



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

LA AMENAZA FUTURA DE LOS UAV Y NANO-UAV EN LA DEFENSA ANTIAÉREA

Autor

CAC D. Jose Ramón Álvarez Moya

Directores

D. ^a Marta Torralba Gracia

Capitán D. Pedro Andrés Rubio García

Centro Universitario de la Defensa-Academia General Militar

2015

Agradecimientos

Todo este trabajo de investigación, así como las Prácticas de Mando no hubiesen sido posibles sin el grandísimo esfuerzo de todo el Regimiento de Artillería Antiaérea 81, en particular la primera Batería Roland, por apoyarme, ayudarme e involucrarse conmigo haciendo que llegase a sentirme como un miembro más del Regimiento. Resaltar especialmente al Teniente Jose Carlos Martínez Fernández, con el que estuve adjunto por su paciencia, interés, dedicación, sinceridad y buen hacer desde el primer minuto, y del cual he aprendido enormemente y al Teniente Pablo Álvarez Bedia, que también merece una mención por su cercanía y su disposición. Por supuesto no me dejo apartado al Director Militar tanto del presente TFG como de las Prácticas de Mando, el Capitán Pedro Andrés Rubio García quien mediante su esfuerzo consiguió integrarme en la Batería, especialmente tomándose la molestia de procurar que participase de forma activa en el día a día y ejercicios de instrucción cotidianos de la Unidad, sirviendo de ejemplo y dejándome bastante libertad en las actividades en que yo ejercía el mando, lo cual es de agradecer, pero también corrigiéndome o aconsejándome al respecto con gran acierto y paciencia, lo que es de agradecer más todavía.

Es también justo mencionar aquí a los miembros del RINT 1, especialmente al Capitán Oscar Pérez Paredes que me guió y orientó durante mi visita al mismo y me procuró gran cantidad de documentación sobre los UAV. Y, por último pero no por ello menos importante, quiero dejar constancia de mi enorme agradecimiento a la Directora Académica, Marta Torralba Gracia, por su disponibilidad y disposición a lo largo de todos estos meses, su cercanía y sus imprescindibles consejos, correcciones y recomendaciones sin los cuales no hubiese sido ni remotamente posible sacar adelante este Trabajo Fin de Grado.

Índice

Índices de tablas, figuras y anexos	2
Resumen	3
1 – Introducción.....	4
2 – Estado del arte de los UAV	5
2.1 – Generalidades	5
2.2 – Clasificación.....	8
2.3 – Aplicaciones.....	9
2.4 – Procedimientos de uso	10
2.5 – Características futuras de los sistemas UAV de aplicación militar	12
2.6 – Ejemplos de UAV en el ámbito militar	13
3 - Estado del arte de micro- y nano-UAV	14
3.1 – Introducción	14
3.2 – Aplicaciones.....	15
3.3 – El “enjambre”	16
3.4 – Ejemplos de aplicación de micro- y nano-UAV	18
4 – Defensa Antiaérea en relación a UAV y micro-UAV	19
4.1 – Introducción	19
4.2 – Debilidades de los UAV a explotar	20
4.3 – Sistemas de armas actuales	21
4.4 – Propuestas y medidas de defensa contra UAV y nano-UAV	22
5 - Conclusiones.....	24
Bibliografía.....	26

Índice de tablas

Tabla 1. Análisis DAFO de sistemas aéreos no tripulados	6
Tabla 2. Clasificación OTAN de los UAV	8
Tabla 3. Análisis (DAFO) de los micro- y nano-UAV	15
Tabla 4. Propuesta de categorías de clasificación para identificar distintos tipos de enjambre	17
Tabla 5. Ejemplos referentes a sistemas y proyectos de armas de energía dirigida	24

Índice de figuras

Figura 1. Searcher Mk III de IAI, en España denominado "PASI"	10
Figura 2. Modos de funcionamiento del PASI	11
Figura 3. T-Hawk, PASI, RAVEN, Predator y Reaper	13
Figura 4. PD-100 Black Hornet	19
Figura 5. Cañón 35/90	21
Figura 6. MIM-104C Patriot	21

Índice de anexos

ANEXO I – Siglas y terminología	29
ANEXO II – Organización	34
ANEXO III – Características técnicas de los UAV mencionados	36

Abstract

In the last years, there has been an exponential increase of UAV (Unmanned Aerial System or, as they are more popularly known, “drones”) presence, both in the military, in which environment they were used in scenarios like Afghanistan War of 2001, where there is probably the best example of their functional use beginning and development, and in the civil aspect within they are becoming more common as the time goes by.

