIKER

Es un UAS de tipo I mini comprado por Azerbaiyán a la empresa *Elbit Systems* en el año 2018. Su punto fuerte es su motor eléctrico que, al hacer muy poco ruido y tener una reducida firma térmica, dificulta en gran medida su detección por parte de los sensores EO/IR y de su Radiofrecuencia y le permite realizar acciones a baja altura. Tiene una carga de pago¹³ de 10 kg, una autonomía de vuelo de 2 horas y un radio de acción de hasta 100 km. Este sistema cuenta con la capacidad de ser recuperado, de ‘abortar una operación, merodear y reengancharse al objetivo, todo ello de manera autónoma. Dispone

¹³ Máxima carga que puede portar el sistema con la suma de sus elementos adicionales (cámaras, explosivos, etc.)



Javier Lacalle Córdoba

de una configuración dual de su cabeza de guerra, pudiendo de ser de 5kg o de 10kg instalados dentro de su fuselaje, lo que aumenta la precisión del ataque.

Su velocidad de vuelo transversal es de 185km/h, aunque en la fase de ataque puede alcanzar los 500km/h, siendo un *drone* de tipo *kamikaze* [19].

Todos los estudios coinciden en que resulta muy rentable y que supone un gran reto para los sistemas *C-UAS*.

Conclusión: En un hipotético enfrentamiento, este *UAS* solo podría ser combatido por el sistema *AUDS*, aunque este encontraría dificultades, probablemente no resolubles, para detectar y seguir al *SKYSTRIKER* debido a su reducida firma acústica y térmica por su motor eléctrico.



Figura 12. UAS SKYSTRIKER [18].

SKYWALKER X8

Es un *drone* de tipo clase I mini, de ala fija, ligero y con buena resistencia a los golpes, de 3,5kg, 2,12m de envergadura y 1,2m de longitud. Tiene un alcance de 25km, un techo de vuelo de unos 4km, una autonomía de entre 40 y 60 minutos en función de su empleo y una velocidad de 30m/s. Además, tiene una carga de pago de hasta 2 kg. Su motor es eléctrico, lo que le dota de una reducida firma acústica y térmica, dificultando su detección y seguimiento [20].

Tiene un coste de unos 200 dólares y ha sido empleado por el DAESH en Siria e Irak para misiones *ISR* y, mediante modificaciones, para lanzamiento de granadas de 40mm [2].

Conclusión: España no puede combatir esta amenaza, ya que el único sistema que por capacidades puede detectarlo es el sistema *AUDS*, pero no podría seguirlo ni inhibirlo ya que el techo de altura que tiene es mayor que el alcance de dichas acciones del sistema *C-UAS* (2,2 km para el seguimiento y 2 km para la inhibición). Todo ello en caso de que el *AUDS* detectase al *drone* hecho que es poco probable por la difícil detectabilidad del *UAV*.



Figura 13. Skywalker X8 [2].

MICROS

DJI MAVIC PRO-2

Es un *drone* de tipo clase I micro, con apenas 907 g de peso y 354mm de diámetro. Es un multirroto comercial con un coste estimado de 1500€. Porta una cámara EO de alta definición. Tiene un alcance de 8km, una autonomía de 30 minutos y un techo de vuelo de 6000m. Su principal virtud es que es muy silencioso y tiene capacidad para hacer saltos de frecuencia ante interferencias, lo que le convierte en un *drone* realmente difícil de detectar y de inhibir. Cuenta con la capacidad de detectar obstáculos omnidireccionalmente y dispone de la autonomía necesaria para reconocer y seguir objetivos. Su principal función es *ISR (Intelligence, Surveillance and Reconnaissance)* [2].

Conclusión: España no está preparada para combatir *drones* de este tipo, ya que su reducida firma acústica y térmica conjuntamente con su techo de vuelo impide ser detectado e inhibido.



Figura 14. DJI Mavic Pro 2 [2].



Javier Lacalle Córdoba

DJI PHANTOM PRO-4

UAV de tipo clase I micro, con 1,375kg de peso y apenas 350mm de diámetro. Es un multirrotor comercial con un coste estimado de 1700€ [2]. Porta una cámara de alta definición con grabación de imagen y video de alta calidad y transmisión en directo, importante para las misiones de inteligencia. Es muy silencioso y también cuenta con el sistema de saltos de frecuencia para evitar interferencias. Tiene un alcance de 7km, un techo de vuelo de 6000m y una autonomía de 30 minutos.

Este *drone* ha sido modificado para atacar con municiones de 40mm.

Conclusión: De nuevo, España no está preparada para este tipo de amenaza, ya que el techo de vuelo y su reducida firma acústica imposibilitan su neutralización.



Figura 15. DJI Phantom Pro 4 [2].

PD-100 Black Hornet

UAV de tipo clase I micro, con apenas 160mm de longitud y 123 mm de diámetro rotor, siendo su superficie de 0,02 m². Su peso es de 33 g. Estas características de diseño hacen que suponga todo un reto detectarlo por su más que reducida firma visual y sonora. Tiene capacidad de vuelo en el interior de edificios, una autonomía de 25 minutos y un alcance de 2km. Entre sus capacidades están la de transmisión de vídeo e imágenes de alta definición en directo y reconocimiento cercano al más bajo nivel. En España es empleado en unidades como tropas de montaña y Operaciones Especiales.

Su inconveniente principal es el precio, de unos 40.000 dólares. Es por ello por lo que solo ha sido empleado hasta ahora por ejércitos regulares con una buena capacidad presupuestaria. También tiene una velocidad máxima muy baja, de apenas 6m/s. Sus creadores prefieren sacarlo del concepto *drone* y que sea concebido como un sensor móvil.

Conclusión: En caso de ser una amenaza para España, nuestro país encontraría grandes dificultades para detectar este *drone*, por su reducida firma visual y acústica. El hecho de que se pueda emplear dentro de edificios supone un reto para nuestros sensores.



Figura 16. PD-100 Black Hornet [2].

En la tabla 4, se muestra un cuadro resumen de las principales características de los *drones* estudiados, para hacer más visible su estudio:

Tabla 4. Características principales de los *drones* estudiados.

Nombre	Tipo (clase I)	Carga de pago	Techo (m)	Autonomía	Precio (€)	Alcance (km)	Capacidades
Skystriker	mini	10 kg	-	2 horas	860.000	100	Reducida firma.
Skywalker	mini	2 kg	4000	40-60 minutos	170	25	Reducida firma.
DJI Mavic Pro 2	micro	Cámara EO HD	6000	30 minutos	1500	8	Misiones ISR. Reducida firma.
DJI Phantom Pro 4	micro	Cámara EO HD	6000	30 minutos	1700	7	Misiones ISR. Reducida firma.
PD-100 Black Hornet	micro	Cámara EO HD	-	25 minutos	40.000	2	Vuelo en edificios. Muy reducida firma.

Estos son solo algunos ejemplos de los *drones* que se comercializan hoy en día y a los que tiene fácil acceso cualquier persona. No hay más que buscar sus nombres por internet y aparecen multitud de páginas *web* y empresas que comercializan estos productos. Por poner un ejemplo, hay una tienda en Madrid que vende todos los modelos de los *drones* DJI [21].

A pesar de conocer las características y capacidades de los *drones*, los sistemas C-UAS siguen estando completamente obsoletos y no parece que vaya a cambiar la situación a corto plazo.

Es por ello por lo que España debe plantearse la adquisición de medios C-UAS más desarrollados que los que tiene en dotación el ET. Países como Estados Unidos, Rusia o Francia han desarrollado sistemas.

En la tabla 5 se exponen algunas de las propuestas de mejora para hacer efectiva la



Javier Lacalle Córdoba

lucha C-UAS, confrontándolas con las carencias a las que dan solución:

Tabla 5. Carencias y soluciones operativas propuestas.

Carencias	Solución operativa
Incapacidad para acompañar a la fuerza	Medios móviles/pórtatiles sobre ruedas
Coste de la munición no asumible	Medios de neutralización no cinéticos
Alcance insuficiente	Alerta temprana y radares de mayor capacidad
Necesidad de medios complementarios	Medios autosuficientes con capacidad para realizar el ciclo C-UAS completo
Tiempo adicional entre fases	Integración de los sistemas con C2
Problemas en la detección de UAS LSS	Radar obicuo. Sensores oprónicos y acústicos más sofisticados
Plazos extensos de puesta en funcionamiento de sistemas C-UAS nacionales	Adquisición de medios más desarrollados y participación en programas europeos de DA
Estructura orgánica y funcional no definidas	Creación de "células C-UAS" con cometidos y medios propios para apoyo directo a las unidades de la Brigada
Empleo táctico no definido	Integración de los medios C-UAS en el planeamiento de la unidad apoyada, basada en el modelo atp 3-01.81 [22]

Estas carencias, las posibles soluciones operativas, los efectos que tendrían en caso de suceder, la intensidad o probabilidad del riesgo son factores tratados en la matriz de riesgos (véase anexo II).

