



## Trabajo Fin de Grado

# UTILIZACIÓN DE MEDIOS DE ENERGÍA DIRIGIDA EN LOS SISTEMAS DE DEFENSA ANTIAÉREA

Autor

David Jiménez Altarejos

Director/es

Director académico: Dr. Fernando de León-Pérez

Director militar: Cap. Carlos Azorín Auría

Centro Universitario de la Defensa-Academia General Militar



## **Agradecimientos**

*En primer lugar, me gustaría agradecer el esfuerzo depositado por todos los componentes del GAAA II/30 de Ceuta. Especialmente agradecer los consejos de los componentes de la Batería de Plana, por ser esta en la que mayor tiempo he estado durante mis prácticas externas.*

*En particular, me gustaría agradecer las aportaciones y consejos del Teniente Coronel Vicente Gómez Ponce del GAAA II/30, Jefe del Grupo de Artillería Antiaérea. Sus enseñanzas han sido cruciales para la consecución de esta memoria.*

*Finalmente, me gustaría agradecer el esfuerzo de mi tutor académico D. Fernando de León-Pérez, por su implicación en el trabajo desde el primer momento y por las imprescindibles orientaciones y consejos. Ha sido fundamental para dar al trabajo la calidad técnica que se espera de un Trabajo Final de Grado.*



# RESUMEN

Los sistemas aéreos controlados remotamente (RPAS, por sus siglas en inglés) también son conocidos como vehículos aéreos no tripulados (UAV, por sus siglas en inglés). Popularmente, se les denomina drones. Los RPAS han sido empleados en guerras recientes, como la de Nagorno Karabaj, debido al amplio abanico de misiones que pueden realizar y su bajo coste de adquisición. Los RPAS fueron fundamentales para marcar el rumbo de la guerra en Nagorno Karabaj ya que fueron capaces de superar las defensas antiaéreas armenias. Esto derivó en la exposición de la fuerza de maniobra armenia ante los RPAS. Los proveedores de RPAS han aumentado significativamente durante los últimos años.

Para hacer frente a esta amenaza emergente, la artillería antiaérea (AAA) dispone de armas convencionales como el sistema Patriot, Nasams, Hawk, Mistral y Cañón 35/90. Sin embargo, estos sistemas no fueron diseñados para combatir los RPAS. Métodos más apropiados para combatir estas nuevas amenazas son las armas de energía dirigida (DEW, por sus siglas en inglés).

En este trabajo mostramos que los medios convencionales de la AAA no son eficaces contra la amenaza dron. Nuestro objetivo final es demostrar que los sistemas DEW son la solución óptima a este problema. Para ello se han estudiado dos tipos diferentes de fuentes DEW favoritas: los láseres de alta potencia (HEL, por sus siglas en inglés) y las microondas de alta potencia (HPM, por sus siglas en inglés).

Las herramientas utilizadas en el estudio de los medios convencionales y los DEW han sido: análisis comparativo de las capacidades operacionales DEW frente a los sistemas convencionales, entrevistas a expertos, con preguntas sobre el entorno operativo y los dos tipos de sistemas, cuestionario a personal de la unidad, seguido de un análisis estadístico de los resultados, análisis DAFO, para recoger los apartados más relevantes de la entrevista, incluyendo un análisis de riesgos, para concluir cuales son los riesgos más relevantes.

Una vez utilizadas estas herramientas, se ha recopilado la suficiente información para concluir que es mejor la adquisición de un prototipo funcional, que un posible desarrollo propio, debido a la falta de tiempo, derivada de ser una necesidad presente y no futura. Además, los sistemas DEW no solo están dedicados al combate dron, sino que se complementarían con los sistemas convencionales para hacer frente a la amenaza de cohetes, proyectiles de artillería y morteros (RAM, por sus siglas en inglés) y misiles balísticos. Finalmente, con toda la información presente, se ha realizado un análisis de decisión multicriterio (AHP) para identificar los medios más afines a las necesidades planteadas, y proponer una posible estructura orgánica DEW, encuadrada dentro del Mando de Artillería Antiaérea (MAAA).

**PALABRAS CLAVE:** DEW: Directed Energy Weapons, AAA: Artillería Antiaérea, DRON, HPM: High Power Microwaves, HEL: High Energy Laser

# ABSTRACT

Remotely Piloted Aircraft Systems (RPAS) are also known as Unmanned Aerial Vehicle (UAV). They are also called drones. RPAS have been used in current wars, such as Nagorno Karabaj because RPAS can do many types of missions and they have a low cost of acquisition. RPAS were essential in this war because they could overcome the Armenian aircraft defence. Consequently, the infantry troops were exposed to the RPAS.

The Anti-Aircraft Artillery (AAA) has several conventional weapons to battle the current army threat. The Spanish weapons systems are Patriot, Hawk, Nasams, Mistral and the 35/90 cannon. However, these systems were not designed to combat RPAS. More suitable weapons systems are Directed Energy Weapons (DEW).

In this memory we show that the conventional weapons systems are not effective against the drone threat. Our final goal is to demonstrate that DEW systems are the solution for this problem. We have studied two different types of sources of DEW: high energy laser (HEL) and high power microwaves (HPM).

The analytic tool used in the study about using conventional weapons systems or DEW have been: Comparative analysis of DEW against conventional systems, interviews with experts about the operating environment and the two types of sources of DEW, questionnaire for the soldiers of the unit, SWOT analysis to collect the most relevant aspects from the interviews and a risk analysis to conclude which are the most relevant risks.

Next, we had enough information to conclude that the best option is the acquisition of a functional prototype instead of developing our own prototype because of a lack of time. In addition, the DEW systems can be used not only for RPAS but they are the perfect complement of the conventional systems. DEW systems can combat rocket, artillery and mortars (RAM) and ballistic missiles. Finally, we have carried out an analytic hierarchy process (AHP) to choose the best type of source of DEW and the best prototype. Moreover, we have suggested a DEW organization in the Command Anti-Aircraft Artillery (MAAA)

**KEYWORDS:** DEW: Directed Energy Weapons, AAA: Anti-Aircraft Artillery, DRON, HPM: High Power Microwaves, HEL: High Energy Laser





## INDICE DE CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. ANTECEDENTES .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2. ARMAS DE ENERGIA DIRIGIDA Y LA FUERZA 2035 .....</b>	<b>3</b>
<b>2. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA .....</b>	<b>4</b>
<b>2.1. OBJETIVOS Y ALCANCE .....</b>	<b>4</b>
<b>2.2. METODOLOGÍA .....</b>	<b>5</b>
<b>3. MARCO TEÓRICO (ESTADO DEL ARTE).....</b>	<b>6</b>
<b>3.1. TIPOS DE AMENAZAS ACTUALES.....</b>	<b>6</b>
<b>3.1.1 Amenaza RAM.....</b>	<b>6</b>
<b>3.1.2 Misiles balísticos.....</b>	<b>6</b>
<b>3.1.3 Drones.....</b>	<b>7</b>
<b>3.2. CLASIFICACIÓN DE LOS DEW ATENDIENDO A SU FUENTE DE ENERGÍA. 10</b>	<b>10</b>
<b>3.2.1 Armas láser de alta potencia.....</b>	<b>10</b>
<b>3.2.2 Armas de haces de radiofrecuencia.....</b>	<b>12</b>
<b>3.2.3 Armas de haces de partículas.....</b>	<b>13</b>
<b>3.2.4 Armas sónicas.....</b>	<b>14</b>
<b>3.3. ESTUDIO DE LOS PROTOTIPOS Y SISTEMAS ACTUALES.....</b>	<b>15</b>
<b>3.3.1 Prototipos de Armas Lasér de Alta Potencia.....</b>	<b>15</b>
<b>3.3.2 Prototipos de Armas de Radiofrecuencia.....</b>	<b>17</b>
<b>3.4. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS SISTEMAS ACTUALES FRENTE A LOS DEW.....</b>	<b>18</b>
<b>4. DESARROLLO: ANÁLISIS Y RESULTADOS.....</b>	<b>22</b>
<b>4.1. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN CUALITATIVA .....</b>	<b>22</b>
<b>4.1.1. Resultados de la entrevista a expertos.....</b>	<b>22</b>
<b>4.1.2. Análisis DAFO .....</b>	<b>26</b>
<b>4.2. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN CUANTITATIVA.....</b>	<b>30</b>
<b>4.2.1. Resultados del análisis estadístico .....</b>	<b>30</b>



<b>5. PROPUESTA DE INCORPORACIÓN .....</b>	<b>36</b>
<b>6. CONCLUSIONES.....</b>	<b>40</b>
<b>7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>41</b>
<b>ANEXO I. Ficha técnica sistemas convencionales de la AAA del ET.....</b>	<b>45</b>
<b>ANEXO II. Grupo de expertos.....</b>	<b>50</b>
<b>ANEXO III. Modelo de entrevista.....</b>	<b>51</b>
<b>ANEXO IV. Modelo de cuestionario.....</b>	<b>52</b>
<b>ANEXO V. Resultados ejercicio C-UAS del RAAA 71.....</b>	<b>54</b>
<b>ANEXO VI. Análisis de riesgos.....</b>	<b>55</b>



## INDICE DE FIGURAS

ILUSTRACIÓN 1: PROYECTIL DE ARTILLERÍA 155 MM. FUENTE: ELRADAR.ES.....	6
ILUSTRACIÓN 2: MISIL ARROW-4. FUENTE: MINISTERIO DE DEFENSA .....	7
ILUSTRACIÓN 3: RAVEN RQ-11B. FUENTE: INFODRON.ES .....	9
ILUSTRACIÓN 4: SEARCHER. FUENTE: INFODRON.ES.....	9
ILUSTRACIÓN 5: MQ-9 PREDATOR B. FUENTE: ABC.ES .....	9
ILUSTRACIÓN 6: HEL TVD. FUENTE: MINISTERIO DE DEFENSA .....	15
ILUSTRACIÓN 7: LW-30. FUENTE: MINISTERIO DE DEFENSA .....	16
ILUSTRACIÓN 8: SILENT HUNTER. FUENTE: MINISTERIO DE DEFENSA .....	16
ILUSTRACIÓN 9: THOR. FUENTE: ARMY-TECHNOLOGY.COM .....	17
ILUSTRACIÓN 10: REX-1. FUENTE: ES.RBTH.COM .....	17
ILUSTRACIÓN 11: BOFORS HPM BLACKOUT. FUENTE: MINISTERIO DE DEFENSA .....	18
ILUSTRACIÓN 12: PREGUNTA A) DEL CUESTIONARIO.....	30
ILUSTRACIÓN 13: PREGUNTA B) DEL CUESTIONARIO .....	30
ILUSTRACIÓN 14: PREGUNTA C) DEL CUESTIONARIO .....	30
ILUSTRACIÓN 15: PREGUNTA D) DEL CUESTIONARIO.....	31
ILUSTRACIÓN 16: PREGUNTA E) DEL CUESTIONARIO .....	31
ILUSTRACIÓN 17: PREGUNTA F) DEL CUESTIONARIO .....	31
ILUSTRACIÓN 18: PREGUNTA G) DEL CUESTIONARIO.....	32
ILUSTRACIÓN 19: PREGUNTA H) DEL CUESTIONARIO.....	32
ILUSTRACIÓN 20: PREGUNTA I) DEL CUESTIONARIO.....	32
ILUSTRACIÓN 21: PREGUNTA J) DEL CUESTIONARIO.....	33
ILUSTRACIÓN 22: PREGUNTA K) DEL CUESTIONARIO .....	33
ILUSTRACIÓN 23: PREGUNTA L) DEL CUESTIONARIO.....	33
ILUSTRACIÓN 24: PREGUNTA M) DEL CUESTIONARIO.....	33
ILUSTRACIÓN 25: PREGUNTA N) DEL CUESTIONARIO.....	34
ILUSTRACIÓN 26: PREGUNTA O) DEL CUESTIONARIO.....	34
ILUSTRACIÓN 27: PREGUNTA P) DEL CUESTIONARIO .....	35
ILUSTRACIÓN 28: PREGUNTA Q) DEL CUESTIONARIO .....	35
ILUSTRACIÓN 29: PREGUNTA R) DEL CUESTIONARIO .....	35
ILUSTRACIÓN 30: CAÑON 35/90 GDF-007. FUENTE: INFOBOE.ES.....	45
ILUSTRACIÓN 31: MBDA MISTRAL. FUENTE: GALAXIA MILITAR.INFORMACIÓN DE DEFENSA Y ACTUALIDAD MILITAR.....	46
ILUSTRACIÓN 32: SAM MIM-23 HAWK. FUENTE: DEFENSA.COM .....	47
ILUSTRACIÓN 33: NASAMS. FUENTE: INFODEFENSA.COM .....	48
ILUSTRACIÓN 34: MIM-104 PATRIOT. FUENTE: LAZARO.ES.....	49



## INDICE DE TABLAS

TABLA 1: CLASIFICACIÓN DRON POR CLASES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA .....	9
TABLA 2: TABLA COMPARATIVA DE LAS CAPACIDADES OPERACIONALES DE LOS SISTEMAS CONVENCIONALES FRENTE A LOS SISTEMAS DEW .....	18
TABLA 3: COSTE DE LA MUNICIÓN PARA CADA PLATAFORMA DE TIRO .....	20
TABLA 4: MATRIZ DE RIESGOS .....	25
TABLA 5: ANÁLISIS DAFO .....	27
TABLA 6: ANÁLISIS DE DECISIÓN MULTICRITERIO SOBRE UN SISTEMA HEL.....	37
TABLA 7: ANÁLISIS DE DECISIÓN MULTICRITERIO SOBRE UN SISTEMA HPM.....	38
TABLA 8: FICHA TÉCNICA CAÑON 35/90. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA .....	45
TABLA 9: FICHA TÉCNICA MBDA MISTRAL. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA .....	46
TABLA 10: FICHA TÉCNICA SAM MIM-23 HAWK. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA .....	47
TABLA 11: FICHA TÉCNICA NASAMS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA .....	48
TABLA 12: FICHA TÉCNICA MIM-104 PATRIOT. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA .....	49



## ABREVIATURAS, SIGLAS Y ACRÓNIMOS

AAA: Artillería Antiaérea.

AHEAD: Advanced Hit Efficiency and Destruction

AHP: Analytic Hierarchy Process

BLOS: Beyond Line of Sight.

Cap: Capitán

CPBW: Charged Particles Beam Weapons.

COMGECEU: Comandancia General de Ceuta.

DAFO: Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades

DEW: Directed Energy Weapons

DIDOM: Dirección de Instrucción, Doctrina, Orgánica y Materiales.

ET: Ejército de Tierra.

EEUU: Estados Unidos

FRE: Free Electron Lasers.

GAAA: Grupo de Artillería Antiaérea.

GF: Guerra Fría.

HALE: High Altitude Long Endurance.

HEL: High Energy Laser.

HELLADS: High Energy Liquid Laser Area Defense System

HEL-TVD: High Energy Laser Tactical Vehicle Demonstrator

HELMTT: High Energy Laser Mobile Test Truck

HPM: High Power Microwaves.

ICBM: Inter-Continental Ballistic Missile.

IEEE: Instituto Español de Estudios Estratégicos.

ISTAR: Intelligence, Surveillance, Target Acquisition and Reconnaissance.

Laser: light amplification by stimulated emission of radiation

LASS: Low Altitude Surveillance System

LOS: Line of Sight.

NB: Narrowband.

NLW: Non-Lethal Weapons.

MADOC: Mando de Adiestramiento y Doctrina.



MALE: Medium Altitude Long Endurance.

MINISDEF: Ministerio de Defensa.

OTAN: Organización Tratado Atlántico Norte

PIB: Producto Interior Bruto

RAAA: Regimiento de Artillería Antiaérea

RAM: Rockets, Arillery and Mortar

RAMIX: Regimiento de Artillería Mixto.

RCS: Sección Recta Radar

RPAS: Remotely Piloted Aircraft System.

SAAA: Sistemas de Artillería Antiaérea.

SEAD: Supression of Enemy Air Defenses.

SIMACET: Sistema de Mando y Control del Ejército de Tierra

Sgto: Sargento.

Tcol: Teniente Coronel.

THOR: Tactical High Power Operational Responder

UAV: Unmanned Aerial Vehicle.

UWB: Ultra Wideband.

USW: Sonic and Ultrasonic Weapons.





# 1. INTRODUCCIÓN

El trabajo realizado tiene su origen en la propuesta del Grupo de Artillería Antiaérea (GAAA II/30), perteneciente al Regimiento de Artillería Mixto Nº 30 (RAMIX 30), encuadrado en la Comandancia General de Ceuta (COMGECEU). Una unidad encargada de la defensa permanente de Ceuta, lo que le hace estar en misión permanente, para lo cual le es necesario disponer de las capacidades y medios más innovadores. De aquí el interés por un arma capaz de combatir a las amenazas aéreas presentes, destacando la amenaza dron dentro de ellas.

El auge de los drones, propiciado por la aparición de nuevos países proveedores, ha hecho que estos se constituyan como la amenaza principal a combatir, principalmente por su bajo coste de adquisición y el amplio abanico de misiones para las que pueden ser empeñados. Actualmente el ET (Ejercito de Tierra) no dispone de medios en dotación capaces de combatir esta amenaza. Consecuentemente los drones se constituyen como la amenaza primordial a combatir. Los sistemas de Energía Dirigida son los medios más afines que permiten combatir esta amenaza. Aunque como ya veremos la efectividad de los DEW no se limita únicamente a esta amenaza. Debemos aclarar que los sistemas aéreos controlados remotamente (RPAS, por sus siglas en inglés) también son conocidos como vehículos aéreos no tripulados (UAV, por sus siglas en inglés). Sin embargo, popularmente, se les denomina drones. En este trabajo se usarán indistintamente las tres definiciones [1-5].

La parte de documentación del trabajo consta de un estudio sobre los tipos de amenazas actuales (RAM, misiles balísticos y drones) y un estudio de las diferentes fuentes de energía dirigida y sus prototipos. Por su parte, la parte de análisis de este trabajo se fundamenta en entrevistas a expertos y cuestionarios al personal del GAAA II/30. El objetivo final es obtener un sistema DEW capaz de hacer frente a la amenaza aérea del presente entorno operativo, basándonos en los resultados obtenidos de estas entrevistas y cuestionarios.

## 1.1. ANTECEDENTES

El disruptivo avance tecnológico está presente en el actual entorno operativo militar. Las diferentes potencias mundiales compiten en la investigación y desarrollo de medios que superen las capacidades de las de otros países para tener un mayor poder armamentístico y militar y obtener así la superioridad en el campo de batalla. Los ejércitos también están pendientes del desarrollo de nuevas tecnologías disruptivas en el ámbito civil que puedan ser empleadas con fines militares.