This work aims to analyse the role of the Anti-Aircraft Defence related to this incipient presence in the sky, taking into account that two armed forces of similar strength, both using UAV, have never engaged in combat so far today. For this reason, these systems will be studied, and so will be the function of the present day Anti-Aircraft Defence. Finally, conclusions will be exposed to establish specific measures and recommendations in order to face this increasing threat.

Resumen

En los últimos años, se ha asistido a un aumento exponencial de la presencia de los UAV (*Unmanned Aerial System*), o drones, como se les conoce popularmente, tanto en el ámbito militar donde se han empleado en escenarios como la guerra de Afganistán que se inició en 2001 y en la cual probablemente se ha visto el inicio y expansión de su uso como en el civil, donde cada vez son más comunes.

El presente trabajo pretende analizar el papel de la Defensa Antiaérea en relación a esta incipiente presencia en los cielos, teniendo en cuenta que no se ha dado hasta ahora el caso de enfrentarse dos fuerzas armadas de similar capacidad empleando los UAV. Así, se analizan estos sistemas, el papel de la Defensa Antiaérea moderna y se proponen como conclusiones una serie de medidas a adoptar para afrontar mejor esta creciente amenaza.

1 – Introducción

A lo largo de la historia, desde el gigante de bronce Talos en la mitología griega, a la obras de ciencia ficción de Isaac Asimov, el ser humano siempre ha deseado desarrollar máquinas autónomas, que sean capaces de realizar tareas por sí mismas e incluso, de crear una inteligencia artificial (IA) que refleje e incluso supere a la humana, siendo capaz de evaluar situaciones, tomar sus propias decisiones y, en definitiva, de adaptarse a la situación para efectuar la tarea asignada con la mayor eficiencia posible. El avance de la robótica y de las inteligencias artificiales hoy en día es muy prometedor, produciéndose una curva de progreso exponencial que induce al optimismo respecto al objetivo, que pese a todo aún no se ha alcanzado, de lograr una verdadera IA.

En esta línea, el objetivo de este trabajo es analizar, en función de su utilidad y relación con el papel de la Defensa Antiaérea, las características y particularidades de los UAV, cuyo desarrollo va irremediamente unido al de las inteligencias artificiales ya que el objetivo es lograr un sistema aéreo autónomo capaz de decidir por sí mismo ante distintas situaciones en lugar de depender de las órdenes de un ser humano, y de ciertos sistemas relacionados con la defensa del espacio aéreo así como de proyectos y líneas de investigación futuras. Tomando en cuenta lo anterior, se proponen medidas y procedimientos de actuación para afrontar a la incipiente amenaza así como oportunidad en los cielos que representan los UAV. No obstante, dado el gran alcance de este nuevo campo de investigación y diferentes ámbitos de aplicación no se pretende realizar un estudio exhaustivo centrado en los UAV, su desarrollo y evolución, sino resaltar de entre los aspectos generales aquellos que se relacionan con la Defensa Aérea.

En primer lugar, la siguiente memoria expone una visión general sobre estos sistemas, con algunos ejemplos de uso y procedimientos concretos. Posteriormente, se analiza en términos similares y de una forma mucho más teórica, pues aún es una ciencia embrionaria, lo concerniente respecto a micro- y nano-UAV, así como una técnica de empleo que cobra bastante fuerza entre los autores y textos de referencia al respecto conocida como el “enjambre”. A continuación, se expone en líneas generales la función, métodos y sistemas que emplea la Defensa Aérea en general y la Defensa Antiaérea en particular para enfrentarse a las aeronaves convencionales. Teniendo en cuenta los citados aspectos, así como ciertas tecnologías emergentes cuyo desarrollo se pretende aplicar en estos campos, se discuten las diferentes conclusiones y se proponen procedimientos de actuación considerando el caso actual, con los materiales y sistemas existentes para continuar, de igual forma, describiendo propuestas similares en el escenario futuro.