Como se puede comprobar en dicha matriz, los efectos serían devastadores ya que la ineficacia en cada una de estas situaciones planteadas conllevaría a sufrir un ataque de grandes consecuencias para nuestras Fuerzas Armadas y/o nuestra población.

En el siguiente análisis DAFO¹⁴ (tabla 6) se analizan las consecuencias del posible proceso de adquisición, desde las carencias (debilidades), posibles incidencias (amenazas), solidez de partida del proceso (fortalezas) y nuevas posibilidades (oportunidades) que abriría este procedimiento si se llevase a cabo:

¹⁴ Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades.



Tabla 6. Análisis DAFO

ASPECTOS INTERNOS	
DEBILIDADES	AMENAZAS
<ul style="list-style-type: none"> • Restricciones presupuestarias. • Prolongada cadena logística. • Reducido personal con capacidad técnica para mantenimiento y reparación. • Necesidad de personal civil para tecnicismos de los sistemas. • Problemas para disponer de zonas de vuelo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Amplio <i>Lead Time</i>¹⁵. • Necesidad de nueva formación teórica y práctica. • Reestructuración de hangares, almacenes y talleres. • Amplio volumen de horas y personal dedicado al mantenimiento. • Dificultad para la interoperabilidad de sistemas.
ASPECTOS EXTERNOS	
FORTALEZAS	OPORTUNIDADES
<ul style="list-style-type: none"> • Cooperación con las FCSE y Ejército del Aire. • Mercado civil adaptado al ámbito de Defensa (Indra, Tales, Airbus, etc.) • Impulso a la industria dual civil-militar española. • Ejercicios y maniobras interarmas con los nuevos sistemas. • Integración de medios <i>C-UAS</i> en los planeamientos operativos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Participación en programas internacionales para la DA y PF como el programa PESCO¹⁶ • Mayor instrucción y adiestramiento para los usuarios de los sistemas. • Posibles proyectos de mejora de los sistemas en función de las necesidades que surjan. • Colaboración entre unidades del ET para instrucción y adiestramiento recíproco.

4.2. EVOLUCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS *UAS* Y TENDENCIAS

En este apartado se muestran algunos de los desarrollos más recientes que se están llevando a cabo en las tecnologías *UAS* para disponer de superioridad aérea y ganarle la batalla a sus detractores, los medios *C-UAS* [7].

PLATAFORMAS

Navegación.

En la actualidad la navegación de estos sistemas se centra en los usos de señales GNSS (GPS, GLONASS, GALILEO, etc.) combinadas con unidades de medida inercial como giroscopios, magnetómetros o acelerómetros. La tendencia de los *UAS* consiste en buscar una menor dependencia de dichas señales, ya que a través del *spoofing* o del *jamming* pueden quedar inoperativos.

Para ello, se están llevando a cabo tecnologías como la navegación basada en

¹⁵ Tiempo de ciclo del pedido: "El tiempo del ciclo del pedido es el tiempo que transcurre desde que se inicia un pedido hasta que se completa, incluyendo todas las operaciones necesarias para ello" Logística (2019-2020), Centro Universitario de la Defensa, Universidad de Zaragoza. [23]

¹⁶ *Permanent Structured Cooperation*: Proceso para la cooperación en Defensa entre miembros de la UE que lo deseen, liderado por Italia. [24]



Javier Lacalle Córdoba

imagen, el uso de señales alternativas, como Wi-Fi o telefonía, el sonar¹⁷ o el LIDAR¹⁸.

Otra técnica es la miniaturización y mejora en la precisión de los sistemas de guía inercial, aumentando la autonomía del UAV y reduciendo la dependencia del sistema de navegación.

Miniaturización

Los UAS con el paso del tiempo tienen la capacidad de mantener sus características, pero con un tamaño cada vez más reducido. Las tecnologías MEMS y NEMS¹⁹. Esta micro-fabricación dificultará la detección, identificación, seguimiento y neutralización realizadas por los medios C-UAS.

Mención especial merece también la fabricación aditiva, que permite modificar el diseño de los *drones* en función de las necesidades operativas del usuario. Un ejemplo de este modelo de fabricación son los UAV SKYWALKER X8 o el UAS SKYSTRIKER que, además de ser montados por piezas, pueden modificar su estructura para portar explosivos o cámaras de alta definición adicionales.

Enjambres

Los avances en el mundo de la electrónica y la informática, como el *big data* o la inteligencia artificial han dotado a los sistemas, no solo los de uso militar, de gran autonomía a través del aprendizaje.

Los enjambres, como el *drone Perdix*, se caracterizan por tener la capacidad de ser interoperables y de tomar decisiones de manera conjunta sin necesidad de un operador terrestre. Esta amenaza se acentúa si el ataque combina vehículos aéreos con vehículos terrestres.

El uso masivo de *drones*, conocido como enjambres o *sworm*, supone un verdadero reto para nuestra DA, especialmente para los sensores que tienen la tarea de detectarlos, identificarlos y seguirlos, ya que puede hacer colapsar al sistema al no tener esta capacidad para combatir simultáneamente un número amplio de amenazas *drone*.

REDUCCIÓN DE FIRMA

Reducción de firma optrónica (visible e infrarroja)

Se prevé que a corto plazo los UAS incorporen tecnologías de camuflaje para reducir su vulnerabilidad ante los sensores optrónicos en los rangos visible e infrarrojo.

El diseño biomimético, es decir, de mimetización con el entorno, o la simulación de figuras propias de la naturaleza como son las aves de pequeño tamaño, como es el sistema español SHEPHERD MIL (véase figura 15) son posibles líneas de actuación para el enmascaramiento tecnológico.

¹⁷ *Sound Navigation and Ranging*. Consiste en una técnica de localización acústicas, simulando los zumbidos de los murciélagos, mediante la emisión de ondas sonoras.

¹⁸ *Laser Imaging Detection and Ranging*. Sistema láser que permite medir la distancia entre el UAV y un objeto midiendo el retraso entre el pulso emitido y el recibido.

¹⁹ *Micro Electro-Mechanical Systems/ Nano Electro-Mechanical System*. Son técnicas de fabricación basadas en un método de micro-fabricación de elementos mecánicos y electromecánicos.



Figura 15. SHEPHERD MIL de Expal [25].

Otra de las tecnologías que se espera que tengan protagonismo en materia de enmascaramiento tecnológico son los materiales cromoactivos, que cambian de color según estímulos como señales eléctricas o variaciones de temperatura y que permiten al sistema camuflarse con el cielo o incluso las nubes.

Con respecto al rango infrarrojo, cabe destacar el empleo de materiales reflectantes o recubrimientos que, o bien dificultan su detección por parte de los sensores, o impiden que el sistema emita calor, reduciendo de esta manera su huella térmica.

Reducción de firma radar

La principal técnica para reducir la firma radar consiste en un diseño estructural en el que predominan las formas angulosas frente a las circulares o curvas.

En la actualidad se pueden fabricar fuselajes con materiales que son invisibles al radar como los polímeros y también hay materiales que absorben la radiación radar, conocidos como materiales *RAM (Radar Absorbing Materials)* y que se pueden usar como recubrimiento de otros materiales sensibles a esta radiación.

Poco probable, aunque no imposible, es que a corto plazo se empleen los conocidos como metamateriales, que consisten en materiales con propiedades electromagnéticas inusuales y que no están presentes en la naturaleza por el diseño de su estructura. Estos materiales tienen un coeficiente de refracción negativo, siendo las ondas incidentes refractadas con un ángulo distinto del perpendicular a la superficie.

En la actualidad solo se conocen estudios y observaciones, pero aún no ha sido puesta en práctica esta técnica.

Reducción de firma acústica

La base de la pirámide de esta técnica son los motores eléctricos. También son de vital importancia los sistemas de propulsión que optimizan la aerodinámica de los elementos del *UAV* mediante encapsulados, hermeticidad y el uso de materiales específicos.



4.3. EVOLUCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS C-UAS Y TENDENCIAS

En este apartado y en contraposición al anterior, se desarrollan los avances que se están llevando a cabo en la tecnología C-UAS, algunas a corto plazo y otras a medio o largo plazo. Estos avances están enfocados en los UAS LSS que son los que más problemas están causando a los medios de DA, especialmente en las fases de detección e identificación [7].

DETECCIÓN E IDENTIFICACIÓN

Radar

El desarrollo de esta tecnología se centra en los nuevos algoritmos avanzados de procesado de señal para aquellos blancos de difícil detección y seguimiento en entornos complejos y con nuevos tipos de arquitectura (las mencionadas formas angulosas). Dos de los exponentes de esta tecnología son el radar obicuo y el radar cuántico.

El radar obicuo evita los barridos mediante la síntesis digital, simultánea y en tiempo real del conjunto de haces que se reciben. El sistema ilumina todo el escenario de forma continua y los ecos recibidos se procesan en un *array* para su procesado. Se consigue una máxima exposición de la iluminación sobre el blanco, provocando un mayor alcance. También permite discriminar el *clutter*²⁰ del blanco. Se prevé un desarrollo significativo de esta tecnología a medio y largo plazo.