En nuestro país, la Dirección de Investigación, Doctrina, Orgánica y Materiales del Mando de Adiestramiento y Doctrina del Ejército de Tierra encuadrada en el Ministerio de Defensa (DIDOM, 2020) es la encargada de analizar, desarrollar y adquirir medios que se adapten al entorno operativo actual. En este contexto la DIDOM ha establecido las siguientes directrices al respecto: [2]



- En primer lugar, la evolución hacia un entorno operativo en la que la cooperación será más crucial que nunca, razón por la cual España debe invertir en tecnología para garantizar la interoperabilidad con sus aliados y no quedarse rezagado.
- En segundo lugar, se sitúa como prioridad reducir los daños colaterales especialmente personales.

Respecto al tema particular que nos ocupa, la DIDOM presta atención a los medios DEW, a los que define del siguiente modo en el documento de *Armas de Energía Dirigida* [2]:

"Son aquellas armas que trasportan la energía utilizada para destruir o neutralizar los blancos a través de ondas electromagnéticas o partículas atómicas o subatómicas" (DIDOM, 2020, p.5).

El concepto DEW viene ganando fuerza desde el año 1960. Sin embargo, su desarrollo e integración en la vida militar se ha acelerado debido al grado de madurez tecnológica del entorno operativo actual y más especialmente con el auge de lo que genéricamente se conoce como dron [1]. Ejemplos actuales de esta amenaza son los drones utilizados en los conflictos de Vietnam, Libia, Siria y el Cáucaso, entre otros [6]. En este contexto, cabe destacar la guerra de Nagorno Karabaj por tratarse de un hecho muy reciente y del cual se han extraído numerosas lecciones aprendidas sobre la amenaza dron. [6]

La guerra de Nagorno Karabaj entre Armenia y Azerbaiyán es conocida con el nombre de la *guerra de drones*<sup>1</sup>. La *guerra de drones* ha demostrado la incapacidad de los sensores actuales para detectar RPAS al igual que la precariedad de los medios de AAA ante esta amenaza. Lo anteriormente citado desembocó en un inefectivo control del dominio aéreo, dejando altamente vulnerables a las fuerzas terrestres, especialmente frente al dron turco Bayraktar TB3, por el gran espectro de misiones en las que puede ser empleado. Los RPAS presentan números características a tener en cuenta, pudiendo destacar tres características principales: el bajo coste, la dificultad de detección y el alcance y letalidad de sus armas [6].

Marín Delgado detalla algunas de las lecciones aprendidas sobre la peligrosidad de la amenaza dron: [6]

- Las defensas aéreas deben adaptarse a la amenaza dron desarrollando sistemas de defensa antiaérea capaces de acometer la amenaza.
- Los drones pueden ser utilizados como amenaza multipropósito siendo eficaces en todas ellas y destacando las misiones SEAD (Suppression of Enemy Air Defenses).
- La tecnología dron es mucho más económica que los medios para contrarrestarla.

<sup>1</sup> *Guerra de drones*. El uso de drones por parte de Azerbaiyán neutralizó las capacidades de los sensores y sistemas de armas de AAA armenios quedando las fuerzas de maniobra expuestas ante las aeronaves y RPAS que incorporaban armamento. Consecuentemente, se extrae que la implicación de RPAS en esta guerra fue crucial en la victoria por parte de Azerbaiyán [6].



De todo lo anterior se concluye que los UAV se sitúan como amenaza relevante, cuyo combate supone todo un reto para los ejércitos y sus sistemas de armas convencionales de AAA que no fueron creados para afrontar esta amenaza y, en este sentido, resultan obsoletos (Ver Anexo 1). Razón que ha propiciado que las grandes potencias pongan todo su potencial económico en búsqueda de una solución. Dicha solución, a día de hoy parece estar cercana de la energía dirigida, debido a sus características y capacidades, que veremos en apartados posteriores. En este marco, el MINISDEF, busca una solución factible, barajando las opciones de adquisición propia o la cooperación con organizaciones internacionales, como podría ser la OTAN, dentro del programa *Horizonte 2035* [7].

## 1.2. ARMAS DE ENERGIA DIRIGIDA Y LA FUERZA 2035

El documento *Fuerza 2035*, destaca, basándose en las lecciones aprendidas en conflictos recientes, que el ET cuenta con el ambicioso proyecto *Horizonte 2035*, cuyo objetivo principal es que el personal militar y el material del que este dispone sea suficiente para hacer frente a las amenazas actuales. [7] [8]

Muy importante es analizar el propósito de dicho proyecto para poder saber lo que se espera del ejército de tierra en los siguientes años, qué capacidades hay que desarrollar y qué medios hay que adquirir. Tras analizar el documento aportado por el ET, en el que se exponen las capacidades y medios que integrará la brigada 2035, encontramos que a la defensa antiaérea se le impone la incorporación de tecnologías avanzadas, emergentes y disruptivas. El objetivo final es que los sistemas de mando y control así como los medios tengan una autonomía total. ¿Qué quiere decir esto?

Un avance desde el grado de autonomía tecnológica ‘In the loop’<sup>2</sup> actual, hasta alcanzar para 2035 el grado de autonomía ‘Out of the loop’<sup>3</sup>, algo que hasta hace unos años hubiera parecido inalcanzable, pero que con la velocidad a la que se está desarrollando este cambio tecnológico cada vez parece más cercano.

¿Cómo propone combatir la *Fuerza 2035* la amenaza RPAS?:

- Debe constituirse un sistema de Defensa Antiaérea capaz de neutralizar toda amenaza aérea presente, mediante una defensa de capas en la que todos los sistemas se complementen mutuamente. Este término es conocido en artillería como ‘burbuja de burbujas’ o escudo/célula antiaéreo. Es decir, habría una burbuja del mayor diámetro correspondiente al arma de mayor alcance y en su interior pequeñas burbujas de menor diámetro correspondientes al resto de armas.
- La Defensa Antiaérea debe ser capaz de batir RPAS de tipo I (*micro*, *mini* y *small*). Para ello, utilizará, además de los sistemas convencionales, sistemas de energía dirigida o de interferencia electromagnética.

<sup>2</sup> ‘In the loop’: grado de autonomía actual en el cual las personas están permanentemente monitorizando la operación y a cargo de las decisiones críticas. Consultado en: Fuerza 2035, Ejército de Tierra (2019).

<sup>3</sup> ‘Out the loop’: grado de autonomía en el cual los medios y sistemas comenzaran a llevar a cabo la misión, sin intervención humana, una vez lanzada la misión. Consultado en: Fuerza 2035, Ejército de Tierra (2019).



## 2. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

### 2.1. OBJETIVOS Y ALCANCE

El objetivo principal de esta memoria es demostrar que los medios actuales de AAA del ET no están preparados para combatir la amenaza dron y que los sistemas DEW son la solución al problema. Como objetivos secundarios, que nos permitirán cumplir con el objetivo principal, se encuentran los siguientes:

- Demostrar que el apogeo de tecnologías emergentes disruptivas ha propiciado que los medios actuales de AAA del ET queden obsoletos ante la amenaza dron.
- Demostrar que la amenaza dron se erige como la más peligrosa si la comparamos con las amenazas RAM o misil balístico o de crucero, al no poseer medios eficaces contra la misma.
- Estimar las capacidades de los medios convencionales de la AAA en dotación (MBDA Mistral, Cañón 35/90 GDF 01, Actualización Cañón 35/90 GDF 03, MIM-23 Hawk, NASAMS misil AIM-120 AMRAAM, MIM-104 Patriot). (Ver anexo I)
- Evaluar las diferentes soluciones que ofrecen los DEW frente a las amenazas de ataques con drones.
- Comparar las capacidades operacionales de los sistemas actuales de la AAA frente a los DEW.
- Seleccionar el tipo de fuente DEW que mejor se adapte a las necesidades del entorno operativo.
- Desarrollar una posible estructura orgánica DEW.

No se ha considerado el estudio de las posibilidades DEW frente a amenazas del tipo aeronave de ala fija o rotatoria, debido a los siguientes aspectos:

- Los medios DEW no se consideran eficaces a día de hoy frente a estas amenazas.
- Se ha considerado que esta amenaza puede ser combatida de forma efectiva por los sistemas convencionales.



## 2.2. METODOLOGÍA

La metodología empleada en este trabajo, incluye tanto métodos cualitativos como cuantitativos.

Inicialmente, se ha realizado una revisión bibliográfica de manuales y documentos tanto civiles como militares con el objeto de obtener los primeros conocimientos sobre la materia. Cabe destacar los documentos (1) ETTM 20/03 Armas de Energía Dirigida Generalidades Láser [9] y (2) ETTM 20/05 Armas de Energía Dirigida Radiofrecuencia, Haces de Partículas, Sónicas [10]. Ambos documentos han sido redactados por la DIDOM. Estos dos documentos, junto con fuentes hemerográficas como son *global-strategy.org* y *ejercito.defensa.gob.es*, han permitido extraer capacidades, características, posibles programas y prototipos de DEW. Asimismo, han sido muy útiles los manuales de las piezas de AAA publicados por la DIDOM, los cuales han permitido conocer sus características y capacidades. Para el estudio de los drones y lecciones aprendidas sobre ellos, se han utilizado los artículos publicados por el IEEE. Además, se han consultado diversas fuentes sobre el entorno operativo futuro, destacando la publicación *Fuerza 2035* del Ejército de Tierra [8] y la publicación *Horizonte 2035* del IEEE [7].

Una vez recogida toda esta información, se han analizado con más profundidad las capacidades y limitaciones de los medios actuales ante las amenazas actuales RAM, misiles balísticos y, en especial, la amenaza dron. Para ello se han consultado además de los manuales al personal del escalón de mantenimiento del GAAA II/30 del RAMIX 30, así como a los jefes de cada batería de armas.

Con el objetivo de conocer si el personal de la unidad había oído hablar con anterioridad de los sistemas DEW, así como su opinión sobre los mismos y la opinión sobre los medios actuales, se ha realizado un cuestionario con preguntas genéricas (Ver Anexo IV). Dicho cuestionario recoge la opinión de 16 usuarios, pertenecientes a las escalas de oficiales, suboficiales y tropa. A la misma vez que se ha realizado el cuestionario anterior y, con el objetivo de profundizar más en la opinión sobre los DEW y los medios actuales, se han realizado entrevistas a un grupo de expertos, un total de 5 oficiales (Ver anexo II), pertenecientes al Grupo de Artillería Antiaérea de Ceuta (GAAA II/30). Las entrevistas se han realizado principalmente de forma presencial siguiendo el modelo que se adjunta en el anexo III. No obstante, no siempre se ha seguido este guion, sino más bien se ha abierto un dialogo en el que se han intercambiado conocimientos y opiniones.

Seguidamente, se ha realizado un análisis estadístico de los resultados obtenidos en el cuestionario con el objetivo de ver de una forma gráfica y representativa dichos resultados. Además, para resaltar los aspectos más relevantes de la entrevista, se ha confeccionado un análisis DAFO. Una vez obtenido el análisis estadístico y el DAFO, se han adquirido los aspectos más importantes a considerar a la hora de elegir un prototipo y un tipo u otro de fuente DEW. Para ello y junto con la información anterior, se ha realizado un análisis de decisión multicriterio (AHP) que determina el prototipo que debería adquirir el ET para ser más afín al entorno operativo actual, guiándonos por el estudio realizado previamente.



### 3. MARCO TEÓRICO (ESTADO DEL ARTE)

#### 3.1. TIPOS DE AMENAZAS ACTUALES

El ET se encuentra dentro de un entorno operativo en la que la amenaza aérea ha ido evolucionando hacia medios cada vez más difíciles de detectar y combatir. En este apartado se van a describir las tres amenazas a las que aspira ser capaz de combatir la AAA del ET, además de las aeronaves de ala fija y ala rotatoria, que como se dijo en el apartado de objetivos no han sido estudiadas para este caso en particular. Las amenazas analizadas son: amenaza RAM, misiles balísticos y drones [1,5]. Asimismo, se anotará si hay algún sistema en dotación presente en la AAA del ET pensado para combatir esta amenaza.

##### 3.1.1. Amenaza RAM

La amenaza de cohetes, artillería y morteros (RAM, por sus siglas en inglés), hace referencia a los cohetes, los proyectiles de artillería como el 155 mm de la Ilustración 1, y las granadas de mortero así como a sus respectivas plataformas de tiro: lanzacohetes, obuses/cañones, y morteros.

Detectar la munición de tamaño muy reducido cuando se mueve a gran velocidad constituye el mayor riesgo de esta amenaza. Esta amenaza se combate con radares con una rápida capacidad de respuesta y alta carencia, capaces de alertar de forma temprana sobre los proyectiles que se desplazan a velocidades elevadas. Para hacer frente a esta amenaza, España tiene en dotación el sistema Cañón 35/90 en sus dos versiones GDF-001 y GDF-007. No obstante, la velocidad de los proyectiles de artillería puede suponer un gran reto para la versión GDF-001, pese a poseer capacidad C-RAM. Sin embargo, la versión GDF-007 tiene capacidad para lanzar munición AHEAD, una munición inteligente que permite graduar la espoleta de forma automática y la subdivisión del proyectil en 152 fragmentos de tungsteno, aumentando la posibilidad de derribo contra munición RAM. [1] [4] [11] [16] [17]



Ilustración 1: Proyectil de artillería 155 mm. Fuente: elradar.es

##### 3.1.2. Misiles balísticos

Los misiles balísticos con cabezas nucleares cobraron especialmente fuerza durante la Guerra Fría (GF). Ejemplo de ello son los misiles balísticos intercontinentales (ICBM, por sus siglas en inglés, con cabezas termonucleares). A pesar de los tratados de Reducción de Armas Estratégicas (STARTIII, por sus siglas en inglés) [19], y el actual Tratado sobre la prohibición de las armas nucleares aprobado



el 22 de enero de 2021 [20], estas armas han seguido evolucionando y son usadas por los países como medio disuasorio. Su desarrollo tiene como principal objetivo rebasar las capacidades del escudo de las defensas aéreas de los diferentes países, lo que obliga los Sistemas de Artillería Antiaérea (SAAA) a estar en constante mejora. A continuación se exponen algunos peligros relevantes de este tipo de armas: [1] [18]

- Los misiles balísticos son difíciles de combatir debido a que pasan gran parte de la trayectoria fuera de la atmósfera, durante la fase balística, como se puede apreciar en la Ilustración 2. Solo regresan a la atmósfera durante su fase terminal.
- Durante su fase terminal son capaces de modificar su trayectoria.
- Pueden incorporar varias cabezas de guerra, con fines multiobjetivo.
- Estas armas resultan relativamente baratas en comparación con el impacto que pueden causar.

Para hacer frente a esta amenaza, España tiene en dotación el sistema americano MIM-104 Patriot, actualmente desplegado en la misión A/T en apoyo a Turquía. [15] [21]. Este sistema posee un alcance y una aceleración limitada en su fase terminal, lo que deriva en una reducción de la eficacia de este sistema. Por estas razones, el combate con los SAAA actuales puede resultar altamente inefectivo. Los medios DEW pueden ser una posible solución al tratarse de sistema cuya velocidad es equivalente a la de la luz con un alcance teóricamente infinito.



Ilustración 2: Misil Arrow-4. Fuente: Ministerio de Defensa

### 3.1.3. Drones

El término dron es el más conocido en el ámbito civil para referirse a una aeronave no tripulada. Sin embargo, la descripción rigurosa de tales dispositivos se corresponde con las siguientes definiciones: [38]

- UAV (Unmanned aerial vehicle, por sus siglas en inglés): término utilizado para referirse a aquellas aeronaves no tripuladas, indistintamente de si hay o no conexión directa entre la aeronave y la estación de tierra. Si nos referimos al conjunto de elementos que forman parte del proceso de pilotado de un UAV utilizaremos el término UAS. El acrónimo UAS (Unmanned Aerial System, por sus siglas en inglés) se refiere a la aeronave (UAV) sumado a los medios que permiten su pilotaje: la estación de tierra y el sistema que permite la conexión entre ambos.



- RPA (Remotely Piloted Aircraft, por sus siglas en inglés): término que hace referencia a cualquier aeronave no tripulada en la que no existe una conexión directa entre la aeronave y la estación tierra. Es decir, el RPA ha sido programado antes de su lanzamiento para ser empleado en alguna labor, no siendo necesario su posterior pilotaje durante la misión encomendada. Si nos referimos al conjunto de elementos que constituyen este proceso utilizaremos el término RPAS. El acrónimo RPAS (Remotely Piloted Aircraft System, por sus siglas en inglés) se refiere al RPA en conjunto con el medio que permite su programación anterior al vuelo.

Los UAV representan una amenaza actual por los siguientes motivos [1] [2] [8]

- El aumento de distribuidores ha permitido la proliferación de los drones a precios muy económicos en comparación con los medios para combatirlos.
- Pueden realizar un amplio abanico de misiones, destacando principalmente las misiones de inteligencia, vigilancia, adquisición de objetivos y reconocimiento (ISTAR, por sus siglas en inglés). También pueden incorporar armamento y realizar ataques tanto materiales como personales. Esta última se presenta como la más peligrosa y, por tanto, debe ser la primera a tener en cuenta. La conclusión obtenida es que un dron es una amenaza con capacidad multipropósito.
- Permiten una reducción del personal expuesto al fuego enemigo ya que, en caso de derribo del dron, solo se sufren daños materiales.
- Siguen en constante evolución, mejorando sus prestaciones tácticas y técnicas.
- Esta tecnología tiene la capacidad de actuar en masa, lo que es conocido como *ataque enjambre*<sup>4</sup>, superando todas las defensas antiaéreas, que se ven desbordadas ante esta amenaza, incapaces hasta el momento de hacer frente a este ataque [22].

A continuación, para un mejor conocimiento de la amenaza dron, se va exponer la clasificación actual del documento *Plan Director de RPAS* de la DGAM (Dirección General de Armamento y Material) [23] y el reportaje *Volar con los pies en el suelo* de la Revista Española de Defensa [24]. Además, se van a exponer una serie de ejemplos de RPAS que actualmente están en dotación en las FAS o que están pendientes de compra en el próximo año. Muchos de estos, además, ya han desplegado en operaciones internacionales. Debemos aclarar que la clasificación está realizado a partir del peso de los RPAS, por lo cual las velocidades son aproximadas o referidas a los ejemplos citados. Se adjuntan tres ilustraciones, 3, 4 y 5, una para cada clase.

<sup>4</sup> *Ataque enjambre*: "Concepto referido al conjunto de drones, que actúan de manera agrupada y cohesionada, al mismo tiempo para conseguir unos fines determinados". Camacho. J. (2018).

**Estrategias de ataque y defensa de enjambres de drones heterogéneos.** Trabajo Fin de Grado. Universidad Politécnica de Madrid.