Resulta, en cualquier caso, de gran interés el realizar un seguimiento sobre estos dispositivos ya que tienen un gran potencial y sin duda se va a asistir a una gran irrupción de los mismos en todos los ámbitos, no sólo el militar, en los próximos años. Sin embargo, el texto se va a ceñir en la vertiente relacionada con la Defensa, pese a que hay campos civiles en los que su perspectiva de empleo presenta, de igual forma, una gran utilidad.

2 – Estado del arte de los UAV

En este apartado se procede a dar una perspectiva general, orientada desde el punto de vista militar, a la situación actual de los UAV, aplicaciones, ejemplos y procedimientos.

2.1 – Generalidades

Las aplicaciones de esta tecnología son muy diversas y de gran utilidad en muchos campos, entre ellos el tratado en el presente texto, el de la aviación militar. En la actualidad, la mayoría de UAV son del tipo RPA (*Remote Piloted Aircraft*), es decir, son pilotados (en mayor o menor grado de automatización) por un equipo humano desde una estación de control. Es importante, en este sentido, diferenciar entre el término “automático”, que se refiere a un sistema que realiza acciones, cálculos y mediciones para simplificar su manejo y control, y un sistema “autónomo”, el que se maneja a sí mismo a partir de unas directrices. Así pues, constan de dos elementos: el aéreo la plataforma en sí y su carga útil que pueden ser desde cámaras a sistemas de armas, y el terrestre, con los elementos de mando y control, de transmisiones y, en su caso, de inteligencia, estos últimos interpretando en tiempo real la información obtenida por el aparato. Existen pocos que trabajen de forma autónoma, siendo la mayoría de ellos RPA que se configuran de forma específica durante un tiempo concreto como pueda ser usando una ruta preprogramada de *waypoints*.

Sirvan como ejemplo algunas misiones llevadas a cabo en Afganistán con unidades que operan este tipo de dispositivos, como el Regimiento de Inteligencia nº1 (RINT 1) del Ejército de Tierra de España en la operación R/A en Afganistán empleando el UAV MK-III-J de la empresa *Israel Aerospace Industries* (IAI), llamado en España PASI. Aunque el aparato no está diseñado para ello, y por las limitaciones de la tecnología no es tan eficiente así ni tiene tantas capacidades como siendo pilotado de forma remota, se puede configurar introduciéndole determinadas directrices para que realice determinados tramos de su ruta sin enlace con la GCS (*Ground Control Station*) para, por ejemplo, sortear elementos de terreno que dificulten la transmisión de datos como una formación montañosa o para evitar la emisión de señales que puedan ser detectadas o interceptadas, y continuar obteniendo información con su cámara, aunque difícilmente de la misma calidad que cuando la opera el elemento humano.

Sin embargo, y así apuntan las principales hojas de ruta, monografías y demás documentos de análisis de las Fuerzas Armadas más avanzadas en este campo [1], [2] (Estados Unidos, pero también el Reino Unido, Francia...), la tendencia futura será el desarrollo de sistemas totalmente autónomos, en los que la intervención humana sea cada vez más reducida. Es de reseñar también que los UAV que actualmente existen se han diseñado en y para un entorno asimétrico, con una baja amenaza aérea, para conflictos en los que actualmente se ven envueltos los Estados del entorno OTAN consistentes en operaciones de estabilización, mantenimiento de la paz o contrainsurgencia en los que el enemigo suelen ser grupos armados irregulares y donde se cuenta con una superioridad tecnológica aplastante. Por tanto, suelen ser aparatos de obtención de información, con escasas capacidades de ataque y defensa, no aptos para un enfrentamiento con una fuerza enemiga de entidad similar con capacidad de hacer frente a estos dispositivos.