Este desarrollo enfocado en la electrónica de alta frecuencia de banda ancha o el hardware de procesado de señal en tiempo real permite la detección instantánea de todas las amenazas del espectro de blancos de interés, siendo especialmente útil para los ataques con enjambres de *drones*.

Con respecto al radar cuántico, se basa en la iluminación cuántica, usando el principio de entrelazamiento cuántico²¹. La técnica consiste en dos haces de fotones entrelazados cuánticamente. Uno de ellos es enviado al receptor y otro al blanco. El haz reflejado y el primer haz interfieren en el detector, siendo este capaz de detectar errores estadísticos. La diferencia entre ambos haces aporta datos sobre la velocidad, forma, temperatura o ubicación.

El concepto iluminación cuántica fue publicado en 2013, por lo que es muy reciente, y hasta el momento solo China ha anunciado un proyecto para desarrollar este tipo de radar. No se espera su puesta en funcionamiento a corto plazo, ya que esta tecnología en la actualidad solo ha sido tratada en ensayos y estudios en laboratorios.

Optrónica (Sensores EO/IR)

Estos sensores son vitales para el empleo de las Fuerzas Armadas y es un integrante habitual de los sistemas de DA. En términos de desarrollo de esta tecnología, se prevén mejoras en los componentes, que mejoren las características de los sistemas, como la sensibilidad de los detectores o la resolución, y mejoras en el diseño; peso, tamaño, alimentación, etc.

Cabe destacar el desarrollo de sistemas que fusionan la información de detectores que trabajan en diferentes longitudes de onda, la algoritmia de procesado y los sistemas hiperespectrales²², como antagonistas a los sistemas UAS con tecnología biomimética.

²⁰ Se conoce como *clutter* al conjunto de ecos y ruidos detectados por el radar y que no son de interés.

²¹ Fenómeno en el cual los estados cuánticos de dos o más objetos se describen por un estado cuántico único, aunque estén separados espacialmente.

²² Sistemas con capacidad de detectar blancos tanto en espectro visible como en el no visible.



Javier Lacalle Córdoba

Estas tecnologías se están desarrollando en la actualidad y se espera que se siga haciendo a medio y largo plazo.

Acústica

En la actualidad existen sistemas de detección *UAS* basados en sonómetros que, aunque no están integrados en los sistemas de radar y sensores optrónicos, sí que pueden trabajar de manera complementaria.

Próximamente, se espera una evolución de la algoritmia del procesado de señales y elaboración de bases de datos de firmas acústicas que palien las dificultades de detección de *UAS* en entornos complejos como los urbanos por las altas interferencias.

Por tanto, se espera que, a corto, medio y largo plazo, en función de la calidad que se busque en ellos, se desarrollen sistemas que fusionen todas estas capacidades y confluyan en un único sistema sin necesidad de elementos o sistemas adicionales.

DECISIÓN

Mando y Control (C2) y toma de decisiones

Para llevar a cabo una lucha efectiva contra la amenaza *drone* se precisa de una rápida actuación en la fase de decisión. Para ello se deben de presentar los datos que se correspondan con la integración de los diferentes sistemas y sensores para la detección mediante la fusión sensorial avanzada. Esta, a su vez, precisa de una gran capacidad en el procesamiento de datos.

Para dar solución a estos requerimientos se plantea el empleo de la computación cuántica, basada en los métodos de la mecánica cuántica, para el procesado de datos, o de la computación cognitiva, cuya base es la inteligencia artificial, que simula el pensamiento humano en modelos informáticos para reconocer patrones de actuación y conducta.

A pesar de la hipotética efectividad de esta tecnología, se desaconseja el modo *Human out the loop*²³ en las tecnologías *C-UAS* por el constante cambio en las tecnologías *UAS*.

NEUTRALIZACIÓN

Los países que han tomado la delantera en el estudio de sistemas *C-UAS* han centrado sus esfuerzos en los sistemas de neutralización no cinética.

En marzo de 2017, el General Comandante del *Training and Doctrine Command (TRADOC)* del ejército estadounidense, David Perkins, en una ponencia en el *AUSA Annual Meeting*, afirmó que un aliado de Estados Unidos derribó un *drone* comercial de 200 dólares con un misil *Patriot* de 3,4 millones de dólares. A raíz de este hecho, el General recalca la dificultad económica y el reto que supone combatir esta amenaza en términos económicos.

Es por ello que, tanto en el estudio del desarrollo de las tecnologías *C-UAS*, como en el análisis de medios *C-UAS* analizados y propuestos para su adquisición, el enfoque se va a centrar en los sistemas de tipo no cinético, aunque lo óptimo sería contar con una plataforma dual con capacidad *soft kill-hard kill*.

Armas láser

Las naciones industrializadas están desarrollando armas de energía dirigida mediante la tecnología láser de alta potencia, conocida como *HEL*²⁴. Algunos de los

²³ Sistema completamente autónomo, sin necesidad de intervención humana.

²⁴ Del inglés *High Energy Laser*.



Javier Lacalle Córdoba

sistemas que emplean esta tecnología están muy avanzados:

- El MEHEL, que es un sistema de armas láser con capacidad para estar adaptado sobre vehículo y concebido para amenazas *UAS*. En su versión 2.0. porta un láser de 5kW y fue capaz de derribar numerosos *UAS LSS* en el ejercicio *UAS Hard-Kill Challenge* en 2017. Se prevé que su próxima evolución tenga una potencia de 10kW.
- El *Rheinmetall HEL*, que es un láser de alta energía que ha sido desarrollado para ser instalado en diferentes plataformas con una configuración de potencia máxima variable en función de dicha plataforma. Tiene una potencia de 30kW y se han comprobado alcances contra *UAS LSS* de 3000 metros. Es un ejercicio también fue capaz de neutralizar el sistema electro-óptico de un *drone* con misiones *ISR*. El coste estimado por cada disparo es de 59 céntimos de dólar.

Una limitación de este sistema es que su efectividad depende de la visibilidad del espacio aéreo, ya que necesita mantener la línea de visión sobre el objetivo. Otra carencia es que los sistemas actuales no son capaces de iluminar varios objetos a la vez, solo uno, por tanto, en caso de amenaza numerosa, este sistema se vería superado.

Sistemas de armas de microondas de alta potencia (HPM²⁵)

Son otro tipo de energía con longitud de onda mucho mayor y frecuencia mucho más baja que las armas láser. Este tipo de tecnología se divide en dos mecanismos: calentamiento molecular y estimulación eléctrica, y tienen la capacidad de provocar efectos graduales en el blanco en función de la energía aportada. Habitualmente estos sistemas se clasifican en banda estrecha o banda ultra ancha.

Los sistemas de banda estrecha necesitan conocer previamente la frecuencia del objetivo y son más vulnerables a contramedidas. Sin embargo, reducen el riesgo de fratricidio.

Los sistemas de banda ultra ancha tienen un alcance efectivo menor que los de banda estrecha. Sin embargo, no requieren de un reconocimiento previo de la amenaza y tienen una mayor destructividad.

Drones contra drones

Una posibilidad que se plantea a medio y largo plazo sería utilizar *drones* que en un primer lugar extenderían considerablemente el alcance de los medios *C-UAS* al poder incorporarles dentro de su carga de pago sensores optrónicos, acústicos o radares de reducido tamaño. Con respecto a la fase de neutralización, se podría incorporar un *jammer* al sistema.

En la actualidad existen *drones* anti *drones*, como los empleados por la policía metropolitana de Tokio [26], aunque este sistema presenta una principal carencia y es que su técnica para atrapar a los *drones* consiste en capturarlos con una red de la que va provisto su *UAV* cazador. Esta técnica puede resultar peligrosa si el *drone* capturado porta explosivos.

Es por ello que esta técnica de *drones* cazadores se plantea en un futuro no muy lejano, pero necesita ser más desarrollada y se debe poder adaptar a los sistemas con los que podría interoperar para poder emplearse tácticamente de manera efectiva.

²⁵ Del inglés *High Power Microwave*.



4.4. MEDIOS C-UAS DE OTROS PAÍSES

Como continuación al objetivo principal de este proyecto, que es tratar de demostrar la ineficacia de los medios actuales C-UAS del ET y proponer la adquisición de medios más desarrollados y con una mayor madurez, se exponen a continuación medios C-UAS empleados por otros países con los que se cubrirían las necesidades operativas que presenta la lucha contra los *drones*, entre los cuales se eligen aquellos que emplean la neutralización no cinética o que, en algunos casos, consisten en plataformas duales que pueden llevar a cabo ambas técnicas (véase tabla 7).