Tabla 1: Clasificación dron por clases. Fuente: Elaboración propia

CLASE	CATEGORÍA	EMPLEO	ALTURA	VELOCIDAD DE CRUCERO	RADIO	EJEMPLOS EN FAS
Clase 1 (<150 kg)	Micro (<66 J)	Subunidad táctica	< 2000 ft	20 nudos	5 km, LOS <sup>5</sup>	Wasp AE-EA
	Mini (< 15 kg)	Subunidad táctica	<3000 ft	Entre 20-57 km/h	25 km, LOS	RAVEN RQ-11B (Ilustración 3)
	Small (15-150 kg)	Unidad táctica	<5000 ft	111 km/h	50 km, LOS	Saident
Clase 2 (150-600 kg)	Táctico	Formación táctica	<10000 ft	198 km/h	200 km, LOS	SEARCHER (Ilustración 4), MKII, PASI
Clase 3 (>600 kg)	MALE (Medium Altitude Long Endurance)	Operacional	<45000 ft	130-165 km/h	Ilimitado, BLOS <sup>6</sup>	MQ-1 Predator A
	HALE (High Altitude Long Endurance)	Estratégico	< 65000 ft	650 km/h	Ilimitado, BLOS	Global Hawk
	Ataque	Estratégico/Operacional	< 65000 ft	313 km/h	Ilimitado, BLOS	MQ-9 Predator B (Ilustración 5)



Ilustración 3: RAVEN RQ-11B. Fuente: infodron.es



Ilustración 4: SEARCHER. Fuente: infodron.es



Ilustración 5: MQ-9 Predator B. Fuente: abc.es

<sup>5</sup> LOS: Line of Sight: Para el control del UAV, es necesaria la línea de visión entre piloto-objetivo.

<sup>6</sup> BLOS: Beyond Line of Sight. Para el control del UAV no es necesaria la línea de visión entre piloto-objetivo. Control mediante cámara remota.



### 3.2. CLASIFICACIÓN DE LOS DEW ATENDIENDO A SU FUENTE DE ENERGÍA

En esta apartado se van a clasificar los distintos tipos de DEW existentes actualmente atendiendo a la fuente de energía que utilizan dichos sistemas. En la actualidad, se están desarrollando diferentes fuentes de energía capaces de satisfacer los requisitos a los que aspiran estos sistemas. Entre las más destacadas se encuentran los láseres de alta potencia (HEL, por sus siglas en inglés), microondas de alta potencia (HPM, por sus siglas en inglés), haces de partículas (CPBW, por sus siglas en inglés) y armas sónicas (USW, por sus siglas en inglés).

A continuación, se van a exponer las características de cada una de las armas anteriormente citadas. Se va a hacer especial hincapié en las dos primeras por ser las avanzadas en términos científicos, además de ser menos complejas que las armas de haces de partículas al estar todavía estas en fase de investigación. Por su parte, las armas sónicas, debido a su limitado alcance, no son tan interesantes como arma DEW en los sistemas de defensa antiaérea.

#### 3.2.1. Armas láser de alta potencia

El documento de Armas de Energía Dirigida, publicado por la DIDOM, define el arma laser (light amplification by stimulated emission of radiation) del siguiente modo. [2] [4] [25]

“Son dispositivos que utilizan un efecto de la mecánica cuántica, la emisión inducida o estimulada de fotones, para generar un haz de luz monocromática, coherente espacial y temporal en una dirección concreta”. (DIDOM, 2020, p.7).

Los prototipos de armas láser de alta potencia diseñados o fabricados hasta el momento cuentan con: [14]

- Una fuente de alimentación para generar la energía.
- Un sistema de almacenamiento de la energía.
- Un emisor laser, de tamaño variable según efectos, que determine la potencia y la longitud de onda.
- Un sistema procesador del haz para estabilizar el haz.
- Un dispositivo óptico para formar y enfocar el haz.
- Un sistema de puntería y control que dirija el haz hacia el objetivo.
- Radares que detecten la posición enemiga en el espacio aéreo.

Además, son varias las materias primas que se pueden utilizar para la fabricación de este tipo de tecnología. Dependiendo del material utilizado para generar los fotones los láseres se clasifican en: [9]

- Químicos de gas.



- Químicos líquidos.
- De estado sólido.
- De semiconductores: no son útiles para su desarrollo como DEW debido a que no están diseñados para generar una gran cantidad de energía. Son utilizados como armas láser no letales (NLW, por sus siglas en inglés)
- De electrones libres.

Una vez estudiados los tipos de HEL presentes, el siguiente paso es definir sus posibilidades y debilidades atendiendo al objetivo sobre el que presentan una mayor eficacia: [2] [9]

- Si el objetivo es un misil balístico a cientos de kilómetros, necesitamos mayor energía para combatirlo. Las dos opciones que se plantean son: utilizar láseres químicos o láseres de electrones libres (FRE, por sus siglas en inglés). Sin embargo, los primeros necesitan de complejos sistemas de energía química y los segundos son demasiados grandes ya que todavía están en desarrollo.
- Si se trata de objetivos tipo RAM o RPAS, especialmente si son de clase I (*micro, mini o small*), la mejor opción reside en la utilización de láseres de estado sólido. Las ventajas que representan estos es que permiten un menor tamaño del generador, por lo que a día de hoy son los que más cercanos están en la implementación para usos militares. Al tratarse de prototipos más portátiles se constituyen como la opción más atractiva, especialmente si se trata de RPAS de clase I.

A continuación, se van a exponer los principales retos que supone el desarrollo de armas láser de alta potencia: [2] [9]

- El principal reto de estos sistemas es conseguir una fuente de alimentación capaz de proporcionar la energía deseada, así como un sistema de almacenamiento capaz de soportar la elevada potencia generada.
- El segundo reto, más factible de solucionar que el primero, consiste en equilibrar, según efectos deseados, los tres factores que intervienen en la propagación del haz: la potencia, la longitud de onda y el tamaño óptico. Por ejemplo, si reducimos la longitud de onda, se reduce la potencia necesaria así como el tamaño del espejo óptico a utilizar, aunque el láser será más sensible a las turbulencias atmosféricas. Tampoco es posible aumentar la potencia indefinidamente, ya que si aumentamos la potencia a una determinada longitud de onda, en la que se alcanza el "nivel de potencia crítico", mayor es la degradación del haz y, por tanto, menor es la energía incidente sobre el objetivo.
- El tercer reto o problema está referido a la efectividad y es dependiente de la naturaleza del objetivo y de la distancia al mismo. Para conseguir unos efectos deseados es necesario analizar al objetivo de forma independiente, para determinar la potencia necesaria. No se necesita la misma potencia para derribar un objetivo RAM a 2 km que un misil balístico a cientos de kilómetros.

Finalmente hay que tener en cuenta una serie de factores atmosféricos que producen la atenuación del haz del láser y que deben ser compensados. Los principales son: [1]



- Absorción producida por las partículas en la atmósfera. Este es un efecto que produce una reducción de la radiación del haz.
- Dispersión del haz en todas direcciones producida por partículas de polvo, o de otro tipo, en suspensión.
- Las turbulencias provocadas por los cambios del índice de refracción del aire, dependientes a su vez de la temperatura y densidad de la atmósfera, provocan deformaciones del haz.
- La dispersión térmica producida por el propio calor que desprende el haz provoca una distorsión del láser.

Si se consigue hacer frente a los retos anteriores, estas armas podrían hacer frente a un amplio espectro de amenazas. Para ello es necesario regular la potencia del sistema y compensarla frente a los factores atmosféricos, según objetivo y efectos deseados. Es por ello que es tan interesante el estudio de estas armas para el ámbito militar.

### 3.2.2. Armas de radiofrecuencia

El documento de Armas de Energía Dirigida, publicado por la DIDOM, da la siguiente definición sobre la armas de radiofrecuencia: [2]

“Son aquellas que emplean una emisión direccional de radiofrecuencia de alta energía, con frecuencias ubicadas en el rango de las microondas (de 300MHz a 300GHz). Son también conocidas como Armas de Microondas”. (DIDOM, 2020, p.7).

Aunque todavía se están desarrollando como DEW, se han utilizado para dañar los componentes electrónicos enemigos mediante calentamiento y estimulación eléctrica.

Hay varios tipos de armas de radiofrecuencia. Sin embargo, las más útiles por sus capacidades e implementación militar son las microondas de alta potencia (HPM), por lo que el estudio de este apartado se va a centrar en las mismas.

En primer lugar, enumeraremos los componentes que suelen incluir estos sistemas, ya sea para un diseño conceptual o un prototipo real: [10]

- Una fuente de alimentación para generar la energía.
- Un sistema de almacenamiento de la energía
- Un conversor de energía eléctrica en energía de microondas.
- Un modulador para pulsar la onda.
- Un sistema de puntería y control que dirija el haz hacia el objetivo.
- Radares que detecten la posición enemiga en el espacio aéreo.



Ya que el estudio se centra en los HPM, se van a exponer los tipos y características de los dos tipos existentes: [2] [10]

- HPM de banda estrecha (NB, por sus siglas en inglés): son las que mayor potencia generan, las que mejor se propagan y las que menos probabilidad tienen de dañar los sistemas amigos; sin embargo, son muy vulnerables a las contramedidas electrónicas enemigas.
- HPM de banda ancha (UWB, por sus siglas en inglés): tienen menor potencia y por ende menor alcance; sin embargo, son mayores los usos para los que se pueden utilizar.

Al igual que con los láseres de alta potencia, la potencia a utilizar depende de las características del objetivo y la distancia al mismo así como de los efectos a conseguir. También es muy importante considerar el tiempo de iluminación según efectos deseados, ya que, para un mayor tiempo de iluminación, mayores son los daños causados en el objetivo. Además, hay que tener en cuenta el ancho de banda del pulso ya que es inversamente proporcional a la potencia.

Siguiendo con el estudio de los daños que pueden producir estas armas en el enemigo, se va a definir una clasificación según los efectos provocados en el objetivo: [1]

- Upset: solo se producen efectos en el objetivo durante la duración del tiempo de iluminación.
- Lock-up: al igual que el upset, solo se producen efectos durante el tiempo de iluminación; sin embargo, es necesario reiniciar el sistema.
- Latch-up: provoca daños permanentes tras el tiempo de iluminación, principalmente en semiconductores.
- Burnout: las altas temperaturas funden componentes del sistema quedando este inutilizable.

### 3.2.3. Armas de haces de partículas

Según el documento de Armas de Energía Dirigida, publicado por la DIDOM las armas de haces de partículas se definen como: [2]

“Usan un haz de alta energía de partículas atómicas o subatómicas en una dirección determinada para dañar un objetivo afectando su estructura atómica o molecular. Este haz es acelerado mediante equipos aceleradores hasta velocidades cercanas a la luz”. (DIDOM, 2020, p.7).

Aunque a día de hoy los prototipos son solo conceptuales, en la teoría cuentan con los siguientes componentes:

- Una fuente de alimentación eléctrica.
- Un acelerador de partículas.
- Un sistema de puntería y control que dirija el haz hacia el objetivo.



- Radares que detecten la posición enemiga en el espacio aéreo.

Debido a la gran fuente de energía que podrían proporcionar este tipo de armas, los efectos sobre las plataformas enemigas podrían ser determinantes, dejando totalmente inutilizable el objetivo enemigo. Algunos de los efectos que podrían producir estas armas son:

- Derretir la superficie del objetivo debido a la alta temperatura de las partículas aceleradas.
- Explosión de componentes cuando el número de partículas es muy grande.
- Provocar daños por radiación.

Finalmente, cabe decir que actualmente se está investigando en dos tipos de dispositivos: armas de aceleradores de partículas y armas de plasma. No se ha entrado en detalle ya que, a pesar de ser las que mejores características podrían aportar (son las que mayor energía pueden proporcionar, además de ser todo tiempo al no verse afectadas por nubes o nieblas), no se ha podido profundizar más en su desarrollo. El desarrollo material de este tipo de armas resulta un reto con horizonte futuro lejano debido a que este tipo de armas no son aptas para ser desarrollados con las tecnologías actualmente conocidas, además de suponer un gran coste en comparación con el resto de DEW.

### 3.2.4. Armas sónicas

Lo primero de todo es conocer la definición que da la DIDOM en el documento Armas de Energía Dirigida: [2]

“Son las que se basan en la propagación direccional de ondas mecánicas generadas por el movimiento vibratorio de un cuerpo, sean audibles o no, a través del aire”. (DIDOM, 2020, p.7).

En este apartado solo se va a hacer referencia a las armas ultrasónicas y sónicas (USW, por sus siglas en inglés), como posible opción DEW no letal. Este tipo de armas pueden causar daños permanentes e incluso la muerte al enemigo.

La principal limitación de estas armas reside en poder agrupar las ondas en un haz omnidireccional. Los cañones de sonido disponibles actualmente son usados en distancias cortas, con un máximo de 1,2 km. Por ejemplo, son usados por la policía como control de masas. Es por su limitado alcance y efectos por los que no son tan interesantes como el resto de tipos anteriormente citados para su uso como DEW en los sistemas de artillería antiaérea.



### 3.3. ESTUDIO DE LOS PROTOTIPOS Y SISTEMAS ACTUALES

En este apartado se van a exponer los prototipos más afines a las necesidades de la artillería española y su entorno operativo. Solo tendremos en cuenta los prototipos del tipo HEL y HPM por ser los más desarrollados hasta el momento. Al tratarse de una tecnología tan moderna, los datos que tenemos de los sistemas son limitados.

#### 3.3.1. *Prototipos de Armas Láser de Alta Potencia*

##### **High Energy Liquid Laser Area Defense System (HELLADS)**

Se trata de un sistema HEL fabricado por la empresa estadounidense DARPA, desarrollado a partir del 2003. Su primer prototipo fue presentado en 2013. El sistema permitirá alcanzar una potencia de 150 kW y está pensado para hacer frente a amenaza RAM y misiles tierra-aire. La principal ventaja de este sistema es que aspira a reducir 10 veces el peso que suelen tener los sistemas HEL, lo que permitirá que pueda ser incorporado a aviones de ala fija, bombarderos e incluso UAV. El objetivo final es conseguir un sistema de unos 2 o 3 m<sup>3</sup> y un peso de 750 kg. A día de hoy se ha conseguido obtener una potencia máxima de 75 kW en una estación tierra y se espera llegar a los 150 kW en los próximos años. Todas estas características y capacidades hacen muy atractivo al sistema. Además, lo está desarrollando un país socio de la OTAN. Actualmente no hay imágenes disponibles de este sistema. [26]

##### **High Energy Laser Tactical Vehicle Demonstrator (HEL TVD)**

Se trata también de un sistema HEL, de tipo sólido, fabricado por los EEUU, concretamente por la empresa Dynetics. A pesar de ser un sistema de 100 kW, su tamaño es reducido, lo que le permite ser integrado sobre una plataforma 6x6. Es un sistema de gran movilidad que rompe con el concepto de esteticidad que se le atribuye a los sistemas HEL. Su versión final está prevista para 2022 y aspira a combatir amenazas del tipo RAM, helicópteros y aeronaves de ala fija y RPAS. A día de hoy se han desarrollado prototipos funcionales, cuya eficacia ya ha sido demostrada contra amenaza RAM, concretamente contra morteros y RPAS de clase II. Al igual que el HELLADS, es un sistema muy atractivo al ser desarrollado por un país aliado. [9] [27]



Ilustración 6: HEL TVD. Fuente: Ministerio de Defensa



### Láser antiaéreo LW-30

Se trata de un arma láser china, montada sobre una plataforma 6x6. Se desconoce el tipo de laser que utiliza. Se trata de una copia mejorada de la plataforma estadounidense Oshkosh, High Energy Laser Mobile Test Truck (HELMTT). Se trata de un sistema de defensa láser de baja altitud (LASS, por sus siglas en inglés), cuyo objetivo es hacer frente a las aeronaves de ala fija, tanto tripuladas como no, misiles y amenaza RAM. El alcance efectivo hasta el momento es de 25 km. Estos datos son provisionales ya que se encuentra en fase de desarrollo. [9] [28]



Ilustración 7: LW-30. Fuente: Ministerio de Defensa

### SILENT HUNTER

Se trata de un sistema HEL fabricado por la empresa Poly Technologies, de origen chino.

Integra un láser de fibra óptica, cuya potencia oscila entre los 30 y 100 kW, y actualmente alcanza una distancia de 4 km. No se le atribuye una amenaza concreta. Sin embargo, los resultados en diferentes ensayos han sido fascinantes, ya que ha sido capaz de cortar acero de 5 mm a una distancia de 1 km, por lo que puede ser idóneo para combatir amenazas RAM y aviones a baja altura. Como desventajas principales destaca el elevado peso que reduce su movilidad. Sin embargo, se ha podido integrar sobre una plataforma 6x6. Este sistema supone una mejora con respecto a los sistemas LASS, también de origen chino. [9]



Ilustración 8: Silent Hunter. Fuente: Ministerio de Defensa



### 3.3.2. *Prototipos de Armas de Radiofrecuencia*

#### **Tactical High Power Operational Responder (THOR)**

Es un sistema de respuesta operativa táctica de alta potencia, desarrollado por EEUU con el objetivo de hacer frente al ataque de enjambres de drones y dar protección inmediata a las bases. El prototipo final de esta tecnología está previsto para finales de 2023 o principios de 2024. El prototipo actual está siendo sometido a mejoras en el laboratorio de investigación de la USAF para reducir los daños colaterales y va embarcado en un contenedor de 6 metros. [29] [30]



Ilustración 9: THOR. Fuente: [army-technology.com](http://army-technology.com)

#### **REX-1**

Se trata de un fusil portátil radioelectrónico fabricado por la empresa rusa Kaláshnikov. Actualmente es utilizado por las fuerzas y cuerpos de seguridad rusos, como si de un fusil convencional se tratase debido a su alta movilidad.

Se desconoce la distancia a la que puede hacer frente a RPAS. Fue presentado en 2017 como arma no letal (NLW), por su limitada potencia, pudiendo ser usada sin someterse a las numerosas restricciones vigentes sobre otros tipos de HPM. Se han apreciado dos reacciones a su uso por parte de los UAV: vuelven al punto de partida o aterrizan al perder la señal remota. Finalmente cabe destacar que este fusil es capaz de inutilizar explosivos que se activen vía móvil. [31] [32]



Ilustración 10: REX-1. Fuente: [es.rbth.com](http://es.rbth.com)

#### **BOFORS HPM BLACKOUT**

Se trata de un sistema portátil HPM fabricado por la empresa británica BAE Systems y Bofors. Está clasificado como NLW, debido a su limitada potencia y fue originalmente creado para destruir componentes



electrónicos comerciales. Con el desarrollo de la tecnología RPAS y viendo las posibilidades que ofertaba, se usa actualmente contra UAV. Destaca su capacidad de desarrollar una alta potencia de varios GW. [10]



Ilustración 11: Bofors HPM Blackout. Fuente: Ministerio de Defensa

### 3.4. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS SISTEMAS ACTUALES FRENTE A LOS DEW

En este apartado se va a realizar un análisis comparativo de las capacidades operacionales de los sistemas actuales frente a los DEW, en el contexto de la defensa aérea. [1] [5]. Para ello, se ha realizado una tabla resumen comparativa que pretende orientar al lector acerca de las capacidades ofertadas tanto por los sistemas convencionales como los DEW. Las capacidades operacionales analizadas son: discreción, precisión, letalidad, velocidad, distancia, economía por disparo, logística, exposición a contramedidas y capacidad multiamenaza.