En concreto, se analizarán cinco medios que emplean las técnicas de jamming y spoofing, aunque cuatro de ellos disponen también de armamento cinético: el *Pantsir* ruso [27] (véase anexo IV), el vehículo blindado *IM-SHORAD* estadounidense [28] (véase anexo V), el camión *Krasuja 4* ruso [29] (véase anexo VI), el *Moog RIP*²⁶ estadounidense con sus múltiples configuraciones y capacidades [30] (véase anexo VII) y por último el sistema fijo ruso, remolcable con camión, *R 3300HZ* [31] (véase anexo VIII).

Además, se estudiarán otros 3 medios, en concreto el *Mantis* alemán, el *MPVC* francés y el *9K33 OSA* soviético, empleado por Armenia el pasado año [18]. Aunque como se ve en la propia tabla, las diferencias con los cinco primeros son notables.

Tabla 7. Medios C-UAS estudiados

Medio	País	Vehículo	Soft kill	Hard kill	Capacidades
Pantsir	Rusia	Camión	<i>Jamming y Spoofing</i>	12 misiles y cañón 30mm	Detección y seguimiento (hasta 54km), neutralización
IM-SHORAD	Estados Unidos	Vehículo blindado	<i>Jamming y spoofing</i>	Cañón 30mm, ametralladora 7,62 mm y hasta 4 misiles	Detección, seguimiento y neutralización
Krasuja 4	Rusia	Camión	<i>Jamming y spoofing</i>	-	Adquisición, seguimiento y neutralización (hasta 300km)
Moog RIP	Estados Unidos	Vehículo blindado	Se le puede añadir	Ametralladora 7,62mm y 4 misiles	Adquisición, seguimiento y neutralización
R330HZ	Rusia	Fijo (remolcable)	<i>Jamming y Spoofing</i>	Se le pueden añadir misiles	Adquisición, seguimiento y neutralización (800km ²)
Mantis	Alemania	Plataforma fija	-	Cañón 35mm	Detección y neutralización
MPVC	Francia	Vehículo blindado 4x4	Se puede añadir	Ametralladora 12,7 mm. 4 misiles mistral 3	Neutralización
9K33 OSA	URSS (1960,s)	Vehículo blindado 9A33	-	6 misiles 9M33	Detección (30km), seguimiento (20km) y neutralización (15km)

²⁶ RIP: Reconfigurable Integred-weapons Platform



Javier Lacalle Córdoba

De esta tabla se pueden extraer algunas conclusiones:

La primera conclusión es que los países que cuentan con medios más completos y desarrollados son Estados Unidos y Rusia, siendo además, o bien los principales exportadores de estos sistemas, o bien siendo las potencias militares que prestan ayuda a sus aliados en la lucha contra la amenaza *drone* [18].

La segunda conclusión es que estos países buscan que sus sistemas puedan acompañar a la fuerza, es decir, que cumplan la función de PF. Por ello, sus configuraciones, aunque pueden ser modificables algunas de ellas, se basan en vehículos de tipo camión o vehículos blindados de diseños similares al URO VAMTAC o al VEC (Vehículo de Exploración de Caballería).

Una última conclusión que se puede extraer es que los sistemas C-UAS que son referencia en el mundo actualmente, consisten en plataformas duales, que tienen capacidad para neutralizar al blanco usando tanto las técnicas *soft kill* como *hard kill*. Esto prevé al sistema de una autonomía, madurez e independencia de otros sistemas.

Como se ha analizado en el apartado anterior, existen técnicas innovadoras ajenas al *jamming* y el *spoofing*, ya que se espera que un futuro próximo los sistemas usen sistemas de navegación inerciales y otros tipos de navegación que le doten de una independencia notable con respecto a las frecuencias en las que trabajan. Este es el motivo por el que se le está dando un mayor protagonismo a las técnicas HPM y a las armas láser, que pueden neutralizar al objetivo sin recurrir a las interferencias de sus frecuencias. Estas son las conocidas como técnicas de energía dirigida [32].

Siguiendo con el análisis de medios C-UAS empleados por otros países, se van a analizar a continuación dos medios que usan la tecnología HPM: el sistema PHASER de la empresa *Raytheon* (véase figura 17) que es una de las empresas más destacadas en el sector, y el *HPEMcounterUAS*, con el sistema *Guardion* (véase figura 18). Seguidamente, se estudiará el sistema de armas láser MEHEL 2.0. (véase figura 19)

HPM

PHASER

Es un sistema de la empresa *Raytheon*. Consiste en un contenedor dentro del cual se encuentran los sistemas necesarios para su funcionamiento. En 2016 comenzaron las pruebas, en las que consiguió llevar a cabo una lucha eficaz contra UAS LSS y desde entonces se ha seguido desarrollando para hacerlo más completo.

Su forma de neutralizar al blanco consiste en la radiación electromagnética direccional de microondas de alta potencia, afectando gravemente a los sistemas electrónicos del *drone*.

El sistema recibe la asignación de objetivos de otros sistemas a través del *Command and Control*. Esta es la principal carencia, por no decir la única, del sistema, y es que, al tratarse de una tecnología poco desarrollada hasta la actualidad, necesita de terceros sistemas que detecten e identifiquen al objetivo y le transmitan estos datos para poder llevar a cabo la neutralización

Tras recibir los datos, la “pistola” se apunta automáticamente y realiza el disparo de radiación.

Dispone de dos modos, uno de menor potencia con el cual se pretende la interrupción grave del objetivo, y una segunda de mayor potencia que destruye la electrónica y los elementos estructurales del *drone*.



Javier Lacalle Córdoba

Ya en 2016, cuando se encontraba en su período experimental, consiguió derrotar eficazmente a 33 *UAV* de varios tipos [33], algunos de ellos incluso volaban en parejas o trinomios.

De cara a un futuro a corto plazo, se espera que los nuevos modelos del sistema *PHASER* reduzcan los intervalos para neutralizar, además de ser un contenedor de menor tamaño, consumir menos energía y ser más flexible en su uso.



Figura 17. *PHASER* de Raytheon [33].

HPEMcounterUAS

Este sistema surge tras la unión de tres empresas de seguridad y defensa: *ESG Elektroniksystem und Logistik*, *Diehl Defence* y *Rhode & Schwarz*, expertos en radar, monitorización por radio, contramedidas electromagnéticas, sistemas de *Command and Control*, posicionamiento, etc.

En concreto, se va a analizar el efector *HPEMcounterUAS* de efectividad garantizada y cuyo empleo se extiende a eventos tales como la protección de autoridades en la cumbre del G7 en Alemania en 2015 [34].

Este sistema de HPM forma parte del sistema *C-UAS Guardian*. El empleo de la tecnología HPM ataca los circuitos eléctricos del *drone* dejándolo inoperativo. Los desarrolladores de este sistema enfocan sus esfuerzos en la alerta temprana, siendo el sistema capaz de interceptar un *UAS* incluso antes de que este despegue.

Una de las grandes ventajas del efector *HPEMcounterUAS* es que se ha demostrado su efectividad tanto contra *drones* que funciona por radiocontrol como con aquellos que emplean un sistema de guiado autónomo.



Figura 18. Efecto HPPEMcounterUAS [34].

ARMAS LÁSER

MEHEL 2.0.

Se trata de un sistema de armas láser montado sobre vehículo (en Estados Unidos se instala sobre el vehículo 8x8 *Stryker*). Este sistema supone una evolución de su predecesor, el sistema MEHEL.

Esta nueva evolución fue empleada con éxito contra *UAS LSS* entre los días 17 y 18 de marzo de 2018 [35], derribando una docena de drones de esta categoría.

Otra ventaja que tiene este sistema es que es interoperable con armas de tipo cinético, como son lanzagranadas o ametralladoras. Además, se puede controlar el sistema de modo remoto, es decir, sin necesidad de que la tripulación del vehículo tenga que abandonar el interior, poniéndose en peligro.

El sistema consta de su propio radar y sensores electro-ópticos y goza de un alto grado de automatización, siendo capaz de llevar a cabo la detección, seguimiento y neutralización del objetivo de manera autónoma y automática. Adicionalmente, el sistema puede incluir técnicas *jamming* que interfieran las comunicaciones de los drones con su estación de control terrestre.

Su modelo inicial tenía una potencia de 2,5 kW. El MEHEL 2.0 cuenta con una potencia de 5kW, ampliables a 18 kW. Tiene capacidad para derribar también helicópteros enemigos.

El principal *hándicap* que tiene el sistema es que se debe limitar su techo de actuación, ya que un techo excesivo podría llevar a interferir y atacar de manera involuntaria aviones comerciales.

Actualmente solo se ha desarrollado el modelo adaptable al vehículo *Stryker* estadounidense, por tanto, en caso de adquirirlo para nuestro ejército, se debería plantear la posibilidad de adquirir también dicho vehículo o de instar a la empresa *General Dynamics Land Systems*²⁷ a llevar a cabo una adaptación a nuestros vehículos.

²⁷ Empresa estadounidense responsable del suministro y adaptación de plataformas láser.