Tabla 2: Tabla comparativa de las capacidades operacionales de los sistemas convencionales frente a los sistemas DEW

CAPACIDADES OPERACIONALES	SISTEMAS CONVENCIONALES	SISTEMAS DEW
DISCRECIÓN	Condicionada por el estampido	Detección infrarroja
PRECISIÓN	Depende del sistema de armas	Proceso de puntería muy preciso
LETALIDAD	No poseen variabilidad potencial	Poseen variabilidad potencial
VELOCIDAD	Depende del sistema de armas y de la munición	Velocidad de la luz
DISTANCIA	Depende del sistema de armas	Ilimitada para los usos previstos
ECONOMÍA POR DISPARO	Coste de cada proyectil	Determinada por la potencia total acumulada (mucho más barata que los proyectiles convencionales)
LOGÍSTICA	Necesidad de medios de suministro y reposición de munición	Se reduce al sistema EDW y reposición de baterías
CONTRAMEDIDAS	Expuesto	Expuesto
MULTIAMENAZA	No poseen esta capacidad	Poseen esta capacidad



### Discreción

Cuando se realiza un disparo de artillería, se crea una fuente de calor fácilmente identificable con cámaras térmicas que operan en la ventana del espectro infrarrojo, lo que puede suponer un grave riesgo al delatar nuestra posición. Este problema lo comparten también los sistemas de energía dirigida. Sin embargo, la detección acústica a que están expuestos los sistemas convencionales debido al gran estruendo en el lanzamiento y durante su trayectoria no afecta a los sistemas de energía dirigida porque son prácticamente silentes. La energía electromagnética radiada tampoco es visible por el ojo humano al emitirse por encima y por debajo del espectro visible.

### Precisión

La precisión es probablemente una de las mayores ventajas operacionales con respecto a los sistemas convencionales. Hay que tener en cuenta que el uso de DEW, permite ahorrar el cálculo de la trayectoria, aumentando por tanto la precisión, debido a que el haz viaja a la velocidad de la luz. Además de lo anterior, cuando hablamos de energía dirigida nos referimos a un haz direccionado capaz de realizar daños quirúrgicos en un punto concreto del objetivo, lo que nos permite elegir el punto de impacto deseado según los efectos a conseguir, desde la supresión hasta la destrucción de la amenaza.

Siguiendo con el apartado de precisión y planteando un escenario de combate entre dos aeronaves, el uso de los sistemas actuales podría poner en peligro la vida del piloto amigo y provocar el fraticidio. Sin embargo, con los DEW y su formidable precisión su uso no sería descabellado.

### Letalidad

Poder regular la potencia los DEW nos permite elegir el grado de letalidad deseado sobre el enemigo. Los DEW pueden causar la destrucción (entendido como el mayor grado letal) por impacto de un misil o amenaza RAM, como los sistemas convencionales, y, a diferencia de estos últimos, también permiten elegir entre destruir una amenaza UAV o solo causar su supresión mediante daños disruptivos que neutralicen a la aeronave y la obliguen a aterrizar. Esta flexibilidad en la letalidad de los efectos representa una ventaja evidente sobre los sistemas convencionales.

Así lo señala el Dr. Markus Jung, jefe del área de Tecnología e Innovación de Rheinmetall Defence y experto en la materia de energía dirigida [33]:

"Con láseres de 20 kW es posible cegar sensores optrónicos a distancias de entre 5 y 10 kilómetros o combatir drones a 3 kilómetros de distancia"; sin embargo, para hacer frente a la amenaza RAM "es necesario contar con láseres de 100 kW, ya que se requiere concentrar una gran potencia en muy poco tiempo para que la neutralización sea efectiva" (Markus Jung, 2016).

La gradualidad en los HEL se consigue regulando la potencia y en los HPM, regulando la longitud de onda. En el caso de estos últimos, los efectos deseados van desde el *upset* hasta el *burnout*, como ya se citó en el apartado de armas de radiofrecuencia de este trabajo (Consultar apartado 3.2).



### Velocidad

Las velocidades de las municiones de los sistemas convencionales son muy inferiores a la *velocidad de la luz*<sup>7</sup>, lo que implica que debemos calcular la trayectoria de la amenaza aérea para conseguir unos efectos deseados sobre la misma. Los medios de energía dirigida, tanto los HEL como HPM, generan un haz que se propaga a la velocidad de la luz, lo que evita tener que calcular la trayectoria y confiere mayor precisión y letalidad a los disparos, así como capacidad multiamenaza.

### Distancia

La munición de los sistemas convencionales puede recorrer una distancia que viene determinada por la carga de propulsión. Una mayor carga de propulsión aumenta el peso del proyectil, el tiempo de vuelo y las probabilidades de error, al estar sometida la munición a los condicionantes atmosféricos. Estas limitaciones solo se pueden superar con misiles guiados que varíen la trayectoria en su fase terminal.

En el caso de la energía dirigida, si suponemos un escenario perfecto, como cuando estudiamos las leyes de la física en el vacío, podríamos considerar que la distancia a la que puede llegar el haz es prácticamente infinita. Bajo las condiciones atmosféricas reales, a pesar de no ser prácticamente infinita, las distancias recorridas por los haces son mucho mayores que las de los sistemas convencionales.

### Coste

Tengamos en cuenta que "Para que un esfuerzo sobre un determinado objetivo sea rentable, el valor económico del éste ha de ser mayor que el de la munición utilizada para su neutralización" [1]

El coste que supone la munición convencional (Ver tabla 3), para cada una de las plataformas de tiro de la AAA, es demasiado elevado para la eficacia que poseen estos sistemas contra las amenazas aéreas actuales. Consecuentemente, se hace patente la ineficacia en términos económicos. Esta ineficacia se hace aún más latente si comparamos el coste de la munición (Ver tabla 3) con el coste de adquisición de un UAV de tipo I, por ejemplo con el UAV Raven del ET, con un precio de 25.000 dólares.

Teniendo en cuenta que, para efectuar un disparo con armas de energía dirigida, basta con conseguir un impulso de energía con un coste aproximado de 30 dólares [21], podemos concluir que los DEW resultan sistemas más económicos que los sistemas convencionales.

: Tabla 3: Coste de la munición para cada plataforma de tiro

PLATAFORMA DE TIRO	PRECIO DE LA MUNICIÓN (dólares)
Cañón 35/90 (Munición AHEAD)	1.786x25 = 44.650
Misil Mistral	120.000
HAWK (Misil MIM-23)	250.000
NASAMS (Misil AIM-120)	300.000 – 400.000
PATRIOT (Misil PAC-3)	4,7-5,6 millones
SISTEMA DE DEFENSA ANTIAÉREA (DEW)	30

<sup>7</sup> Velocidad de la luz: 299.792.458 m/s



## Logística

Los sistemas DEW permiten reducir tanto la logística personal como la material al máximo. La tripulación de los sistemas de energía dirigida será notoriamente menor debido a que no es necesario personal artificiero (encargado del transporte de la munición). Tampoco hará falta personal encargado de predecir la trayectoria de la amenaza aérea, entre otras ventajas. Por otra parte, se producirá una reducción de la logística material debido a que no son necesarios medios para el almacenamiento y transporte de la munición. Sin embargo, los sistemas generadores de alta potencia actuales son muy pesados y requieren medios de transporte de mayor potencia para el acarreo de los mismos.

## Contramedidas

Es posible defenderse de ambos sistemas con las contramedidas adecuadas. Los sistemas convencionales basados en un misil son vulnerable a una nube de dipolos (amenaza chaff<sup>8</sup>) [34]. Por su parte, los sistemas DEW pueden ser vulnerables a las siguientes contramedidas:

- Un Mayor blindaje del objetivo que reduzca el daño que puede causar el haz.
- Un diseño aerodinámico tipo espejo que refracte el haz hacia otra dirección.

## Multiamenaza

Los ensayos con objetivos múltiples desarrollados con armas convencionales no han sido satisfactorios (Ver anexo V). El tiempo perdido en la recarga de la munición y el elevado coste de la munición han impedido hasta el momento hacer frente a varios objetivos a la vez. Como no hay que recargar munición en los sistemas DEW y el haz emitido se propaga a la velocidad de la luz, se puede producir otro disparo de forma casi simultánea al primero. Esto permitirá a las fuerzas que tengan en dotación estos sistemas—hacer frente al así llamado *ataque enjambre*, prohibitivo hasta ahora para los sistemas convencionales.

<sup>8</sup> *Chaff*: se trata de un señuelo, consistente en una nube de dipolos (vidrio metalizado o plástico metalizado). El objetivo de este señuelo es perturbar y apartar a los misiles guiados por radar de sus objetivos. Son muy utilizados por las aeronaves, para su autodefensa. (Aeronautic Investments, 2019).



## 4. DESARROLLO: ANÁLISIS Y RESULTADOS

En este apartado se van a exponer los resultados obtenidos de las entrevistas y los cuestionarios realizados a los expertos en la materia. El análisis incluye un análisis DAFO que posteriormente será definido, cuyo objetivo es el de exponer los factores más relevantes de las entrevistas, tanto los positivos como los negativos. Tanto el guion de la entrevista, como las respuestas del cuestionario han sido orientados para demostrar los siguientes objetivos:

- Conocer si los medios actuales se han quedado obsoletos ante la amenaza dron.
- Analizar la eficacia de los medios convencionales frente a cada una de las amenazas estudiadas (RAM, misiles balísticos y drones).
- Comparar las capacidades operativas de los sistemas convencionales frente a los DEW.
- Seleccionar el tipo de fuente DEW que mejor se adapte a las necesidades operativas.
- Encontrar una solución DEW que pueda hacer frente a la amenaza aérea actual.

### 4.1. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN CUALITATIVA

#### 4.1.1. *Resultados de la entrevista a expertos*

En este apartado se describen los resultados de las entrevistas a un grupo de cinco expertos (Ver anexo II). El objetivo de estas entrevistas ha sido contrastar las diversas opiniones de este personal con más de 20 años de experiencia al mando de unidades y conocedores de los medios y capacidades que el ET necesitaría para enfrentarse a las nuevas amenazas descritas en el apartado anterior. Tras una comparación de las opiniones recibidas sobre las capacidades de los sistemas convencionales y sobre las armas de energía dirigida, resumiremos las conclusiones más relevantes.

El guión planificado para las entrevistas se muestra en el Anexo III. Siguiendo el guión del anexo, se estimuló el debate con el personal entrevistado con el objetivo de profundizar en el análisis de la información recibida. La entrevista se centró en los siguientes aspectos principales:

- Entorno operativo actual.
- Capacidades de la AAA frente a las diferentes amenazas citadas en el apartado.
- La energía dirigida en el marco de la Fuerza 2035.
- Limitaciones políticas, jurídicas y humanitarias.
- Incorporación de los medios DEW a la AAA española.
- Armas HEL y HPM.
- Principales riesgos de la adquisición de medios DEW.
- Resto de aportaciones de los entrevistados.



La primera pregunta indagó sobre la visión de entorno operativo que tiene el personal entrevistado. ¿Cuál es la visión actual que tiene de la AAA española, así como del entorno operativo?

Aunque las respuestas no son homogéneas, el 100% de los entrevistados coinciden en que algunos de los medios que tenemos a disposición hoy en día se están quedando obsoletos debido al avance de las tecnologías disruptivas, que obliga a los ejércitos a desarrollar sistemas contra estas amenazas. Así lo reflejaban los expertos en la materia: "Si el enemigo, es capaz de diseñar sistemas que superen nuestras capacidades, la solución no puede ser otra que desarrollar e implementar sistemas que puedan hacer frente a esta amenaza, si queremos ser un ejército operativo". "Nuestros medios no son ineficaces, pero fueron desarrollados para otro tipo de amenaza y para otro tipo de ambiente"

La citada "ineficacia" se refiere a la amenaza dron, especialmente de Clase I por ser difícil de detectar y combatir. En un ambiente urbano, con personal civil en las proximidades se requieren además sistemas que reduzcan los efectos colaterales al máximo.

Las opiniones anteriores sugieren la necesidad de adquirir sistemas capaces de hacer frente a esta amenaza, a la que actualmente estamos expuestos. Aunque debemos mencionar algunos experimentos preliminares realizados por el RAAA 71 en los que se intenta batir drones con sistemas de armas convencionales (Ver anexo V).

Con respecto a la pregunta ¿cree que las guerras futuras seguirán el modelo de la guerra de Nagorno Karabaj?, el 100% de los entrevistados coinciden en que el auge de los drones favorecerá este modelo de combate, con RPAS realizando labores de vigilancia y de ataque. No obstante, los entrevistados resaltaban que no podemos centrarnos solo en este tipo de modelo y olvidarnos de los otros tipos de escenarios que se pueden plantear.

Respecto a las preguntas referidas a las capacidades de los sistemas convencionales contra las diferentes amenazas, las respuestas coincidieron en torno a la siguiente idea: "Disponemos de sistemas con suficiente capacidad para responder a las amenazas para las que fueron creados". Los entrevistados consideran el sistema Patriot como el más eficiente de la AAA, desplegado actualmente en Turquía. Se hizo especial hincapié en la precariedad de los sistemas convencionales frente a los RPAS, que no pueden hacer frente a esta amenaza. No obstante, se resaltaron dos aspectos:

- "Resulta prioritario adquirir medios para combatir la amenaza RPAS, a pesar de que esta amenaza no es prioritaria".
- "La Energía Dirigida permite combatir tanto amenazas RPAS como amenazas RAM y de misiles balísticos"

En relación al ámbito de la *Fuerza 2035*, el 60% de los entrevistados considera que no será suficiente con la modernización de los medios actuales contemplada en la *Fuerza 2035* para hacer frente a las amenazas actuales. Sin embargo, el acuerdo sobre la amenaza RPAS es unánime, con la siguiente conclusión común: "Aunque los medios actuales no están diseñados para hacer frente a la amenaza RPAS, si son capaces de combatir el resto de amenazas citadas"



Actualmente se encuentra en evaluación la posibilidad de combatir la amenaza dron con el cañón 35/90 en su versión GDF-007 con munición AHEAD, habiéndose realizado ya un ejercicio con munición convencional y quedando pendiente un posterior ejercicio en noviembre del presente año 2021 con munición AHEAD (Ver anexo V).

Con respecto a la pregunta “¿cree que los DEW pueden tener limitaciones jurídicas, políticas y humanitarias?”, el 80% del personal entrevistado está de acuerdo en que dependerá del escenario. El uso de estos sistemas podría estar limitado por los efectos que pueden causar en el personal. Por tanto, afirman que su uso podría estar limitado en tiempo de paz. Sin embargo, su uso sí sería efectivo en situación de conflicto armado

Si nos centramos en la pregunta “¿cree necesaria la incorporación de medios DEW para la AAA del ET?”, una vez más no hay ambigüedad: el 100% de los entrevistados respondió afirmativamente y profundizó en el tema. Cabe destacar las palabras del Teniente Coronel Vicente Gómez Ponce, Jefe del GAAA II/30: “Creo necesaria la incorporación de medios DEW, pero no con vistas al futuro, sino en el presente”.

En la pregunta se hace referencia a la posible integración de estos sistemas con los medios actuales. Los expertos se han mostrado reacios a opinar ya que se trata de un posible riesgo que hay que asumir. No obstante, afirman que ya existen medios dentro de la AAA que no han sido posibles de integrar, como los programas TALOS, SIMACET y BMS entre otros, pero que ello no supone un problema.

Los expertos también resaltan que habría que hacer un estudio acerca de la detección de los RPAS de clase I por los sensores que tenemos en dotación, dada su reducida sección recta radar (RCS, por sus siglas en inglés) y su baja velocidad de crucero. Se propuso a los expertos comparar los sistemas DEW con los convencionales en términos operativos. El 60% de los entrevistados afirmaron que las capacidades operacionales DEW (Consultar apartado 3.4), son superiores a las de los sistemas convencionales.

Analizaremos ahora las preguntas referidas a las armas láser de alta potencia (HEL) y las armas de microondas de alta potencia (HPM). Los expertos afirman que, para responder a estas preguntas, se necesita una investigación más profunda acerca de las capacidades de ambas. No obstante, el 100% de los entrevistados coinciden en que, dependiendo de la amenaza, sería más aconsejable adquirir uno u otro sistema.

Respecto a las amenazas ICBM y C-RAM, e incluso de pequeñas aeronaves, el 60% de los entrevistados coinciden en que la mejor opción son los HEL, debido a la precisión e instantaneidad en el disparo, pudiendo impactar contra los ICBM en su fase terminal durante su reentrada a la atmósfera. Del mismo modo, podrían ser muy eficaces contra la amenaza C-RAM.

Al responder a la pregunta sobre la amenaza dron, el 80% del personal estuvo de acuerdo en que la mejor opción son los sistemas HPM, capaces de actuar sobre los componentes electrónicos de los RPAS en una escala gradual de destrucción, dependiendo de los objetivos. Así lo afirmaban los expertos: “Con las armas de radiofrecuencia, seríamos capaces de actuar sobre los RPAS de diferentes formas. Desde provocar que el RPAS tenga que reiniciar el sistema, quedando inoperativo durante un tiempo prudencial, hasta la destrucción de componentes que dejen inoperativo al dron de forma permanente”



Finalmente, y dado que tras las primeras entrevistas se detectaron varios riesgos en la adquisición de los sistemas DEW, se realizó una lista de todos los riesgos que habían surgido durante la entrevista, para posteriormente evaluar cuál podría ser el de mayor riesgo. Los riesgos estudiados, así como la clase de riesgo son:

- Imposibilidad de integración con los sistemas de mando y control. Riesgo Medio.
- Imposibilidad de integración con los sistemas actuales. Riesgo Medio.
- Carencia presupuestaria. Riesgo Crítico.
- Estudio Ineficaz de la amenaza. Riesgo Medio/Alto.
- Limitaciones jurídicas. Riesgo Medio.
- Limitaciones políticas y humanitarias. Riesgo Medio.
- Efectos colaterales sobre el ser humano. Riesgo Medio/Alto
- Plazos extensos de adquisición. Riesgo Crítico

Para el estudio de dichos riesgos se ha utilizado una matriz de riesgos que evalúa el riesgo en sí, el tipo de riesgo, la probabilidad e impacto, la causa del riesgo, los efectos del riesgo y las medidas para contrarrestar/reducir su probabilidad/impacto. (Ver Anexo VI)

Las conclusiones obtenidas de este análisis de riesgos se resumen en la matriz de riesgos, mostrada en la Tabla 4. La matriz pondera 2 riesgos de tipo crítico, que se explicarán posteriormente, 2 riesgos de tipo alto/medio, 4 riesgos de tipo medio y 0 riesgos de tipo bajo.

Tabla 4: Matriz de riesgos

Probabilidad	3	0	0	2	Clase riesgo	Número	
	2	0	2	2			
1	0	1	1	1	Low	Medium	High
Impacto							
					Crítico	2	
					Alto-medio	2	
					Medio	4	
					Bajo	0	
					Total:	8	



Los riesgos que mayor impacto podrían suponer en la adquisición DEW son:

- Carencia presupuestaria: si el ET no pudiera asumir el coste de la adquisición o desarrollo de un sistema DEW, estaríamos expuestos a las amenazas aéreas actuales. La mejor opción propuesta por el personal entrevistado es adquirir sistemas DEW portátiles, más baratos y eficaces contra drones de clase I, en lugar de grandes plataformas, tal como está haciendo EEUU.
- Plazos extensos de adquisición: al ser el desarrollo de un sistema DEW una necesidad presente y no futura, la mejor opción reside en adquirir un sistema desarrollado por terceras partes, en lugar de desarrollar un sistema propio, dado el prolongado tiempo de desarrollo que requiere una tecnología emergente.

Finalmente, exponemos algunas aportaciones que han resultado especialmente interesantes y que serán posteriormente desarrolladas en un análisis DAFO. Algunos entrevistados propusieron emplear los sistemas estudiados como armas multipropósito o como armas no letales. También es de resaltar que la adquisición de estas armas supondría una mayor presencia en la OTAN, así como una mayor interoperabilidad con otros ejércitos. También han destacado que la reducción de las plantillas en las unidades está dejando sin efectivos a las plataformas convencionales. Por lo tanto, la opción DEW, mucho más autónoma que los sistemas convencionales, podría resultar beneficiosa en este marco. Resaltaron también el problema de la movilidad de estas armas debido a la necesidad de grandes generadores de energía, así como la necesidad de cursos para el personal en caso de adquisición de DEW. Finalmente, varios expertos afirmaron lo siguiente:

“Nos estamos quedando rezagados con respecto a los cuerpos de seguridad del estado, que sí poseen algunos de estos sistemas actualmente. El desembolso inicial puede parecer muy grande. Sin embargo, una vez tengamos la plataforma, el coste por disparo se reducirá al máximo”.

#### 4.1.2. Análisis DAFO

A continuación se va a utilizar una herramienta de calidad, conocida como análisis DAFO, para identificar las debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades que supone la adquisición de un sistema DEW. Para la realización de dicho análisis se han escogido los factores de mayor relevancia obtenidos de las entrevistas realizadas al personal experto en la materia, tanto en las respuestas a las preguntas del guion, como en las aportaciones finales que estos hicieron. Los factores más relevantes se citan en la tabla resumen nº5, con el objetivo de ilustrar los aspectos negativos y positivos de origen interno y externo de la adquisición de un sistema DEW. Los factores estudiados en la tabla resumen serán desarrollados posteriormente.



Tabla 5: Análisis DAFO

		Aspectos Negativos	Aspectos positivos
Origen Interno	DEBILIDADES	FORTALEZAS	
	AMENAZAS	OPORTUNIDADES	
Origen Externo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Imposibilidad de integración con los sistemas de armas actuales</li> <li>• Imposibilidad de integración con los sistemas de mando y control actuales</li> <li>• Especialización del personal</li> <li>• Requerimiento de generadores de gran tamaño y peso</li> <li>• Fácilmente identificables</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Armas multipropósito</li> <li>• Reducción de efectos colaterales</li> <li>• Ventajas operacionales (Ver apartado 4.3)</li> <li>• Máxima eficacia al menor coste (una vez obtenido el prototipo)</li> <li>• Arma no letal</li> </ul>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Oposición política y humanitaria</li> <li>• Limitaciones jurídicas y legales</li> <li>• Factores atmosféricos</li> <li>• Carencia presupuestaria</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Orgánica de las unidades</li> <li>• Mayor interoperabilidad</li> <li>• Reducción de la huella logística</li> <li>• Logística</li> <li>• Mayor presencia en el entorno OTAN</li> </ul>	

### Factores de origen interno:

#### **Debilidades:**

- Uno de los principales problemas que podemos encontrar es que los DEW no se complementen con los sistemas actuales, lo que podría derivar en que no se formalizase la 'burbuja de burbujas'. También se podría dar la posibilidad de que no se complementaran con los radares de detección de los sistemas de armas convencionales actuales debido al gran alcance de los DEW en comparación con los sistemas actuales. Esto podría conducir a la adquisición de un radar de mayor alcance para solventar este problema.
- Puede darse la posibilidad de que no haya forma de integrar estos sistemas con los sistemas de mando y control de la AAA. Este problema ya ocurre en la Artillería al operar con dos sistemas diferentes (TALOS, SIMACET, BMS). El desarrollo de estas armas nos permitirá saber si es necesario un nuevo sistema o se pueden integrar en uno de los presentes.
- El desarrollo de esta tecnología llevará consigo la necesidad de especialización del personal en esta materia. El personal debe ser conocedor especialmente de las medidas de protección y seguridad ya que estos sistemas utilizan fuentes de energía muy grandes y un accidente puede resultar una catástrofe. Además de ello, se necesitarán nuevos equipos de especialistas para hacer frente al mantenimiento específico de estos materiales.
- Una de las posibles limitaciones a tener en cuenta es el peso de los generadores, así como su tamaño debido a la necesidad de una fuente de energía enorme (entre los 30 kW y 150 kW, para los prototipos actuales). Consecuentemente, es probable que se necesite un vehículo especial para transportar la plataforma generadora. Otra posible opción es renunciar a la movilidad en pro de contar con este tipo de energía.



- Al emitir una gran fuente de calor, estos sistemas son fácilmente identificables por las cámaras térmicas del enemigo, lo que puede suponer un grave riesgo para el personal desplegado junto a las plataformas DEW.

## Fortalezas

- En este proyecto nos estamos limitando al estudio de la energía dirigida en los sistemas de artillería antiaérea. Sin embargo, existen otras muchas aplicaciones en las que se puede utilizar la energía dirigida. Por ejemplo, para la neutralización de trampas explosivas o ataque electrónico a comunicaciones. Aunque la más novedosa, junto a su utilización en los sistemas de defensa antiaérea, es incorporar armas a bordo de RPAS, por ejemplo, para el combate urbanizado.
- La principal ventaja de estos sistemas consiste en la reducción al máximo de los efectos colaterales. Con la evolución del entorno operativo hacia el combate urbanizado y siendo crucial la percepción de la opinión pública, la reducción de efectos colaterales será condición necesaria para todo sistema de armas futuro.
- La comparación de las capacidades operacionales viene reflejada en el apartado 3.4.
- La proliferación de drones, derivada del aumento de exportadores, ha hecho que esta tecnología sea barata y fácil de adquirir. Por lo tanto, es necesario el desarrollo de sistemas cuya munición/fuente energética sea lo más barata posible. Condición cumplida por los DEW una vez se haya realizado la inversión inicial.
- La posibilidad de regular la potencia en estas armas hace que las mismas puedan utilizarse como arma no letal, una gran posibilidad debido a la evolución del entorno operativo hacia las zonas urbanizadas. Una vez más, es crucial evitar daños colaterales que pudieran alimentar la opinión pública.

## Factores de origen externo

### Amenazas

- La visión sobre el uso de armas por gobiernos, organizaciones humanitarias y la población en general se transformó radicalmente tras el empleo de armas químicas durante la I Guerra Mundial y tras el posterior desarrollo de la Guerra Fría y el uso de misiles intercontinentales capaces de hacer desaparecer la humanidad en tan solo unos minutos. Es por ello que estas organizaciones son reacias al uso de energía dirigida. La principal causa es su agresividad, ya que se puede dejar ciego a una persona con tan solo un vatio de potencia. Además, todavía no hay estudios sobre los posibles efectos que puedan causar las ondas electromagnéticas de alta potencia sobre el ser humano.
- Son varios los tratados que están en contra de estas armas debido a la posible causa de cegamiento. En caso de producirse un accidente y cegar a un ser humano, se estarían incumpliendo los protocolos del Convenio de Ginebra (prohibición de armas cegadoras). También podemos encontrar ciertas limitaciones en el Protocolo IV de la Convención de Viena, por ser consideradas estas armas de efectos nocivos e indiscriminados [35].



- Son varios los factores atmosféricos que pueden afectar al uso de la energía dirigida. Tras la ejecución de un disparo, el rayo atraviesa la atmósfera hasta llegar al objetivo. Esto supone que este rayo esté sometido a los factores atmosféricos. Los más importantes a tener en cuenta son la difracción, pues supone una pérdida de potencia, y la absorción o dispersión del haz debido a la lluvia, nieve, polvo...
- En España, la inversión en defensa en 2021 es del 1,02% del PIB [36], un porcentaje muy pequeño si lo comparamos con países vecinos de la Alianza Atlántica [37], como Reino Unido con un 2,43% o Francia con un 2,11% y sobretodo muy lejos de EEUU, a la cabeza con un 3,875%. Si a lo anteriormente citado le añadimos que la mayoría del presupuesto es destinado a los sueldos de los componentes de las FAS, sumado a la inversión en el nuevo vehículo 8x8, el presupuesto disponible es muy escaso. Una posible opción sería la colaboración con países aliados.

## Oportunidades

- Con el avance de la tecnología se reduciría el número de personal por plataforma de tiro y, por tanto, el personal expuesto a los ataques del enemigo.
- El documento *Fuerza 2035* [8] plantea el requisito de alcanzar la interoperabilidad, objetivo derivado del desarrollo del entorno operativo actual. Debido a la gravedad de las amenazas actuales, es necesario la colaboración entre aliados. Por esta razón, España no se puede quedar rezagado en el marco de la energía dirigida y una vez adquiridos los prototipos, debe iniciar ejercicios conjuntos con el objetivo de garantizar esa interoperabilidad.
- La munición convencional desprende residuos al ser consumida: tanto la parte que la protege como la munición en sí al producirse el impacto con el objetivo. Por el contrario, las DEW no generan residuos.
- El transporte y manipulación de munición ha causado varios accidentes, saldándose la vida del personal en algunas ocasiones. Con los DEW, el transporte y almacenamiento de proyectiles pesados se elimina al tratarse de una fuente de energía, reduciendo, por tanto, la probabilidad de que ocurra un accidente.
- Como país perteneciente a la OTAN, España no puede quedarse retrasado en la adquisición de un sistema DEW. La adquisición de dicho sistema supondría una mayor presencia de España en despliegues internacionales, lo que podría suponer que la artillería española aumentara el contingente en el extranjero, con más de una misión propiamente de artillería, ya que a día de hoy solo despliega en la misión A/T en apoyo a Turquía.



## 4.2. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN CUANTITATIVA

### 4.2.1. Resultados del análisis estadístico

Para el desarrollo del análisis estadístico inicialmente se realizó un cuestionario (Ver anexo IV), compuesto de 18 preguntas, a un total de 16 personas: 6 oficiales, 5 suboficiales y 5 personas de tropa (Ver ilustración 12). El objetivo era conocer la opinión de estas 16 personas acerca de la efectividad de los medios actuales y de la posible adquisición de un sistema DEW. Aunque el cuestionario, al contrario que la entrevista, no va dirigido a expertos en la materia, muchos de las personas a las que se les realizó el cuestionario tienen conocimientos sobre energía dirigida, al tratarse en su mayoría de personal con más de 20 años de experiencia militar en unidades de FUTER (Fuerza Terrestre). (Ver ilustración 13)

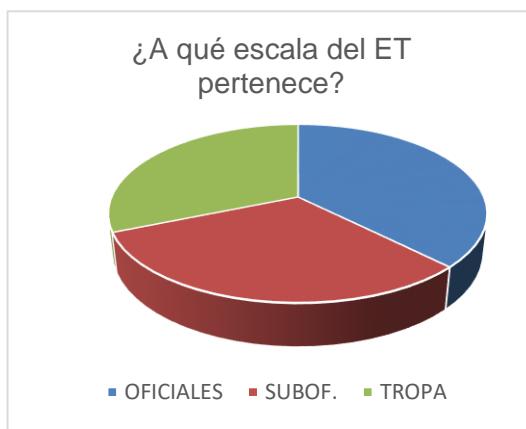


Ilustración 12: Pregunta a) del cuestionario



Ilustración 13: Pregunta b) del cuestionario



Ilustración 14: Pregunta c) del cuestionario

Como vemos en la ilustración 14, del total de 16 personas a las que se les hizo el cuestionario, el 69% tiene conocimientos sobre energía dirigida. El 31% restante, sumado a personal voluntario, acudió a una pequeña charla, previa a la realización del cuestionario sobre las capacidades de los sistemas DEW.

Tras estos tres primeros gráficos de introducción al personal, las siguientes preguntas fueron ponderadas del 1 al 10, de la siguiente forma: 1-2 (en total desacuerdo), 3-4 (en desacuerdo), 5-6 (conforme), 7-8 (de acuerdo), 9-10 (en total acuerdo); (Ver Anexo IV)

Los siguientes tres gráficos están referidos a la eficacia de los medios convencionales frente a la



amenazas estudiadas, apartados d), e), f) del cuestionario. Con respecto a la eficacia de los sistemas convencionales contra misiles balísticos, como el Patriot, tan solo un 12% de los entrevistados pensaban que no era eficaz ante esta amenaza, y solo una persona seleccionó la opción de total eficacia. (Ver ilustración 15). Analizando la eficacia de los sistemas convencionales frente a la amenaza RAM, el porcentaje de personal que opinó que no eran eficaces ascendió hasta el 36%. Al igual que en el anterior caso, solo una persona afirmó la total eficacia (Ver ilustración 16). Seguidamente se ha analizado la eficacia frente la amenaza dron. Los resultados muestran que el personal opina que las plataformas de tiro convencionales no son eficaces frente a esta amenaza. Solo un 6% del personal da crédito a la eficacia de los sistemas convencionales contra RPAS, frente al 56% que afirma su ineficacia (Ver ilustración 17)

Los medios actuales de la AAA son eficaces frente a los misiles balísticos



Ilustración 15: Pregunta d) del cuestionario

Los medios actuales de la AAA son eficaces frente a las amenazas RAM

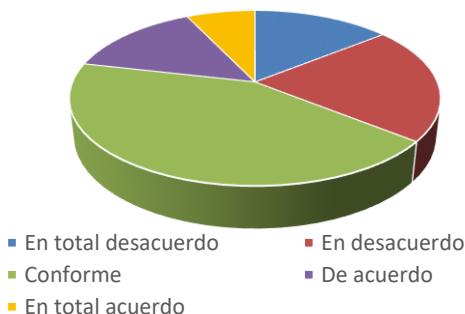


Ilustración 16: Pregunta e) del cuestionario

Los medios actuales de la AAA son eficaces contra la amenaza dron



Ilustración 17: Pregunta f) del cuestionario

A continuación se muestra el resultado del apartado g). Dicho apartado está referido a la dependencia de la artillería española de otras organizaciones como la OTAN. En este apartado hay ambigüedad de opiniones ya que el 37% del personal cree que la artillería antiaérea puede obrar de forma autónoma. Sin embargo, el 25% del personal cree que depende en gran parte de otras organizaciones para ser operativa (Ver ilustración 18).



Ilustración 18: Pregunta g) del cuestionario

Ya que el gran proyecto a nivel ejército es el desarrollo de la brigada experimental 2035, se decidió introducir dos apartados, h), i), sobre a la Brigada 2035 y la adquisición de un sistema DEW. La primera pregunta está referida a la modernización de los sistemas convencionales contemplados en el documento *Fuerza 2035*. En esta apartado de nuevo hay ambigüedad, con un total de 31% personas que opinan que no será suficiente con esta modernización para hacer frente al entorno operativo actual, frente al 25% que piensa que sí (Ver ilustración 19). El siguiente apartado, referido a la adquisición de un sistema DEW contemplado en el documento *Fuerza 2035*, al contrario que el anterior, no presenta ambigüedad ninguna con un 88% del personal a favor de que la Brigada 2035 considere la adquisición de un sistema funcional DEW (Ver ilustración 20).

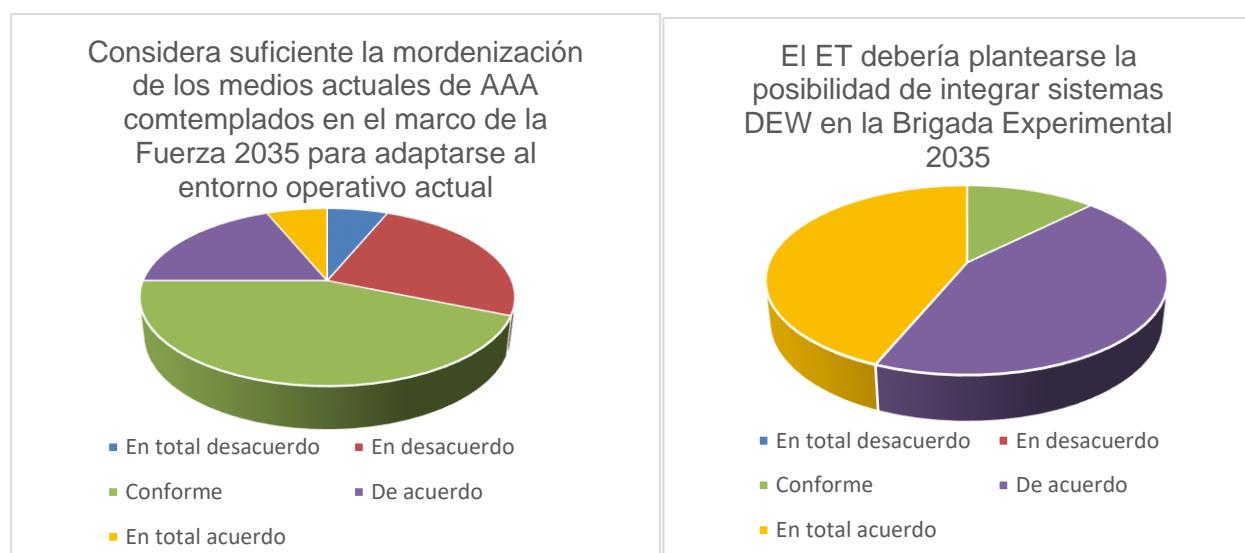


Ilustración 19: Pregunta h) del cuestionario

Ilustración 20: Pregunta i) del cuestionario



Seguidamente, se analizó la opinión de los entrevistados acerca de la adquisición o desarrollo de un sistema DEW. Los resultados dejaron claro que lo más ventajoso era adquirir uno de los prototipos funcionales desarrollados por otros países ya que reduciría el tiempo necesario para disponer de un sistema operativo. La idea de adquirir un prototipo funcional cuenta con un 94% del personal a favor de la misma (Ver ilustración 21). Sin embargo, cuando analizamos la opción de desarrollar un prototipo propio, un 44% no creen que sea la opción más viable frente al 37% que considera que sí (Ver ilustración 22).