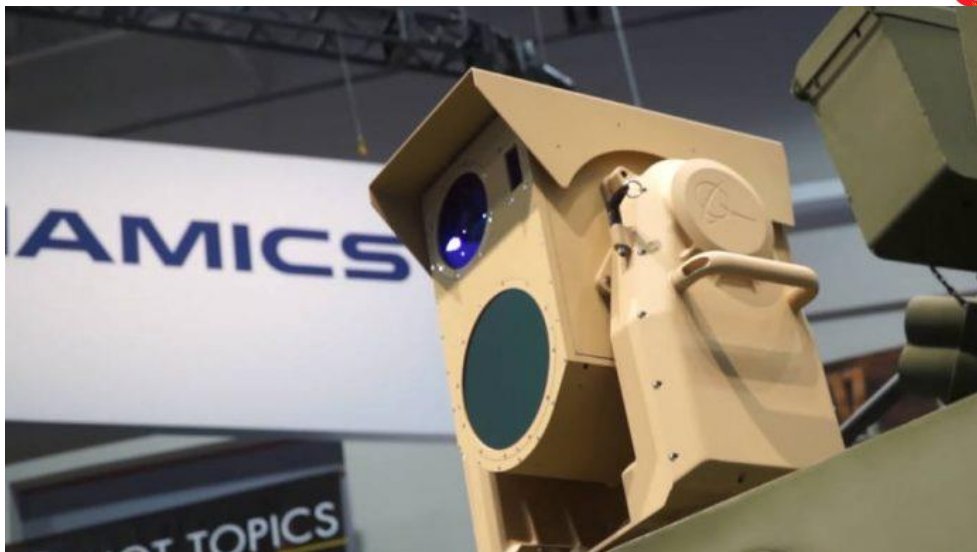


Figura 19. Arma láser MEHEL 2.0. [36].

4.5. ORGANIZACIÓN DE LAS CÉLULAS C-UAS

El último de los objetivos principales de este proyecto consiste en una propuesta de organización dentro de una Brigada para las unidades C-UAS.

La organización de esta unidad, que se conoce en países aliados de la OTAN como "C-UAS cell" o "célula C-UAS" debe seguir la estructura de las unidades C-IED según algunos expertos en materia de Defensa.

La principal disyuntiva sobre el empleo de esta unidad a nivel de organización es si se debería clasificar como Protección a la Fuerza o como Defensa Aérea. La solución es sencilla: aquellos medios fijos cuya misión sea la de proteger instalaciones o puntos de interés serán clasificados como Defensa Aérea y aquellos que estén destinados a acompañar a la fuerza para dotarla de un paraguas de seguridad, ya sean móviles o portátiles, serán clasificados como Protección a la Fuerza.

Todo ello debería quedar integrado dentro de la citada previamente "célula C-UAS", de entidad similar a una Compañía, aunque dicha entidad sería flexible en función de las necesidades. A su vez, se dividirá en dos secciones: la sección de medios móviles y portátiles, con la misión de proteger a la fuerza, y la sección de medios fijos, con la misión de proteger instalaciones, acuartelamientos, bases, ciudades, etc.

La "célula C-UAS" se encuadrará orgánicamente en el Batallón del Cuartel General de la Brigada debido a la especificidad de sus medios. Partiendo de esta organización, su encuadramiento táctico se basaría en la asignación de medios a las unidades para su apoyo. A partir del momento de haber hecho efectiva la citada asignación de medios, y una vez estén plenamente integrados, será competencia del jefe de la unidad apoyada integrar dichos medios en su planeamiento táctico y a su vez, en las diversas mallas de comunicaciones.

Resultaría óptimo que a su vez estos medios dependiesen de un COAAS-M²⁸ que ejerciese el mando y control de las distintas unidades disgregadas. A su vez, este COAAS-M ejercería de unidad subordinada del Centro de Operaciones Aéreas (AOC²⁹) a través del nuevo sistema SC2N-EA del Ejército del Aire, que permite conectar al citado AOC con las principales fuerzas del Ejército del Aire, el componente desplegable y las unidades conjuntas del Ejército de Tierra y la Armada que interactúan con el Mando

²⁸ Centro de Operaciones de Artillería Antiaérea Semiautomático Medio

²⁹ Air Operation Centre



Javier Lacalle Córdoba

Operativo Aeroespacial (MOA), ejercido por el General Jefe del Mando Aéreo de Combate.

El sistema SC2N-EA asume las anteriores funciones del ICC-N³⁰, permitiendo el planeamiento, dirección, ejecución y control en tiempo real de todas las misiones aéreas y de vigilancia y del control aeroespacial, incluyendo la asignación de objetivos o la generación y difusión de una única imagen de la situación aérea.

El sistema ICC-N ya no tenía posibilidad de crecimiento, y es el sistema SC2N-EA el que permite dar respuesta a esas necesidades por tratarse de un sistema acreditado a nivel nacional para el manejo de información clasificada hasta Reservado Nacional. Incluye, entre otras innovaciones, mensajería formal y planeamiento logístico y orgánico.

Las misiones de mantenimiento, abastecimiento y otras funciones logísticas corresponderían al Grupo Logístico, como se expone en los requisitos excluidos, ya que las unidades del Cuartel General de la Brigada no tienen unidades de servicios propias, al ser esta función competencia del citado Grupo Logístico.

Otro aspecto a tener en cuenta sería la doble funcionalidad de las unidades de Defensa Aérea, ya que también tienen una dependencia funcional del Ejército del Aire, al ser competencia de este la defensa del espacio aéreo de nuestro país.

La solución que propone el Capitán del Ejército del Aire José Alberto Martín Delgado, piloto de combate, en su estudio *‘El sistema de defensa aérea no-cinético, clave para la defensa antidrón’* publicado por el IEEE el 29 de noviembre de 2018 [7], consiste en la creación de un Comité especializado en UAVs dentro del Departamento de Seguridad Nacional (DSN). Este sería el órgano encargado de coordinar la lucha C-UAS entre los distintos actores (Ejército del Aire, Fuerzas y Cuerpos de Seguridad del Estado, unidades de Defensa Antiaérea, etc.). La *‘célula C-UAS’* sería uno de estos actores encargados de la lucha C-UAS LSS y se le serían asignados los objetivos desde dicho departamento.

Esta sería la propuesta para una organización adecuada de una unidad de lucha C-UAS dentro de una Brigada, contemplando también la doble funcionalidad con el Ejército del Aire.

Tras una extensa revisión documental, se puede comprobar que hasta el momento solo existen propuestas de organización o estructuras orgánicas provisionales en los países integrantes de la OTAN, ya que este concepto de lucha C-UAS está en un continuo desarrollo y hay discrepancias entre expertos sobre cuál sería la estructura orgánica y funcional óptima.

En la figura 20 se puede ver un modelo de composición de *Célula C-UAS*:

³⁰ *Integrated Command and Control- National*: Mando y Control Integrado Nacional



Medios Célula C-UAS

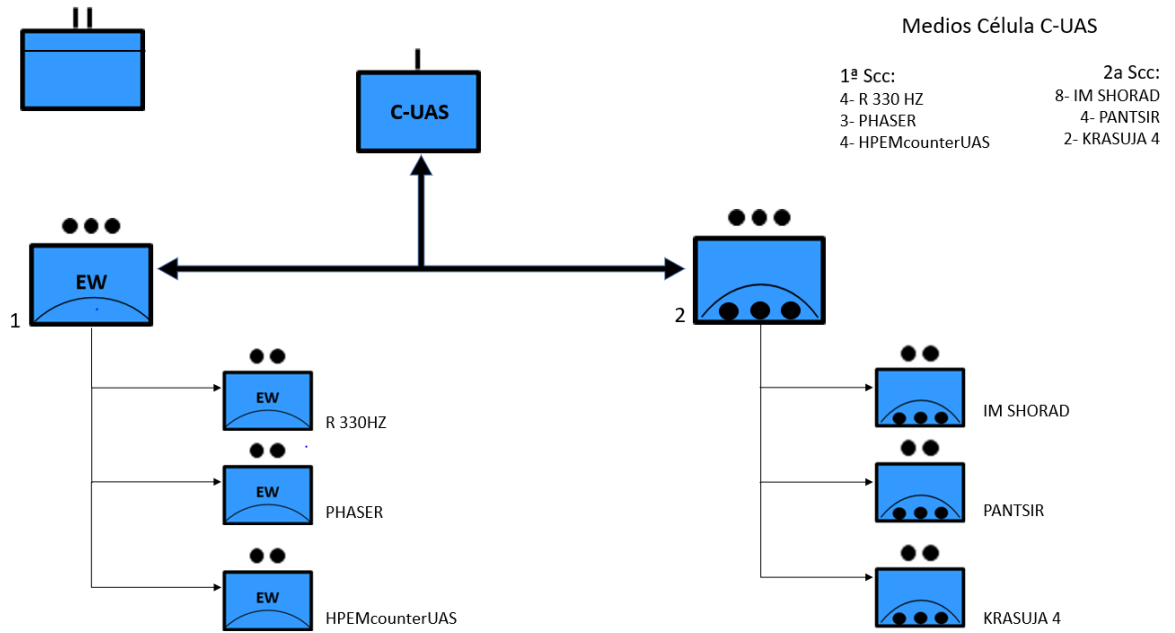


Figura 20. Propuesta de Célula C-UAS.