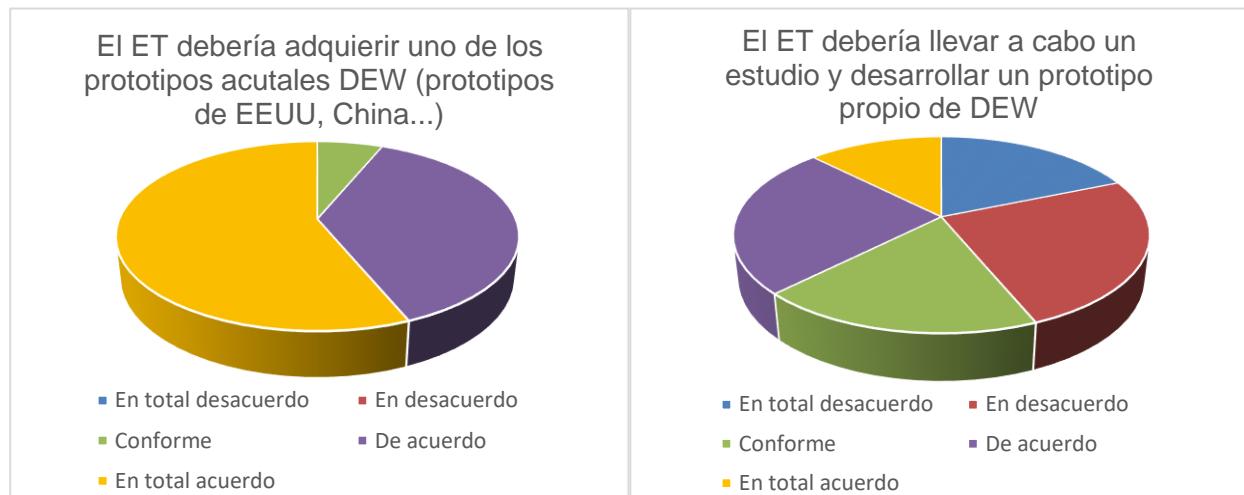


Ilustración 21: Pregunta j) del cuestionario

Ilustración 22: Pregunta k) del cuestionario

A continuación, se analizó la opinión del personal, sobre si, tras la adquisición de los sistemas DEW, estos sistemas plantearían la opción de complementar a los sistemas convencionales o incluso sustituirlos en su mayoría, apartados l) y m) del cuestionario. Los resultados obtenidos reflejan que, efectivamente, plantean la posibilidad de complementar a los sistemas convencionales a crear la célula contra la amenaza aérea con un 81% del personal acorde a esta opinión (Ver ilustración 23). Sin embargo, cuando analizamos la opción de sustituir a los sistemas convencionales, un 41% está en contra de esta idea frente al 41%, que si cree que los DEW pueden sustituir por completo a los sistemas convencionales (Ver ilustración 24).

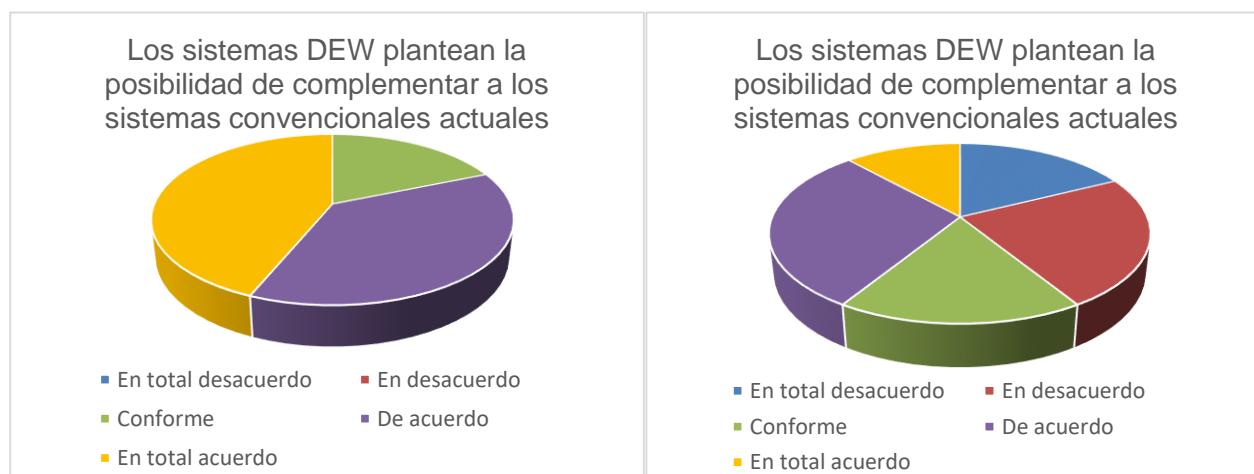


Ilustración 23: Pregunta l) del cuestionario

Ilustración 24: Pregunta m) del cuestionario



Los siguientes apartados del cuestionario, n) y o), interrogan sobre cuál de los dos tipos de energía dirigida estudiados es la opción que mejor se adapta para hacer frente a la amenaza aérea. Los resultados obtenidos dejan entrever que no hay un sistema elegido como favorito frente a otro. Los resultados han sido los siguientes:

- Opción HEL como la mejor opción: un 44% está a favor de esta idea frente a un 18% que cree lo contrario.
- Opción HPM como la mejor opción: un 56% está a favor de esta idea frente a un 19% que cree lo contrario.

Como ya se dijo anteriormente en el apartado 4.1, a pesar de brindar estas armas la posibilidad de hacer frente a amenazas diferentes, ambas son más efectivas contra una amenaza concreta y viceversa.

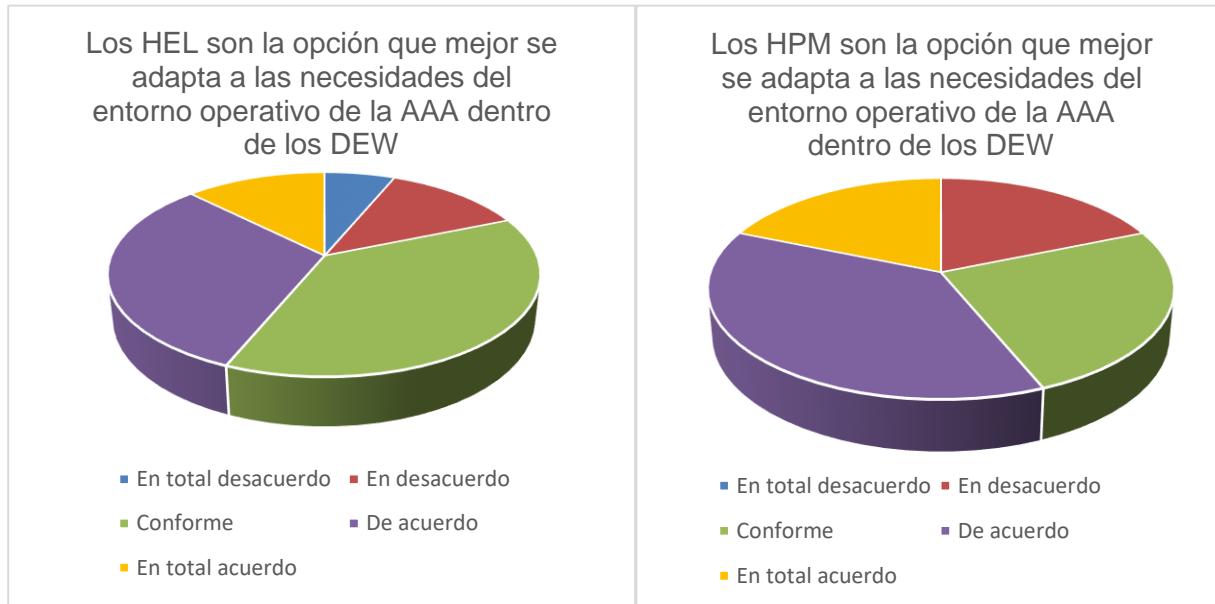


Ilustración 25: Pregunta n) del cuestionario

Ilustración 26: Pregunta o) del cuestionario

Finalmente, se van a analizar las tres últimas preguntas del cuestionario, preguntas p), q), r). Con respecto a la posible especialización del personal en caso de adquirir un sistema DEW, el 63% afirma que sí será necesario una gran especialización, frente al 6% que creen lo contrario (Ver ilustración 27). La siguiente pregunta del cuestionario se ha realizado con el objetivo de ver qué piensa el personal de la unidad acerca de la posible integración de los DEW con los sistemas convencionales actuales (mando y control, plataformas de tiro y sensores). Los resultados son ambiguos ya que, aunque el 47% piensa que sí será posible, un 30% piensa que no (Ver ilustración 28). Finalmente, el último apartado del cuestionario pretende revelar si los DEW se constituyen como la mejor opción para el futuro entorno operativo. Los resultados han sido totalmente favorables hacia los sistemas DEW, ya que solo el 12% del personal cree que no son la mejor opción frente al 63% que propone los DEW como la mejor opción (Ver ilustración 29).



La incorporación de los DEW necesitará de una gran especialización del personal a su cargo

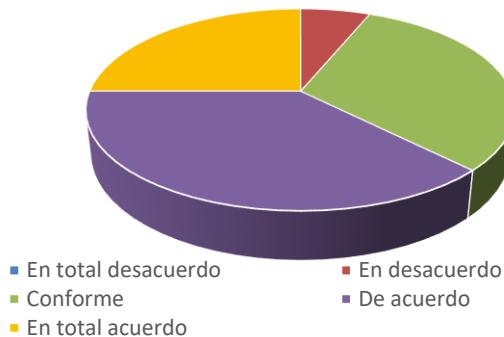


Ilustración 27: Pregunta p) del cuestionario

Será posible la integración de los DEW con los sistemas convencionales actuales

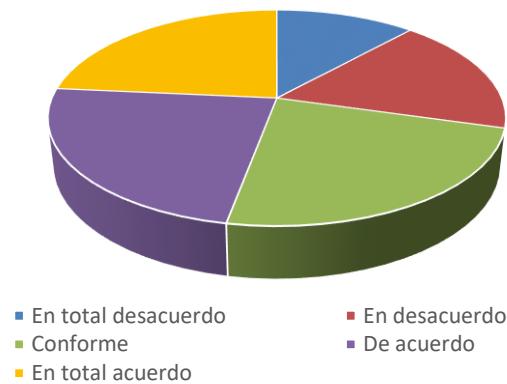


Ilustración 28: Pregunta q) del cuestionario

Los sistemas DEW se plantean como la mejor opción para el futuro entorno operativo

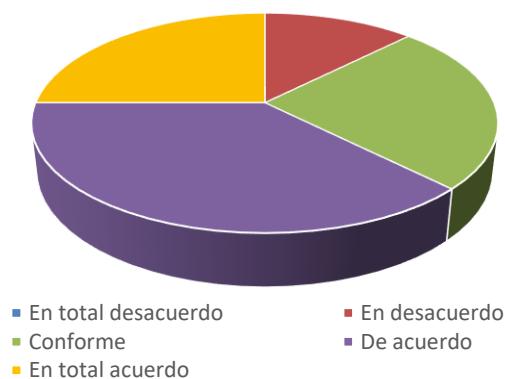


Ilustración 29: Pregunta r) del cuestionario



## 5. PROPUESTA DE INCORPORACIÓN

A continuación se va a hacer una síntesis del apartado anterior, con el objetivo de resaltar los aspectos más importantes de la investigación y decidir cuál podría ser la opción de adquisición o desarrollo que más le convendría al ET.

Tras el análisis anterior, hemos llegado a la conclusión de que los sistemas convencionales no son ineficaces; sin embargo, fueron desarrollados para hacer frente a otro tipo de amenazas, en otro tipo de ambiente, en el que los efectos colaterales no eran tan importantes a tener en cuenta como a día de hoy. Los medios convencionales presentan una eficacia media contra los misiles balísticos. Debido al avance tecnológico de los misiles, estos son capaces de realizar maniobras evasivas en su fase terminal, reduciéndose la probabilidad de derribo en 1/6. Frente a la amenaza C-RAM, con el desarrollo de municiones inteligentes capaces de modificar la trayectoria, la probabilidad de derribo con munición convencional se ha reducido. Finalmente, contra la amenaza dron y como se ha visto en el estudio del RAAA 71 (Ver anexo V), los sistemas convencionales son inefectivos.

¿Esto significa que bastará con adquirir un sistema que haga frente a la amenaza RPAS?

La respuesta es que, aunque los drones se hayan convertido en la amenaza prioritaria al no tener un sistema con el que poder combatirlos, no es la amenaza principal debido, entre otras razones, a la letalidad de los efectos que puede provocar un caza, un cohete o un ICBM, entre otros. Por lo que no hay que olvidar que los DEW son muy prometedores contra estas amenazas. Amenazas que empiezan a sobrepasar las capacidades de los sistemas convencionales.

Siguiendo con la síntesis, ya hemos visto que no hay una fuente de energía dirigida elegida como favorita. Es más, hemos concluido que, dependiendo de la amenaza, usaremos un tipo u otro.

Misiles balísticos y amenaza RAM: la opción favorita han sido los láseres de alta potencia, principalmente por dos capacidades que lo hacen muy atractivos frente a esta amenaza: una precisión del diámetro de una aguja y la instantaneidad necesaria para hacer frente a las maniobras evasivas que anteriormente comentábamos.

RPAS: la opción favorita en este caso han sido las microondas de alta potencia. Las HPM permiten generar unos daños en una escala gradual sobre el dron. Es una capacidad inmejorable pues muchas veces no nos interesaría derribar el dron, sino que bastará con hacer que pierda la señal remota.

¿Significa esto que, una vez que tengamos uno o varios sistemas DEW, podremos prescindir de los sistemas convencionales?

No podremos prescindir de estos medios ya que la adquisición de medios DEW, capaces de hacer frente a toda la amenaza aérea, supondría un desembolso inafrontable; además de ello, los sistemas convencionales son eficaces y, junto a los DEW, complementarían la célula contra la amenaza aérea, la burbuja de burbujas.



Finalmente, los expertos priorizaron adquirir un sistema de forma inmediata ante la opción de desarrollar un prototipo a largo plazo. Razón que condujo a evaluar los pros y contras de adquirir uno de los prototipos estudiados del apartado 3.3. Para ello, se ha realizado un análisis de decisión multicriterio, tipo AHP (Analytic Hierarchy Process, por sus siglas en inglés) cuyo objetivo es decidir cuál es el sistema más conveniente para el ET. Dicho análisis consiste en ponderar los criterios de cada sistema con un peso directamente proporcional al valor considerado. El sistema idóneo será aquel cuya suma de pesos sea mayor. Como evaluamos dos tipos diferentes de sistemas DEW, se han realizado dos AHP. Para saber qué criterios comparar y dar un peso a los mismos, se ha consultado al grupo de expertos. Finalmente, se han elegido los criterios que se han repetido un mayor número de veces.

Los resultados para los sistemas HELLADS, HEL TVD, LW-30 y Silent Hunter se muestran en las tablas 6 y 7, respectivamente. En las filas incluimos los sistemas estudiados, mientras que en las columnas se listan los siguientes criterios: movilidad, potencia, nivel de desarrollo, logística, país proveedor y versatilidad/legalidad.

Tabla 6: Análisis de decisión multicriterio sobre un sistema HEL

CRITERIOS / SUBCRITERIOS	PESOS	HELLADS	HEL TVD	LW-30	Silent Hunter
MOVILIDAD	0,26	0,61	0,15	0,13	0,12
POTENCIA	0,19	0,48	0,31	0,06	0,14
NIVEL DE DESARROLLO	0,06	0,10	0,29	0,23	0,38
LOGISTICA	0,09	0,48	0,22	0,13	0,16
PAÍS PROVEEDOR	0,17	0,38	0,38	0,12	0,12
VERSATILIDAD	0,24	0,39	0,23	0,14	0,23
		<b>0,45</b>	<b>0,25</b>	<b>0,12</b>	<b>0,17</b>

De la Tabla 6, elegimos el sistema HELLADS porque la suma de pesos (0.45) es significativamente mayor que para el resto de los sistemas. Este sistema posee capacidades prometedoras como la mayor potencia de generación (150 kW) y una masa relativamente pequeña de 750 kg. Además, es un sistema muy versátil que puede hacer frente a la amenaza RAM, a misiles tierra-aire e incluso a algunas aeronaves, y puede ser incluso integrado en algunos cazas y RPAS. En nuestra elección ha influido que el país proveedor, EEUU, sea miembro de la OTAN, lo que facilitará la adquisición de este sistema. El sistema se encuentra actualmente en desarrollo. Se espera que esté concluido para finales de 2022. De este modo, podremos adquirir el sistema de 75 kW en estado funcional y ya testado, mientras se termina de desarrollar la versión final de 150 kW.



Tabla 7: Análisis de decisión multicriterio sobre un sistema HPM

CRITERIOS / SUBCRITERIOS	PESOS	THOR	REX-1	Bofors HPM Blackout
MOVILIDAD	0,14	0,11	0,48	0,41
POTENCIA	0,14	0,66	0,16	0,19
NIVEL DE DESARROLLO	0,09	0,11	0,48	0,41
LOGISTICA	0,13	0,23	0,45	0,32
PAÍS PROVEEDOR	0,27	0,67	0,09	0,24
LEGALIDAD	0,24	0,11	0,48	0,41
		<b>0,35</b>	<b>0,33</b>	<b>0,32</b>

Según el análisis multicriterio de la Tabla 7, elegimos el sistema THOR porque es ligeramente superior al resto (suma de pesos 0,35). Elegimos este sistema debido a su mayor potencia y por ser EEUU el país proveedor. Sin embargo, este sistema todavía está siendo sometido a pruebas para reducir los efectos colaterales, por lo que los aspectos legales de su empleo todavía no están bien definidos. La segunda opción, el REX-1, también podría ser una opción válida porque la suma de pesos (0,33) es solo ligeramente inferior a los 0,35 de la primera opción. Este segundo sistema posee una movilidad mucho mayor que el anterior, al tratarse de un fusil, aunque la potencia de su fuente es menor, como se indica en el apartado 3.3.1 de esta memoria. También es mayor el nivel de desarrollo de esta tecnología, que es un sistema funcional desde 2017. Además, está considerado como NLW, lo que afirma su legalidad como arma. No obstante, se trata de un sistema ruso. Su adquisición podría suponer un conflicto con los países aliados. Estas limitaciones relegan al REX-1 a la segunda opción. Si el conflicto pudiera evitarse, el sistema REX-1 se convertiría en la opción preferente por la baja potencia requerida para combatir la RPAS de clase I y porque puede ser empleada de modo inmediato. Si el conflicto no se puede evitar, el sistema THOR sería la mejor opción. En este caso, sería necesario esperar a que sea aprobada como un arma de uso legal. Esta espera estaría justificada por la versatilidad que ofrece al combatir drones de clase I, II e incluso clase III, tipo MALE, a una distancia cercana.