Como se puede ver en la anterior figura, la Célula, de entidad similar a una Compañía, se compondría por 2 secciones: una sección fija que ejerza la función de Defensa Aérea de instalaciones y puntos vitales, y una sección móvil que tenga capacidad para acompañar a la fuerza y ejercer la función de Protección de la Fuerza.

En este caso, la sección móvil estaría compuesta por 3 pelotones: 1 pelotón con 8 IM SHORAD, 1 pelotón con 4 PANTSIR y 1 pelotón con 2 KRASUJA 4.

Por otra parte, la sección fija estaría compuesta por 3 pelotones: 1 pelotón con 4 R 330 HZ, 1 pelotón con 3 PHASER y 1 pelotón con 4 HPEMcounterUAS.

La simbología propuesta, tanto para la Célula C-UAS como para las secciones, se explica en el anexo IX, ya que en la actualidad no existen. En el citado anexo se justifica la elección de los elementos que componen dicha simbología.



5. CONCLUSIONES Y PROPUESTAS DE MEJORA

El conjunto de sistemas, o como también son conocidos, los “sistemas de sistemas” *UAS* suponen una amenaza para nuestra sociedad y para nuestras Fuerzas Armadas.

El desarrollo de estos sistemas ha sido exponencial en los últimos años y la neutralización de estos sistemas debería de estudiarse y tratarse de manera independiente a las amenazas convencionales, ya que con los medios que emplea el ejército para derrotarlos no se puede combatir eficazmente la amenaza *drone*, especialmente los *UAS LSS*.

Con respecto al tipo de neutralización, España y en concreto su ejército debe decantarse por los medios de neutralización de tipo no-cinético, ya que esta técnica pone solución a algunos de los problemas capitales de la lucha *C-UAS* como son el enorme gasto económico que supone el empleo de misiles o los daños colaterales que pueden causar estos sistemas si se emplean cerca de población civil o de nuestra fuerza.

Tras un estudio, análisis y comparación de medios *UAS* empleados en conflictos recientes con los medios *C-UAS* del ET, se extrae la conclusión de que España no está preparada para combatir la amenaza *drone*, especialmente los de clase I y II, y nuestros medios se verían superados tecnológicamente por los sistemas *UAS*.

A pesar de estar llevándose a cabo en España dos proyectos, el CONDOR y el RAPAZ, la tecnología de los *UAS* evoluciona más rápidamente que los citados proyectos, pudiéndose dar la situación de que una vez sean puestos en funcionamiento los sistemas que se han propuesto, hayan quedado obsoletos y no sean capaces de realizar las fases del ciclo *C-UAS* y es que este ciclo es una cadena y si una de las fases falla, el combate no se puede llevar a cabo.

Una vez expuesto este problema, España aparentemente tiene dos soluciones a su alcance:

- Recurrir a la tecnología modular, implantando componentes y sistemas civiles dentro de los sistemas militares en desarrollo y hacerlos interoperables para acortar plazos.
- Llevar a cabo un proceso de adquisición de medios *C-UAS* de otros países que disponen de la suficiente madurez y autosuficiencia para ser desplegados en Zona de Operaciones, como ya han hecho sistemas *C-UAS* de países como Estados Unidos, Rusia o Israel.

A su vez, España debe estar inmersa en programas como el *PESCO* en materia de Defensa Aérea y de esta manera poder cooperar con países aliados para así poder adaptar a los medios de nuestras Fuerzas Armadas los avances y desarrollos tecnológicos de potencias nacionales más avanzadas en este concepto que nuestro país. Para ello, nuestro ejército debe disponer de medios *C-UAS* lo suficientemente desarrollados para poder formar parte de estos grupos de estudio y trabajo y estar a la altura de los países que lideran los diversos programas y proyectos.

En lo relativo a la organización, nuestro ejército debe seguir el ejemplo de los países de la OTAN que han tomado la iniciativa en la lucha contra *drones* y plantearse la creación de “células *C-UAS*” que dispongan de sus propios medios y tengan la capacidad operativa de apoyar a las distintas unidades que componen una Brigada, disponiendo de la posibilidad de establecer medios fijos o medios móviles/portátiles que acompañen a la fuerza para dotar a la unidad apoyada de cierta autonomía en sus movimientos y misiones. Todo ello respetando la doble funcionalidad con el Ejército del Aire.

Como síntesis, España tiene que acortar plazos en los proyectos de desarrollo de



Javier Lacalle Córdoba

tecnologías *C-UAS* que está llevando a cabo y, si fuera posible, complementarlo con adquisición de medios maduros y de efectividad demostrada. Esto le permitiría formar parte de los mencionados grupos de estudio y desarrollo.

España no puede esperar a ser atacada por *UAS* para tomar decisiones drásticas. Todos los expertos coinciden en que es una amenaza emergente y que en los próximos años tomará incluso un mayor protagonismo en los conflictos armados del que ya tienen hoy en día.



6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] CESEDEN, Ministerio de Defensa (2019). *Concepto Nacional C-UAS LSS*. Madrid.
- [2] CESEDEN, Ministerio de Defensa (2019). *Informe Experimentación Concepto UAS LSS*. Madrid.
- [3] Ministerio de Defensa (2019). Jornadas C-UAS en el RAAA71. Disponible en: https://ejercito.defensa.gob.es/unidades/Madrid/raaa71/Noticias/2019/06-Jornadas_C-UAS.html [consultado el 20-10-2021].
- [4] “6.5.1. Política de I+D+i de Defensa en España”. En : *Gestión de la Innovación y Política Tecnológica (2019)*. Centro Universitario de la Defensa, Universidad de Zaragoza. (pp. 246).
- [5] Portal de Tecnología e Innovación del Ministerio de Defensa (2021). Programa COINCIDENTE. Disponible en: <https://www.tecnologiaeinnovacion.defensa.gob.es/es-es/Presentacion/ImasD/Paginas/Coincidente.aspx> [consultado el 20-10-2021].
- [6] Ministry of Defense of the Republic of Azerbaijan (2020). *List of the enemy’s destroyed military equipment*. Disponible en: <https://mod.gov.az/en/news/list-of-the-enemy-s-destroyed-military-equipment-video-32469.html> [consultado el 20-10-2021].
- [7] MARÍN DELGADO, J.A. (2018). “El sistema de defensa aérea no-cinético, clave para la defensa antidrón”. *Boletín IEEE número 12*. (pp. 805-857).
- [8] “Fuentes de error y tecnología para mitigarlos. Bloque II Los sistemas Globales de Navegación por Satélite”. En : *Sistemas de Información Geográfica y Teledetección (2020)*. Centro Universitario de la Defensa, Universidad de Zaragoza.
- [9] “Tema 8.Sistema de gestión de la calidad”. En: *Calidad (2019)*. Centro Universitario de la Defensa, Universidad de Zaragoza.
- [10] MARÍN DELGADO, J.A. (2019). “Drones, la nueva amenaza para el espacio aéreo”. *Revista de Aeronáutica y Astronáutica número 875 (2018)*. (pp. 529-539).
- [11] ROSILLO RANGEL, M. (2020). “Programa CONDOR y COINCIDENTE”, *Jornadas C-UAS FUTER CONDOR NOV20*. 5 de noviembre de 2020, RAAA71, Fuencarral (Madrid).
- [12] Carrasco, B. (2020). *Escribano desarrolla un sistema que intercepta drones con munición no letal*. Disponible en : <https://www.infodron.es/id/2020/01/30/noticia-escribano-desarrolla-sistema-intercepta-drones-municion-letal.html> [consultado el 21-10-2021]