Centrémonos ahora la posible estructura orgánica de una unidad de artillería antiaérea. Aunque la plantilla orgánica de las unidades de artillería antiaérea difiere de una unidad a otra, un grupo de artillería está compuesto, de modo general, por una Bía de PLMM, una Bía de Servicios y tres Bías de Armas. Proponemos a continuación 2 posibles estructuras orgánicas de sistemas DEW, ambas integradas dentro del MAAA (Mando de Artillería Antiaérea).

La primera opción es la integración de una Bía DEW, dentro de los GAAA del MAAA, compuesta por una sección de armas HEL y otra sección de armas HPM. La sección HEL estaría compuesta por un sistema de armas láser de alta potencia. Se incluye solo el sistema elegido como el más idóneo, ya que tiene potencia suficiente para hacer frente a todo el espacio aéreo asignado a una Bía, así como la posibilidad de hacer frente a diferentes amenazas de forma casi instantánea. Este sistema sería complementario-a los empleados convencionalmente en el combate contra amenazas RAM, misiles balísticos y aeronaves. El otro sistema que integraría esta batería sería un sistema HPM, destinado a la amenaza dron. Al tratarse



del único sistema que es capaz de hacer frente a esta amenaza, el número de medios sería mayor; además, habría dos tipos de medios, uno de mayor alcance y potencia para hacer frente a drones clase III y clase II y otro de menor potencia y alcance destinado al combate de los drones de clase I. Siguiendo los resultados del análisis multicriterio, la opción ideal sería incluir 4 sistemas THOR para la defensa frente a drones clase III y clase II y 12 REX-1, encargados de la defensa contra drones clase I. Estos últimos se podrían desplegar, además, junto a las compañías de armas (infantería y caballería) para proporcionar a dichas unidades protección inmediata frente a drones de clase I.

La segunda opción sigue el mismo modelo de la primera en cuanto al tipo y número de medios por Bía. La única diferencia sería la creación de un grupo exclusivo de DEW dentro del MAAA. Es decir, al igual que existen los diferentes grupos de armas convencionales dentro del MAAA, habría uno de DEW. Este grupo estaría formado por tres Bías de Armas DEW, con dos secciones cada una, una HEL y otra HPM, una Bía de Servicios y una Bía de PLMM. La orgánica sería la misma que en el apartado primero.



## 6. CONCLUSIONES

El desarrollo de tecnologías disruptivas condiciona el desarrollo sistemático de materiales y procedimientos innovadores en el ET para combatir las amenazas presentes. La AAA del ET, encargada de la protección ante amenazas aéreas, debe ser capaz de hacer frente a cada una de las amenazas hostiles, especialmente la amenaza emergente RPAS, frente a la que los medios convencionales están expuestos, ya que fueron desarrollados para hacer frente a amenazas tales como aeronaves, misiles balísticos o amenaza RAM. Esto hace que la amenaza dron se presente como la más peligrosa, así lo afirman los expertos en la materia.

En esta memoria se ha mostrado que los medios de la AAA son ineficaces contra la amenaza dron, algo que ha quedado constatado tanto en las entrevistas como en los cuestionarios. Demostramos además que los sistemas DEW son los más adecuados para solucionar este problema. Tras el estudio de las capacidades de los medios convencionales contra amenaza RAM y misil, se ha visto que su efectividad se ha reducido en los últimos años. La causa de esta reducción no es otra que la evolución tecnológica de los misiles balísticos, capaces de modificar su trayectoria en su fase terminal y el desarrollo de municiones inteligente. Consecuentemente, tras la realización del análisis en términos operacionales de las capacidades de los DEW, se ha demostrado que estos medios pueden ser el complemento perfecto de los sistemas convencionales para combatir amenazas RAM y misiles balísticos, no limitándose exclusivamente a amenaza UAV.

En la búsqueda del tipo de fuente DEW que mejor se adapte a las necesidades del entorno operativo, se ha demostrado que no existe una fuente elegida como favorita y se ha llegado a la conclusión de que la mejor opción sería adquirir medios DEW de los tipos HEL Y HPM.

Finalmente, se ha elegido como mejor opción la adquisición de un prototipo funcional DEW, en vez del desarrollo de un prototipo propio, en pros de tener un sistema DEW en el periodo de tiempo más breve posible. Tras el análisis de los sistemas elegidos como más afines, mediante un análisis multicriterio, los sistemas elegidos como favoritos han sido HELLADS, REX-1 y THOR. Seguidamente, y para finalizar, se ha planteado una estructura orgánica DEW dentro del MAAA, concretando el número de plataformas por Bía y atendiendo a las capacidades de los diferentes sistemas.



## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] PRIEGO, R. (2020). "Sistemas de energía dirigida. Nuevas posibilidades para la defensa aérea". **Global Strategy**. Disponible en <https://global-strategy.org/sistemas-de-energia-dirigida-nuevas-posibilidades-para-la-defensa-> [09-09-2021].
- [2] Ejército de Tierra, Mando de Adiestramiento y Doctrina, Dirección de Investigación, Doctrina, Orgánica y Materiales (2020). "Armas de Energía Dirigida". [09-09-2021].
- [3] Rodríguez, Y. (2020). "Armas láser". Ejércitos, Revista Digital sobre Armamento, Defensa y Fuerzas Armadas. Disponible en: <https://www.revistaejercitos.com/2020/02/29/armas-laser/>. [09/09/2021].
- [4] Ruiz, F. (2016). "Armas de Energía Dirigida: ¿El fin de las promesas inalcanzadas y el bajo rendimiento de los sistemas high energy laser (HEL)?". **Instituto Español de Estudios Estratégicos**. Disponible en: [https://www.ieee.es/Galerias/fichero/docs\\_opinion/2016/DIEEE012-2016\\_ArmasEnergiadirigida\\_FRuizDominquez.pdf](https://www.ieee.es/Galerias/fichero/docs_opinion/2016/DIEEE012-2016_ArmasEnergiadirigida_FRuizDominquez.pdf). [09/09/2021].
- [5] Pintado, C. (2018). "Armas de energía dirigida: del mito a la realidad". Revista de Pensamiento Estratégico y Seguridad (CISDE). Disponible en: <http://www.uajournals.com/cisdejournal/journal/6/3.pdf>. [09/09/2021].
- [6] Marín, JA. (2021). "Guerra de drones en el Cáucaso Sur: lecciones aprendidas de Nagorno Karabaj". **Instituto Español de Estudios Estratégicos**. Disponible en: [https://www.ieee.es/Galerias/fichero/docs\\_opinion/2021/DIEEE021\\_2021\\_JOSMAR\\_DronesCaucaso.pdf](https://www.ieee.es/Galerias/fichero/docs_opinion/2021/DIEEE021_2021_JOSMAR_DronesCaucaso.pdf) [11/09/2021].
- [7] De Carlos, J. (2018). "Horizonte 2035. OTAN, Unión Europea y España". **Instituto Español de Estudios Estratégicos**. Disponible en: [https://www.ieee.es/Galerias/fichero/docs\\_opinion/2018/DIEEE017-2018\\_Horizonte\\_2035\\_OTAN-UE-Espana\\_JavierdeCarlos.pdf](https://www.ieee.es/Galerias/fichero/docs_opinion/2018/DIEEE017-2018_Horizonte_2035_OTAN-UE-Espana_JavierdeCarlos.pdf). [12/09/2021].
- [8] Ejército de Tierra (2019). "Fuerza 2035". Disponible en: [https://ejercito.defensa.gob.es/Galerias/Descarga\\_pdf/EjercitoTierra/Publicaciones/fuerza\\_35.pdf](https://ejercito.defensa.gob.es/Galerias/Descarga_pdf/EjercitoTierra/Publicaciones/fuerza_35.pdf) [13-09-2021].
- [9] Ejército de Tierra, Mando de Adiestramiento y Doctrina, Dirección de Investigación, Doctrina, Orgánica y Materiales (2020). "Armas de Energía Dirigida. Generalidades. Láser". [17/09/2021].
- [10] Ejército de Tierra, Mando de Adiestramiento y Doctrina, Dirección de Investigación, Doctrina, Orgánica y Materiales (2020). "Armas de Energía Dirigida. Radiofrecuencia. Haces de Partículas. Sónicas". [17/09/2021].
- [11] Ejército de Tierra. "Cañón AAA 35/90 GDF 007". **Artillería Antiaérea, Materiales**. Disponible en: [https://ejercito.defensa.gob.es/materiales/artilleria\\_antiaerea/caaa35-90-007.html](https://ejercito.defensa.gob.es/materiales/artilleria_antiaerea/caaa35-90-007.html) [19-09-2021].
- [12] Ejército de Tierra. "Sistema misil Hawk". **Artillería Antiaérea, Materiales**. Disponible en: [https://ejercito.defensa.gob.es/materiales/artilleria\\_antiaerea/HAWK.html](https://ejercito.defensa.gob.es/materiales/artilleria_antiaerea/HAWK.html) [19-09-2021].
- [13] Ejército de Tierra. "Sistema misil Mistral". **Artillería Antiaérea, Materiales**. Disponible en: [https://ejercito.defensa.gob.es/materiales/artilleria\\_antiaerea/MISTRAL.html](https://ejercito.defensa.gob.es/materiales/artilleria_antiaerea/MISTRAL.html) [19-09-2021].
- [14] Ejército de Tierra. "Sistema de misil antiaéreo avanzado, NASAMS". **Artillería Antiaérea, Materiales**. Disponible en: [https://ejercito.defensa.gob.es/materiales/artilleria\\_antiaerea/NASAMS.html](https://ejercito.defensa.gob.es/materiales/artilleria_antiaerea/NASAMS.html) [19-09-2021].
- [15] Ejército de Tierra. "Sistema misiles Patriot". **Artillería Antiaérea, Materiales**. Disponible en: [https://ejercito.defensa.gob.es/materiales/artilleria\\_antiaerea/PATRIOT.html](https://ejercito.defensa.gob.es/materiales/artilleria_antiaerea/PATRIOT.html) [19-09-2021].
- [16] Navarro, J.M. (2015). "Munición 35x228 mm. para los cañones antiaéreos GDF del Ejército de Tierra. **Defensa.com**". Disponible en: <https://www.defensa.com/espana/municion-35x228-mm-para-canones-antiaereos-gdf-ejercito-tierra> [21/09/2021].



- [17] El Confidencial (2019). "El Ejercito logra derribar drones con artillería antiaérea". **Elconfidencialdigital.com**. Disponible en: <https://www.elconfidencialdigital.com/articulo/defensa/ejercito-logra-derribar-drones-artilleria-antiaerea/20190625184957127208.html> [21/09/2021].
- [18] GTD. (2010). "Así ataca un misil balístico intercontinental". **gtd** [Blog]. 14 de abril. Disponible en: <https://www.gtd.es/es/blog/asi-ataca-un-misil-balistico-intercontinental> [23/09/2021].
- [19] Departamento de Seguridad Nacional. (2021). "Prórroga del Tratado Start III: Avance en el régimen de No Proliferación", 10 de Febrero. Consultado en: <https://www.dsn.gob.es/es/actualidad/sala-prensa/pr%C3%B3rroga-del-tratado-start-iii-avance-r%C3%A9gimen-no-proliferaci%C3%B3n> [23/09/2021].
- [20] Noticias ONU, Paz y Seguridad. (2020). "El Tratado para la Prohibición de Armas Nucleares entrará en vigor en enero", 25 de Octubre. Consultado en: <https://news.un.org/es/story/2020/10/1483002> [23/09/2021].
- [21] Feickert, A. (2018). "U.S. Army Weapons-Related Directed Energy (DE) Programs: Background and Potential Issues for Congress". **Congressional Research Service**. Disponible en: [https://digital.library.unt.edu/ark:/67531/metadc1157130/m2/1/high\\_res\\_d/R45098\\_2018Feb07.pdf](https://digital.library.unt.edu/ark:/67531/metadc1157130/m2/1/high_res_d/R45098_2018Feb07.pdf) [25/09/2021].
- [22] Camacho. J. (2018). **Estrategias de ataque y defensa de enjambres de drones heterogéneos**. Trabajo Fin de Grado. Universidad Politécnica de Madrid. [25/09/2021].
- [23] Ministerio de Defensa, Dirección General de Armamento y Material (2015). "PLAN DIRECTOR RPAS (Remotely Piloted Aircraft Systems)". Disponible en: <https://www.defensa.gob.es/Galerias/dgamdocs/plan-director-RPAS.pdf> [25/09/2021].
- [24] Expósito, J.L. (2018). "Volar con los pies en el suelo". **Revista Española de Defensa**. Disponible en: <http://www.defensa.es/Galerias/gabinete/red/2018/red-349-drones.pdf> [25/09/2021].
- [25] Rodríguez, Y. (2020). "Armas láser". **Ejércitos, Revista Digital sobre Armamento, Defensa y Fuerzas Armadas**. Disponible en: <https://www.revistaejercitos.com/2020/02/29/armas-laser/> [28/09/2021].
- [26] Airforce technology. (2021). "High Energy Liquid Laser Area Defense System (HELLADS) Programme". **airforcetechnology.com**. Disponible en: <https://www.airforce-technology.com/projects/high-energy-liquid-laser-programme/> [01/10/2021].
- [27] U.S. ARMY SPACE AND MISSILE DEFENSE COMMAND. "High Energy Laser Tactical Vehicle Demonstrator (HEL TVD)". Disponible en: [https://www.smdc.army.mil/Portals/38/Documents/Publications/Fact\\_Sheets/Archived\\_Fact\\_Sheets/HEL\\_TVD.pdf](https://www.smdc.army.mil/Portals/38/Documents/Publications/Fact_Sheets/Archived_Fact_Sheets/HEL_TVD.pdf) [01/10/2021].
- [28] GlobalSecurity. "Chinese Laser Weapons". **globalsecurity.org** [Blog]. Disponible en: <https://www.globalsecurity.org/military/world/china/laser.htm> [02/10/2021].
- [29] Air force Research Laboratory. (2021). "Army partners with Air Force's THOR for base defense". **U.S. Air Force**, 23 de Febrero. Consultado en: <https://www.af.mil/News/Article-Display/Article/2511792/army-partners-with-air-forces-thor-for-base-defense/> [01/10/2021].
- [30] Ashley Roque. (2021). "US Army eyes THOR fielding by 2024". **JANES**, 23 de Febrero. Consultado en: <https://www.janes.com/defence-news/news-detail/us-army-eyes-thor-fielding-by-2024> [02/10/2021].
- [31] Kúbinka Rusia. (2018). "Kalashnikov empieza producción en serie de fusil electrónico contra drones". **SPUTNIK**, 21 de Agosto. Consultado en: <https://mundo.sputniknews.com/20180821/nuevas-armas-antidron-rusas-1081355216.html11> [02/10/2021].
- [32] Nikolái Litovkin. (2017). "Kaláshnikov presenta su primer rifle antídrones". **Russia Beyond**, 31 de Agosto. Consultado en: [https://es.rbth.com/tecnologias/defensa/2017/08/31/kalashnikov-presenta-su-primer-rifle-anti-drones\\_831600](https://es.rbth.com/tecnologias/defensa/2017/08/31/kalashnikov-presenta-su-primer-rifle-anti-drones_831600) [02/10/2021].



- [33] Rheinmetall Defence (2016). "Laser weapons offer precision and minimise collateral damage". Disponible en: [https://www.rheinmetall-defence.com/en/rheinmetall\\_defence/public\\_relations/themen\\_im\\_fokus/2016\\_02\\_23\\_laserwaffen\\_bieten\\_praezision/index.php#:~:text=Press%20commentary%3A%20Laser%20weapons%20offer%20precision%20and%20minimise%20collateral%20damage&text=At%20higher%20power%20levels%2C%20lasers,or%20neutralise%20unmanned%20aerial%20systems](https://www.rheinmetall-defence.com/en/rheinmetall_defence/public_relations/themen_im_fokus/2016_02_23_laserwaffen_bieten_praezision/index.php#:~:text=Press%20commentary%3A%20Laser%20weapons%20offer%20precision%20and%20minimise%20collateral%20damage&text=At%20higher%20power%20levels%2C%20lasers,or%20neutralise%20unmanned%20aerial%20systems) [10/10/2021].
- [34] Aeronautic Investments. (2019). "Táticas de Defensa: Contramedidas de Radar Chaff". **Aeronautic Investments, Inc.** Consultado en: <https://aeroinvestments.com/taticas-de-defensa-contramedidas-de-radar-chaff/> [10/10/2021].
- [35] United Nations Audiovisual Library of International Law. (2010). "Convención sobre prohibiciones o restricciones del empleo de ciertas armas convencionales que puedan considerarse excesivamente nocivas o de efectos indiscriminados". Consultado en: [https://legal.un.org/avl/pdf/ha/cprccc/cprccc\\_ph\\_s.pdf](https://legal.un.org/avl/pdf/ha/cprccc/cprccc_ph_s.pdf) [12/11/2021].
- [36] Agencia EFE. (2021). "España, segundo aliado que menos proporción de PIB dedica a defensa en 2021", 11 de Junio. Consultado en: <https://www.efe.com/efe/espana/politica/espana-segundo-aliado-que-menos-proporcion-de-pib-dedica-a-defensa-en-2021/10002-4560085> [13/11/2021].
- [37] Jens Stoltemberg. (2021). (2021). "El gasto en defensa de los países de la OTAN aumentó en \$260.000 millones en 7 años". **SPUTNIK**, 18 de Noviembre. Consultado en: <https://mundo.sputniknews.com/20211118/el-gasto-en-defensa-de-los-paises-de-la-otan-aumento-en-260000-millones-en-7-anos-1118381226.html> [13/11/2021].
- [38] Equipo de expertos Universidad Internacional de Valencia. (2018) "RPAS, UAV y drones: ¿Cuáles son las diferencias?". **Universidad Internacional de Valencia**, 11 de Abril. Consultado en: <https://www.universidadviu.com/es/actualidad/nuestros-expertos/rpas-uav-y-drones-cuales-son-las-diferencias> [15/11/2021].

# ANEXOS

*ANEXO I: SISTEMAS CONVENCIONALES DE LA AAA DEL ET*

*ANEXO II: GRUPO DE EXPERTOS*

*ANEXO III: MODELO DE ENTREVISTA*

*ANEXO IV: MODELO DE CUESTIONARIO*

*ANEXO V: EJERCICIO C-UAS DEL RAAA 71*

*ANEXO VI: ANALISIS DE RIESGOS*

## ANEXO I. Ficha técnica sistemas convencionales de la AAA del ET

### CAÑON 35-90 GDF-001 Y GDF-007

Tabla 8: Ficha técnica Cañon 35/90. Fuente: Elaboración propia

EN SERVICIO (AÑO)	GDF-001: 1970 (Actualización GDF-007: 2003)
CALIBRE	35 mm
CADENCIA	550 dpm (bitubo)
VELOCIDAD DE LA MUNICIÓN	1175 m/s
ALCANCE	4000 m
TECHO	2000 m
CAPACIDADES	DEFENSA CONTRA ATAQUES A BAJA Y MUY BAJA COTA, CAPACIDAD C-RAM
MUNICIÓN	Munición convencional 35 mm (HEI, SAPHEI, FAPDS, ADELANTE, TP) y munición AHEAD



Ilustración 30: Cañon 35/90 GDF-007. Fuente: infoboe.es

## MBDA MISTRAL

Tabla 9: Ficha técnica MBDA Mistral. Fuente: Elaboración propia

EN SERVICIO (AÑO)	1988
DIAMETRO	90 mm
VELOCIDAD DEL MISIL	2,5 mach (680,58 m/s)
ALCANCE	6000 m
TECHO	3000 m
CAPACIDADES	DEFENSA CONTRA ATAQUES A BAJA Y MUY BAJA COTA (PRINCIPALMENTE HELICÓPTEROS)
SISTEMA DE GUIA	INFRARROJA
MUNICIÓN	Misil francés SATCP (Sol Aire À Très Courte Portée)



Ilustración 31: MBDA Mistral. Fuente: Galaxia Militar. Información de Defensa y Actualidad Militar

## SAM MIM-23 HAWK

Tabla 10: Ficha técnica SAM MIM-23 HAWK. Fuente: *Elaboración propia*

EN SERVICIO (AÑO)	1962
DIAMETRO	370 mm
Nº MISILES	3 misiles por lanzador
VELOCIDAD DEL MISIL	2,5 mach (680,58 m/s)
ALCANCE	40000 m
TECHO	18000 m
CAPACIDADES	DEFENSA CONTRA ATAQUES A MEDIA Y BAJA COTA (AMENAZA MÚLTIPLE LASHE)
SISTEMA DE GUIADO	AUTOGUIADO DIRECTO SEMIACTIVO
MUNICIÓN	Misil MIM-23 HAWK



Ilustración 32: SAM MIM-23 HAWK. Fuente: [defensa.com](http://defensa.com)

## NASAMS

Tabla 11: Ficha técnica NASAMS. Fuente: Elaboración propia

EN SERVICIO (AÑO)	1998
DIAMETRO	178 mm
CADENCIA + Nº MISILES	2 segundos + posibilidad de lanzar los 6 misiles a la vez
VELOCIDAD DEL MISIL	2,5 mach (680,58 m/s)
ALCANCE	25000 m
TECHO	10000 m
CAPACIDADES	DEFENSA CONTRA ATAQUES A MEDIA COTA, SIN NECESIDAD DE VISIÓN DIRECTA
SISTEMA DE GUIADO	AUTOGUIADO ACTIVO
MUNICIÓN	Misil AIM-120 AMRAAM/ Misil AIM-120 C



Ilustración 33: NASAMS. Fuente: infodefensa.com

## MIM-104 PATRIOT

Tabla 12: Ficha técnica MIM-104 Patriot. Fuente: *Elaboración propia*

EN SERVICIO (AÑO)	1981
DIAMETRO	410 mm
Nº MISILES	4 misiles por lanzador
VELOCIDAD DEL MISIL	5 mach (1701,45 m/s)
ALCANCE	70000 m
TECHO	24000 m
CAPACIDADES	DEFENSA CONTRA MISILES BALÍSTICOS TÁCTICOS, MISILES DE CRUCERO, OBJETOS DE PEQUEÑA RCS Y AVIONES DE ULTIMA GENERACIÓN
SISTEMA DE GUIADO	SEMIACTIVO Y TMV EN FASE TERMINAL
MUNICIÓN	Misil PAC-3 MSE



Ilustración 34: MIM-104 Patriot. Fuente: [lazaro.es](http://lazaro.es)

## ANEXO II. Grupo de Expertos

### **Capitán Francisco Javier Franco Rodríguez (Cap Jefe BPLM GAAA II/30)**

El Cap. Franco pertenece a la 68 promoción de la EOF (Escala de Oficiales), a la XVII EEO (Escala a Extinguir de Oficiales) y la XXX de la EBS (Escala Básica de Suboficiales). Cuenta con más de 20 de experiencia en el servicio, habiendo pasado por la escala de suboficiales previamente antes de ser oficial, lo reafirma su gran experiencia en unidades de artillería. Como suboficiales fue jefe de la pieza de costa de 152,4 mm en el RACTA N°5 en Tarifa. En su empleo de oficial ha estado destinado en el RAAA II/30. En el empleo de teniente ha sido jefe de numerosas secciones, empezando en la Scc de Abastecimiento, pasando por la Scc de Transmisiones y terminando el empleo de teniente destinado en la Scc de P.M de la BPLM, ejerciendo el rol de TDO. Finalmente en su empleo de capitán es actualmente el Jefe de la BPLM, realizando la función de S2 Y S3. El paso por todas estas secciones/baterías le ha permitido enriquecer sus conocimientos en numerosas ramas, lo que le ha hecho afirmarse como candidato perfecto para ser entrevistado.

### **Teniente Coronel Vicente Gómez Ponce (Tcol Jefe del GAAA II/30)**

El Tcol. X, pertenece a la 55 promoción de la EOF y a la 288 promoción de la escala perteneciente al arma de artillería. Salió de la AGM (Academia General Militar), en el año 2000. En su primer destino como teniente y parte del empleo de capitán estuvo en el GACALEG (Grupo de Artillería de Campaña de la Legión), cesando en el destino en 2008. De 2008 a 2011 estuvo destinado en la Escuela de Guerra del Ejército y finalizó su empleo de capitán hasta el 2012 destinado en el RACA 11, situado en Burgos y León. En su ascenso a comandante, cursó el curso de Estado Mayor del Ejército y una vez lo obtuvo lo ejerció de nuevo en la Escuela de Guerra del Ejército hasta el año 2016. En el año 2016, obtuvo destino en el FIFAS hasta el año 2018. Desde el año 2018 hasta el 2021, estuvo destinado en el EM (Estado Mayor) de la UE. Finalmente ha sido destinado al GAAA II/30 del RAMIX 30, como jefe del grupo del mismo, donde ejerce el empleo de teniente coronel actualmente. Como cursos realizados cabe destacar el curso de EM, el curso de Paracaidista de Mandos y el curso avanzado de Inteligencia y Seguridad. En despliegues internacionales, ha participado una vez en Kosovo (COIN-Contrainsurgencia), dos veces en Líbano (INTE-Inteligencia) y recientemente en Grecia en el CG de la UE en la Operación EUROFOR RCA en J-5 Planes.

### **Capitán Carlos Azorín Auría (Cap Jefe de la 1ª Bía del GAAA II/30)**

El Cap. Azorín pertenece a la 71 promoción de la EOF y a la 304 promoción referida al arma de artillería. En su empleo de teniente fue destinado al GAAA II/30 en Ceuta, donde ejerció en papel de Jefe de Scc del Cañón 35/90. Posteriormente también durante el empleo de teniente y debido a la adquisición de experiencia como teniente, fue destinado a la BPLM del GAAA II/30, donde realizó la función de TDO en el COAAAS-M de la Bía. Ha participado en numerosos ejercicios como TDO, destacando entre otros los ejercicios DARDO, en la que se produce la integración de todas las UDAAAS con el correspondiente ARS activado y se realiza una simulación. Finalmente, tras su ascenso a capitán fue destinado a la Bía de Cañones de nuevo, siendo el Cap Jefe de dicha Bía.

### **Sargento 1º Mohamed Ali Mustafa (TDA del FDC de la Bía de Plana del GAAA II/30)**

El Sgto 1º pertenece a la 35 promoción de la EBS (Escala Básica de Suboficiales). Como destino cuenta con 8 años destinado en el Ramix 32 de Melilla como jefe de pieza y TCA de la Dirección de Tiro Skydor. Posteriormente fue destinado al Ramix 30 en Ceuta donde ejerció el puesto de TDA del FDC de la Bía de Plana. Cuenta con el 2222 de árabe. Finalmente, ha tenido la oportunidad de participar en la operación AI/VIII Operation Inherent Resolve Park

### **Sargento Alberto Jiménez (Jefe del RAC 3D del GAAA II/30)**

### **ANEXO III. Modelo de entrevista**

- ¿Podría contarme datos acerca de su trayectoria profesional (misiones, destinos, cursos...)?
- ¿Cuál es la visión actual que tiene de la AAA española, así como del entorno operativo?
- ¿Cree que las guerras futuras seguirán el modelo de la guerra de Nagorno Karabaj?
- ¿Considera suficiente las capacidades de la AAA frente a la amenaza RAM?
- ¿Considera suficiente las capacidades de la AAA frente a los misiles balísticos?
- ¿Posee usted conocimientos acerca de la amenaza DRON-RPAS-UAV?
- ¿Considera suficiente las capacidades de los medios actuales de la AAA frente la amenaza DRON-RPAS-UAV?
- ¿Ha escuchado hablar de las capacidades de los medios EDW?
- ¿Ha tenido la posibilidad de trabajar con medios EDW o similares?
- ¿Cree que es suficiente con la modernización de los medios de AAA actuales contemplados en la Brigada 2035?
- ¿Cree que los DEW pueden tener limitaciones jurídicas, políticas y humanitarias?
- ¿Cree que es necesaria la incorporación medios EDW para la AAA en el ET español? ¿Por qué?
- En caso afirmativo:
  - ¿Cree que sería posible la integración de estos sistemas con los medios actuales?
  - ¿Qué ventajas e inconvenientes encuentra frente a los medios SAC actuales?
  - ¿Cuál es su opinión acerca de que la Brigada 2035 no contemple la adquisición de algún medio DEW?
- En caso negativo:
  - ¿Cómo se podría hacer frente a las amenazas actuales con los medios convencionales actuales?
  - ¿Cree que es suficiente con la aportación de las capacidades que nos presta la OTAN?
- Tiene conocimientos acerca de las armas Láser de Alta Potencia o las Armas de Radiofrecuencia.
- En caso afirmativo:
  - ¿Cuál de los dos cree que sería más interesante de implementar por ajustarse más a las necesidades de la AAA y sus amenazas?
  - ¿Cuál cree que podría ser el principal riesgo de la adquisición de medios DEW?
  - Finalmente, ¿desea hacer alguna aportación adicional a esta entrevista?

Muchas gracias por su colaboración.

Ceuta,      de      de 2021

## ANEXO IV: Modelo de cuestionario

a) ¿A QUÉ ESCALA DEL ET PERTENECE?

Oficiales  Suboficiales  Tropa

b) ¿CUÁNTOS AÑOS DE SERVICIO TIENE?

Menos de 10  Entre 10 y 20  Más de 20

c) ¿TIENE CONOCIMIENTOS/HA OÍDO ESCUCHAR LAS CAPACIDADES DE LOS SISTEMAS DEW?, PUEDE SER CONCEPTUAL O PRÁCTICO

A continuación, se exponen 15 preguntas, referentes a los sistemas convencionales y a los sistemas DEW. Rellene las preguntas en una escala del 1 al 10, siendo el 1 (en total desacuerdo) y 10 (totalmente de acuerdo), según su criterio.

d) LOS MEDIOS CONVENCIONALES DE LA AAA SON EFICACES FRENTE A LOS MISILES BALÍSTICOS.

1      2      3      4      5      6      7      8      9      10

e) LOS MEDIOS CONVENCIONALES DE LA AAA SON EFICACES FRENTE A LAS AMENAZAS RAM (Rockets, Artillery and Mortars)

1      2      3      4      5      6      7      8      9      10

f) LOS MEDIOS ACTUALES DE LA AAA SON EFICACES FRENTE A LA AMENAZA DRON-RPAS-UAV.

1      2      3      4      5      6      7      8      9      10

g) LOS MEDIOS ACTUALES PERMITEN GARANTIZAR LA DEFENSA DE ESPAÑA DE FORMA AUTONOMA SIN AYUDA DE ORGANIZACIONES INTERNACIONALES COMO LA OTAN.

1      2      3      4      5      6      7      8      9      10

h) CONSIDERA SUFICIENTE LA MODERNIZACIÓN DE LOS MEDIOS ACTUALES CONTEMPLADOS EN EL MARCO DE LA FUERZ 2035 (MISTRAL III, NASAMS II+, PATRIOT 3+) PARA ADAPTARSE AL ACTUAL ENTORNO OPERATIVO

1      2      3      4      5      6      7      8      9      10

i) EL ET DEBERÍA PLANTEARSE LA POSIBILIDAD DE INTEGRAR SISTEMAS DEW EN LA BRIGADA EXPERIMENTAL 2035.

1      2      3      4      5      6      7      8      9      10

- j) EL ET DEBERÍA ADQUIRIR UNO DE LOS PROTOTIPOS ACTUALES DEW (TALES COMO LOS PROTOTIPOS DE EEUU, CHINA...).

1      2      3      4      5      6      7      8      9      10

- k) EL ET DEBERÍA LLEVAR A CABO UN ESTUDIO Y DESARROLLAR UN PROTOTIPO PROPIO DEW QUE SE ADAPTASE A LAS NECESIDADES DEL ENTORNO OPERATIVO ACTUAL.

1      2      3      4      5      6      7      8      9      10

- l) LOS SISTEMAS DEW PLANTEAN LA POSIBILIDAD DE COMPLEMENTAR A LOS SISTEMAS CONVENCIONALES ACTUALES

1      2      3      4      5      6      7      8      9      10

- m) LOS SISTEMAS DEW PLANTEAN LA POSIBILIDAD DE SUSTITUIR A LOS SISTEMAS ACTUALES

1      2      3      4      5      6      7      8      9      10

- n) LOS LASERES DE ALTA POTENCIA SON LA OPCIÓN QUE MEJOR SE ADAPTA A LAS NECESIDADES DEL ENTORNO OPERATIVO DE LA AAA DEL ET DENTRO DE LOS DEW.

1      2      3      4      5      6      7      8      9      10

- o) LAS ARMAS DE RADIOFRECUENCIA SON LA OPCIÓN QUE MEJOR SE ADAPTA A LAS NECESIDADES DEL ENTORNO OPERATIVO DE LA AAA DEL ET DENTRO DE LOS DEW.

1      2      3      4      5      6      7      8      9      10

- p) LA INCOPORACIÓN DE LOS DEW NECESITARÁ DE UNA GRAN ESPECIALIZACIÓN DEL PERSONAL A SU CARGO.

1      2      3      4      5      6      7      8      9      10

- q) SERÁ POSIBLE LA INTEGRACIÓN DE LOS DEW CON LOS SISTEMAS ACTUALES DE MANDO Y CONTROL

1      2      3      4      5      6      7      8      9      10

- r) LOS SISTEMA DEW SE PLANTEAN COMO LA MEJOR OPCIÓN PARA EL FUTURO ENTORNO OPERATIVO

1      2      3      4      5      6      7      8      9      10

## **ANEXO V: Resultados del ejercicio C-UAS del RAAA 71**

En este anexo se muestran los resultados del ejercicio C-UAS, realizado por el RAAA 71. El RAAA 71 ha sido elegido por el MAAA, como unidad encargada de ver la eficacia de los sistemas convencionales frente a la amenaza dron. Actualmente han realizado un único ejercicio experimental.

En marzo del 2021 se realizó un tiro de experimentación con los siguientes sistemas de armas:

- 35/90 Skydor.
- Ametralladora media 7,62mm
- Ametralladora pesada 12,70mm
- Escopeta con munición específica contra UAS.

El resultado de dicho ejercicio fue el siguiente:

- El 35/90 Skydor, en su versión GDF-0007, con munición convencional, no logró batir el dron
- La ametralladora MG-42, si consiguió derribar el dron, no obstante, debido a su limitado alcance, consiguió este derribo en una zona excesivamente próxima a la ametralladora.
- La ametralladora pesada 12,70mm, sobre vehículo, no consiguió derribar el dron.
- La escopeta con munición específica contra UAS, si consiguió derribar el dron.

### **Conclusión**

El único sistema propiamente de AAA, no consiguió derribar el RPAS, demostrando la ineficacia de los sistemas convencionales de la AAA, no obstante, en noviembre de 2021, se va a llevar a cabo otro ejercicio experimental con munición AHEAD. Estos resultados reflejan la precariedad a la que está sometida la AAA del ET, ante la amenaza UAV.

## ANEXO VI: Análisis de riesgos

Título Proyecto:		UTILIZACIÓN DE MEDIOS DE ENERGÍA DIRIGIDA EN LOS SISTEMAS DE DEFENSA ANTIAÉREA						Jefe de Proyecto:		David Jiménez Altarejos	
Evaluación de riesgos											
ID	Descripción riesgo	Categoría riesgo	Causa del riesgo	Impacto (H,M,L)	Probabilidad (1,2,3)	Clase riesgo	Efectos riesgo	Medida / Alternativas	Clase riesgo tras medida	Tendencia	
1	Imposibilidad de integración con los sistemas de mando y control	Técnico	Las DEW, requieren de otros software diferentes a los de los sistemas de mando y control actuales	M	2	2M	Mayor tiempo requerido en la transmisión de órdenes en el proceso de disparo	Desarrollo/Adquisición de un sistema con el mismo software que los sistemas de mando y control	1M	Decreciente	
2	Imposibilidad de integración con los sistemas actuales	Técnico	Las DEW, no se complementan con los sistemas actuales, de tal forma que se crea un escudo antiaéreo irregular	M	1	1M	La burbuja antiaérea se constituye de forma ineficaz, quedando expuesto a las amenazas	Desarrollo/Adquisición de varios sistemas que se complementen mutuamente y con los sistemas convencionales	1M	Igual	
3	Carenza presupuestaria	Coste	El presupuesto para la adquisición de DEW no es el suficiente	H	3	3H	Tiempos de adquisición excesivamente largos	Adquisición de medios acordes a un presupuesto de partida	2H	Decreciente	
4	Estudio ineficaz de la amenaza	Estratégico/Operacional	El tipo de amenaza estudiada como las más probable es erróneo.	H	2	2H	Unidades expuestas al no tener medios para combatir a la nueva amenaza	Investigación por parte de inteligencia de la amenaza aérea en los conflictos recientes	1H	Decreciente	
5	Limitaciones jurídicas	Legal	Los convenios y leyes se oponen al uso de energía dirigida por sus efectos	H	1	1H	Restricciones al uso de energía dirigida	Adquisición de un sistema de menor potencia que cumpla con las limitaciones jurídicas	1H	Igual	
6	Limitaciones políticas y humanitarias	Legal	Las DEW suponen no respetar el DHI	M	2	2M	Restricciones al uso de energía dirigida	Adquisición de un sistema de menor potencia que cumpla con las limitaciones políticas y humanitarias	1M	Decreciente	
7	Efectos colaterales sobre el ser humano	Técnico	Desconocimiento de los efectos, de las ondas electromagnéticas a largo plazo en el cuerpo humano	H	2	2H	Prohibición del uso de energía dirigida, salvo causas excepcionales	Estudio de los efectos dependiendo de la frecuencia causados en el ser humano a largo plazo	1H	Decreciente	
8	Plazos extensos de adquisición	Logístico	Tecnología todavía en desarrollo	H	3	3H	Exposición frente a la amenaza aérea	Adquisición de un prototipo con evidencias científicas y prácticas	1H	Decreciente	