- [13] *Rheinmetall and Escribano demonstrate new modules for the mission master sp A-UGV*. Defensearabia.com.
- [14] NAVARRO GARCIA, J.M. (2018). *La torre Guardian 2.0. para el VCR 8x8 del Ejército de Tierra*. Disponible en : <https://www.defensa.com/espana/escribano-mechanical-engineering-tiene-lista-torre-guardian-2> [consultado : 21-10-2021].
- [15] BERMEJO VESGA, A. (2020). "Presentación SENDES". *Jornadas C-UAS FUTER CONDOR NOV20*. RAAA71, Fuencarral (Madrid).
- [16] *El nuevo SENDES HD03T de ASDT, sistema de neutralización direccional para drones*. Mars Intelligence. Disponible en : <https://mars-intelligence.com/actualidad/el-nuevo-sendes-hd03t-de-asdt-sistema-de-mano-de-neutralizacion-direccional-para-drones/> [consultado 21-10-2021]
- [17] SÁNCHEZ GALLEGO, E.(2020). "Generalidades sistema AUDS". *Jornadas C-UAS FUTER CONDOR NOV20*. 4 de noviembre de 2020. RAAA71, Fuencarral (Madrid).
- [18] TORRICO GARCÍA, J.M.(2020). "Plataformas duales CUAS". *Jornadas C-UAS FUTER CONDOR NOV20*. RAAA71, Fuencarral (Madrid).
- [19] *Sky-Striker Tactical loitering munitions for covert and precise airstrikes*. Elbit Systems. Disponible en : <https://elbitsystems.com/landing/wp-content/uploads/2018/07/Sky-Striker.pdf> [consultado el 21-10-2021]
- [20] Airelectronics. Disponible en : <https://www.aeroexpo.online/es/prod/airelectronics/product-185532-28782.html> [consultado el 21-10-2021]
- [21] *DJI ARS MADRID*. DJI Tienda Madrid. Disponible en : https://djiarsmadrid.com/?gclid=CjwKCAjw49qKBhAoEiwAHQVTo5tCArvuNfv-f3WGI7TkmQSxk7sJu4lfNPICVlkzi0DPUObaxrxYURoCwxIQAvD_BwE [consultado el 21-10-2021]
- [22] *Counter-Unmanned Aircraft System Techniques*. Headquarters, Department of the Army. Disponible en : https://armypubs.army.mil/epubs/DR_pubs/DR_a/pdf/web/ARN3099_ATP%203-01x81%20FINAL%20WEB.pdf [consultado 21-10-2021].
- [23] Dr. CAJAL HERNANDO, C. , Dr. JIMÉNEZ PACHECO, R. y Tcol. RUIZ LÓPEZ, C. (2019). "1.4. Proceso de pedido". *Logística* (2019-2020). Centro Universitario de la Defensa, Universidad de Zaragoza. (diapositiva 35).
- [24] *Counter Unmanned Aerial System (C-UAS)*. PESCO. Disponible en : <https://pesco.europa.eu/project/counter-unmanned-aerial-system-c-uas/> [consultado el 21-10-2021].



- [25] *Expal Shepherd (3rd Party)*. Airelectronics UAV AUTOPILOTS. Disponible en : <https://www.airelectronics.es/products/solutions/shepherd/> [consultado el 21-10-2021]
- [26] LIBERATORE, S. (2015). "How do you catch a drone? With an ever BIGGER drone and a gian net: Tokyo pólice reveal bizarre 'UAV catcher'. *Daily Mail*. Disponible en : <https://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-3356746/How-catch-drone-BIGGER-drone-giant-net-Tokyo-police-reveal-bizarre-UAV-catcher.html> [consultado el 21-10-2021]
- [27] *Análisis de los daños en el Pantsir-S1 atacado por dron israelí* (2018). FDRA-Aéreo. Disponible en : <http://fdra-aereo.blogspot.com/2018/05/spaag-analisis-de-pantsir-atacado-por.html> [consultado el 21-01-2021]
- [28] NAVARRO GARCÍA, J.M. (2020). "El nuevo sistema antiaéreo sobre 8x8 Stryker para el U.S. Army". *Defensa.com*. Disponible en : <https://www.defensa.com/otan-y-europa/nuevo-sistema-antiaereo-sobre-8x8-stryker-para-s-army> [consultado el 21-10-2021].
- [29] *Krasuja (electronic warfare system) (2020)*. Military.wikia.org. Disponible en : [https://military.wikia.org/wiki/Krasukha_\(electronic_warfare_system\)](https://military.wikia.org/wiki/Krasukha_(electronic_warfare_system)) [consultado el 21-10-2021].
- [30] MOOG INC.(2021). Army-technology.com. Disponible en : <https://www.army-technology.com/contractors/electronic/moog-inc/attachment/moog-riwp-system-platform-3/> [consultado el 21-10-2021].
- [31] SKOMOROKHOV, R. (2017). *R-330HZ*. es.topwar.ru. Disponible en : <https://es.topwar.ru/128607-r-330zh-zhitel-vozvrashchayas-k-napisannomu.html> [consultado el 21-10-2021].
- [32] *JP 1-02*. Department of Defense Dictionary of Military and Associated Terms (2010). Disponible en : https://irp.fas.org/doddir/dod/jp1_02.pdf [consultado el 21-10-2021]
- [33] KIRRIL, R. (2019). *Proyecto Raytheon PHASER: un arma fantástica en operación de prueba*. es.topwar.ru. Disponible en : <https://es.topwar.ru/162882-proekt-raytheon-phaser-fantastika-v-opytnoj-jekspluatacii.html> [consultado el 21-10-2021]
- [34] *Guardion is designed to defend and protect again unauthorised UAVs* (2017). Defence procurement international (defenceprocurementinternational.com). Disponible en : <https://www.defenceprocurementinternational.com/news/air/guardion-drone-defence-solution> [consultado el 21-10-2021].
- [35] *Láser de batalla complejo Stryker Mehel (USA)*(2018). es.topwar.ru. Disponible en : <https://es.topwar.ru/138429-boevoy-lazernyy-kompleks-stryker-mehel-ssha.html> [consultado el 21-10-2021].



Javier Lacalle Córdoba

[36] FARIÑAS, R. (2017). "Lockheed Martin and the U.S. Army present the MEHEL 2.0". *The USB Port (theusbport.com)*. Disponible en : <https://theusbport.com/lockheed-martin-and-the-u-s-army-present-the-mehel-2-0/26437> [consultado el 21-10-2021].

[37] *Anti-UAV Defense System (AUDS)*. Liteye (liteye.com). Disponible en : <https://liteye.com/counter-uas/auds/> [consultado el 21-10-2021].

[38] *Liteye releases T-AUDS, a combined on-the-move and fixed-site Counter-UAS (C-UAS) solution*. Unmanned Air Space (unmannedairspace.com). Disponible en : <https://www.unmannedairspace.info/counter-uas-systems-and-policies/liteye-releases-t-auds-a-combined-on-the-move-and-fixed-site-counter-uas-c-uas-solution/> [consultado el 21-10-2021].

[39] *Rusia despliega sistemas de guerra electrónica Krasuja-4 en Siria* (2015). HISPANTV (hispan.tv). Disponible en : <https://www.hispan.tv/noticias/siria/59846/rusia-despliegue-sistema-guerra-electronica-krasukha-4-radares> [consultado 21-10-2021].



ANEXOS

ANEXO I: ENTREVISTA LIBRE A PERSONAL EXPERTO EN DEFENSA AÉREA

- ¿Qué empleo tiene en la actualidad y qué puesto ocupa en el Ejército de Tierra?

Respuesta: Capitán Jefe de la batería MISTRAL del GACA X.

- ¿Considera Ud. los *drones* como una de las principales amenazas para la Defensa Aérea en la actualidad?

Respuesta: Sí, pero no sólo para la Defensa Aérea, también lo considero una de las principales amenaza para todas las funciones de combate.

- ¿Cree que España está preparada para un ataque masivo con *drones*?

Respuesta: España en la actualidad y, desde mi punto de vista, no cuenta con medios suficientes para hacer frente a la amenaza *DRONE LSS*. Y creo que las unidades y, específicamente, las brigadas, no cuentan con una estructura organizada para hacer frente a la amenaza *DRONE*.

- ¿Considera que los medios actuales *C-UAS* son suficientes para combatir la amenaza *drone*?

Respuesta: No creo que sean suficientes. No hay ni medios ni personal especializado para ello.

- ¿Satisfacerán los proyectos CONDOR y RAPAZ las necesidades operativas a corto plazo?

Respuesta: A corto plazo podrían ser una solución, pero el desarrollo *C-UAS* lleva consigo el desarrollo *UAS*, lo que hace que cuando se avance por un lado, por el otro queda desfasado.

- ¿Piensa que España está atrasada en el desarrollo de tecnologías *C-UAS*?

Respuesta: Creo que sí. En mi opinión y en consonancia a la pregunta anterior el desarrollo *UAS* avanza más rápido que el *C-UAS* y ESPAÑA, tanto en un aspecto como en otro, no está a la cabeza de países desarrollados en estas áreas.

- ¿Al margen de la disponibilidad o no de medios *C-UAS*, cree Ud. que el personal de las Fuerzas Armadas tiene la instrucción y adiestramiento necesarios para combatir los *drones*?

Respuesta: No estoy segura de ello. Bien es cierto que cuando despliega un contingente se les prepara, pero diariamente y en las Brigadas no se cuenta con



personal instruido para ello.

- ¿Piensa que España y en concreto las Fuerzas Armadas están concienciadas de la amenaza que suponen los medios *UAS*?

Respuesta: La concienciación existe y cada vez se tiene más en cuenta a la hora de la instrucción.

- ¿Valoraría positivamente un hipotético proceso de adquisición de medios *C-UAS* más desarrollados externos a la industria de Defensa nacional? En caso afirmativo, ¿Supondría un aumento notable de la capacidad de Defensa Aérea dicho proceso de adquisición?

Respuesta: Yo creo que cualquier medio que sea de protección y defensa a nuestras fuerzas es necesario y bienvenido. La adquisición de medios supone obviamente, un aumento de la defensa en todas las ramas, tanto antiaéreas, como de inteligencia o guerra electrónica.



ANEXO II: MATRIZ DE RIESGOS

ID	Descripción riesgo	Categoría riesgo	Causa del riesgo	Impacto (H,M,L)	Probabilidad (1,2,3)	Clase riesgo
1	No detección de UAS LSS	Técnico	Los sensores de los medios C-UAS no son capaces de detectar o seguir al <i>drone</i> por su reducida firma.	H	3	3H
2	Incapacidad para apoyar a una unidad en movimiento	Técnico	Los medios son fijos y no tienen la capacidad de movilidad de la unidad apoyada.	H	3	3H
3	Problemas de coordinación entre unidad que apoya y unidad apoyada	Táctico	El planeamiento de la fuerza y los medios C-UAS se hace de manera independiente.	M	2	2M
4	Coste de la munición no asumible	Logístico	El coste de la munición cinética es muy superior al de la amenaza.	H	3	3H
5	Necesidad de medios complementarios	Técnico	Los medios C-UAS actuales no pueden realizar el ciclo C-UAS completo.	M	3	3M
6	Tiempo adicional entre fases	Técnico	Las fases se llevan a cabo de manera independiente.	M	3	3M
7	Estructuras orgánica y funcional no definidas.	Táctico	No existe una unidad C-UAS.	M	3	3M
8	Plazos extensos para puesta a punto de medios nacionales C-UAS	Logístico	Los medios desarrollados en el programa CONDOR no tienen la madurez suficiente.	H	3	3H
9	Alcance insuficiente	Técnico	Los radares tienen problemas para identificar los <i>drones</i> , especialmente los de clase I y II.	H	2	2H

Figura 21. Anexo II. Matriz de Riesgos I.

ID	Efectos riesgo	Medida / Alternativas	Clase riesgo tras medida
1	El <i>drone</i> puede atacar sin ser detectado.	Sensores optrónicos y acústicos más sofisticados. Radares obicuos.	1M
2	La unidad queda fuera de la cobertura de seguridad aérea.	Disponer de medios móviles o en su defecto portátiles.	1L
3	Discrepancias en las medidas de coordinación y en los procedimientos C-UAS.	Integración de los medios C-UAS en el planeamiento basada en el modelo atp 3-01.81.	1L
4	Carga logística inasumible para el ET.	Medios de neutralización no cinéticos.	1L
5	Efecto atrasado en la consecución del ciclo C-UAS.	Medios con capacidad para realizar el ciclo C-UAS completo de manera autosuficiente.	1L
6	Tiempo añadido entre las fases de detección, identificación, decisión y neutralización.	Integración de los medios C-UAS con C2.	1L
7	Problemas para la coordinación del empleo táctico de unidades que apoyan. Problemas para definir escalones de subordinación.	Creación de "células C-UAS" con cometidos y medios propios para apoyo directo a unidades de la Brigada.	2L
8	España sigue sin tener medios C-UAS con suficiente madurez y autosuficiencia. La amenaza <i>drone</i> sigue sin ser resuelta.	Adquisición de medios de otros países más desarrollados y con la madurez necesaria.	1L
9	La detección e identificación puede retrasarse excesivamente, pudiendo atacar el <i>drone</i> sin haber sido neutralizado.	Radares más sofisticados y desarrollados. Alerta temprana.	1L

Figura 22. Anexo II. Matriz de Riesgos II.



ANEXO III: MÚLTIPLES CONFIGURACIONES DEL SISTEMA AUDS BLIGHTER



Figura 23. Anexo III. AUDS en contenedor [37].



Figura 24. Anexo III. AUWS remolcable [38].



Figura 25. Anexo III. AUWS sobre vehículo [37].



ANEXO IV: PANTSIR RUSO



Figura 26. Anexo IV. Pantsir ruso [27].



ANEXO V: IM SHORAD ESTADOUNIDENSE



Figura 27. Anexo V. IM SHORAD [28].



ANEXO VI: KRASUJA 4 RUSO



Figura 28. Anexo VI. Krasuja 4 ruso [39].



Javier Lacalle Córdoba

ANEXO VII: MÚLTIPLES CONFIGURACIONES DE LA EMPRESA MOOG

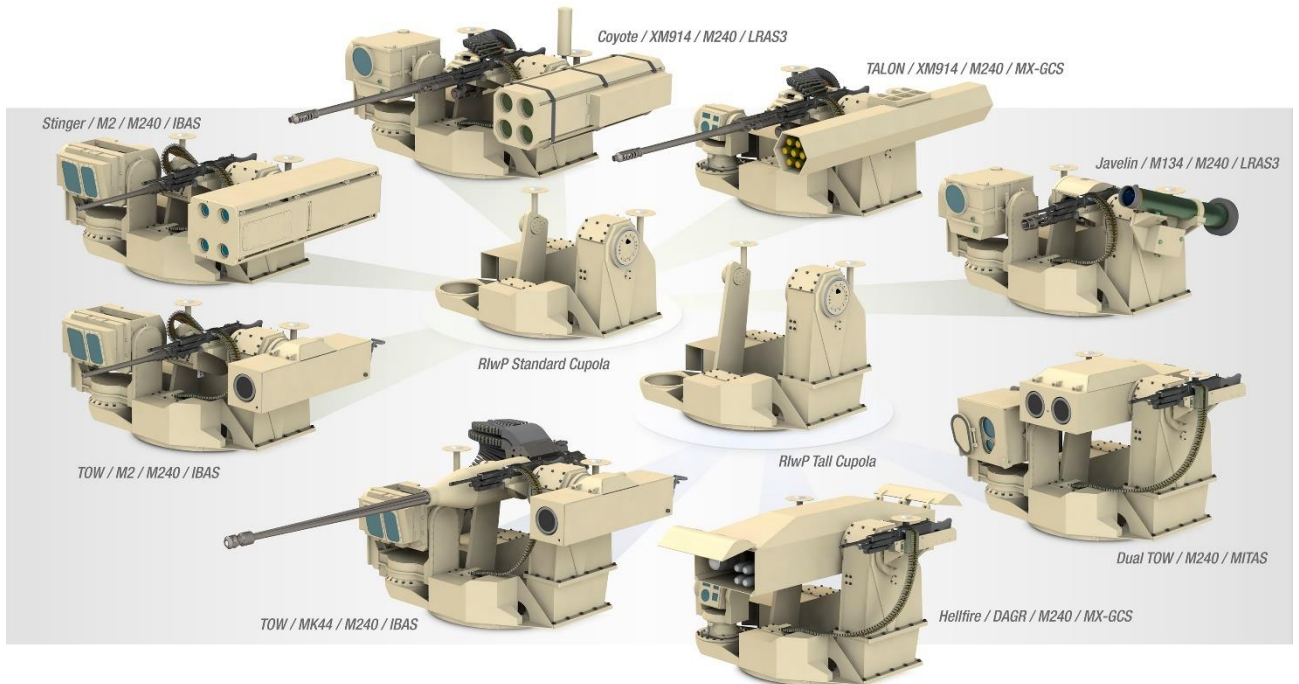


Figura 29. Anexo VII. Múltiples configuraciones plataforma MOOG [30].



ANEXO VIII: R 330 HZ RUSO



Figura 30. Anexo VIII. R 330 HZ ruso siendo estacionado [31].



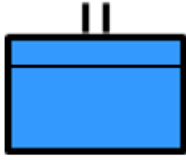
Figura 31. Anexo VIII. R 330 HZ ruso en posición de alerta [31].



Figura 32. Anexo VIII. Mando para el control remoto del R 330 HZ ruso [31].



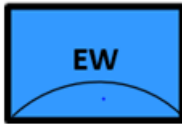
ANEXO IX: SIMBOLOGÍA MILITAR



Batallón del Cuartel General.



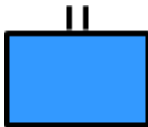
Propuesta de simbología para la célula C-UAS, siguiendo el modelo de la célula C-IED.



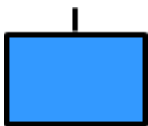
Propuesta de simbología para la sección fija. Es una simbología híbrida entre los símbolos de EW (*Electronic Warfare*)³¹ y Defensa Aérea. Esta elección se debe a que a pesar de emplear técnicas de Guerra Electrónica, su función del combate sería la de Defensa Aérea.



Propuesta de simbología para la sección móvil. Es una simbología híbrida entre los símbolos de Defensa Aérea y el de medios sobre ruedas. Esta elección se debe a que su función del combate es la Protección de la Fuerza a través de la Defensa Aérea, y que la configuración de sus medios es sobre ruedas, ya sean vehículos blindados o camiones.



Entidad Batallón.



Entidad Compañía.



Entidad Sección.



Entidad Pelotón.

³¹ Del inglés: Guerra Electrónica.