No obstante, se pretende en un futuro que también existan UAV capaces de realizar misiones de combate y de actuar en entornos hostiles, bajo la amenaza de aeronaves enemigas o artillería antiaérea, de la misma forma que una población de bacterias evoluciona con el tiempo para hacerse inmune ante un antibiótico nuevo que aparece en su entorno. A medida que los UAV se usen en operaciones donde tengan que afrontar la presencia de amenazas aéreas los requerimientos en este aspecto se irán haciendo más exigentes. Teniendo en cuenta esta perspectiva, las ventajas e inconvenientes de los sistemas no tripulados frente a los que sí lo son resultan obvias, tal y como se muestra en el análisis DAFO mostrado en la Tabla 1.

Fortalezas	Oportunidades
<ul style="list-style-type: none"> • Coste bajo en comparación con sistemas tripulados • Los operadores apenas corren riesgo al emplearlos y son de formación más sencilla y barata los pilotos de aeronave • La carga útil aumenta al no requerirse de cabina ni soporte vital para un piloto • No se ven sujetos a las limitaciones fisiológicas de un piloto humano (pueden volar por tiempos más largos, pueden actuar en ambientes NBQ...) y soportan más g¹ (hasta 20 [2], en comparación con las 9 que pueden experimentar los pilotos entrenados antes de perder el conocimiento) • Al ser más económicos y no suponer riesgo humano, se pueden emplear en misiones más peligrosas o con menor índice de supervivencia 	<ul style="list-style-type: none"> • Permite, como plataforma, una alta interoperabilidad de sistemas (pueden usarse como relés de radio, se les pueden montar muy diversos tipos de dispositivos como carga útil...) • Conlleva oportunidades a nivel económico industrial: posibilidad de desarrollar un sector nuevo, nuevos campos de investigación y comercialización... • Se trata de una nueva vía para ejercer la superioridad aérea, marítima y naval que se añade a las fuerzas convencionales • Suponen una gran versatilidad para todo tipo de unidades: desde artillería a las fuerzas aéreas, inteligencia, operaciones especiales... • En determinados aspectos como inteligencia suponen no sólo una alternativa a las aeronaves tradicionales sino una mejora de posibilidades
Debilidades	Amenazas
<ul style="list-style-type: none"> • Con la tecnología actual, ni de forma autónoma, ni pilotados de forma remota pueden igualar la eficacia en vuelo de una aeronave convencional • Requieren de grandes anchos de banda en el enlace con la GCS tanto para transmisión de la información como para el control mismo del aparato • Su uso trae consigo el debate ético y moral sobre la posibilidad de que una máquina sin intervención humana realice acciones de combate que produzcan muertes • Escasa capacidad de adaptación a situaciones para los que no han sido diseñados • Requieren una alta precisión en el cálculo de su posición, normalmente empleándose el enlace satélite para ello, con consecuencias como cierto retardo en los cálculos, influencia de la meteorología, necesaria disponibilidad de cobertura satélite... 	<ul style="list-style-type: none"> • La legislación al respecto es muy escasa, conforme se desarrolle puede suponer una limitación (por ejemplo, prohibiendo el empleo de sistemas autónomos) • La opinión pública puede volverse en su contra • El desarrollo de medidas contra los UAV no está apenas estudiado, al avanzar la investigación en este aspecto puede suponer una gran amenaza en el empleo de estos sistemas • Actualmente son una herramienta empleada de forma casi exclusiva por Estados desarrollados. Si esta tecnología se normaliza y acaba volviéndose cotidiana, podrá ser empleada fácilmente por grupos terroristas e insurgentes

Tabla 1. Análisis de debilidades, amenazas, fortalezas y debilidades (DAFO) de sistemas aéreos no tripulados

¹ El término “fuerza g” es una medida de la aceleración empleada en aeronáutica, principalmente para analizar las fuerzas a las que se ve sometido un avión o su piloto al maniobrar en el aire y son múltiplos de la aceleración de la gravedad (1 g).

Un aspecto interesante del empleo masivo de UAV en un futuro por parte de los Estados podría suponer incluso la total sustitución de las aeronaves tripuladas convencionales por elementos autónomos en las fuerzas aéreas de los países más avanzados. Hay, sin embargo, cierto tipo de misión que por su idiosincrasia particular no resultan tan fáciles de delegar en inteligencias artificiales [3]:

“De las funciones asignadas a la Fuerza Aérea Americana (USAF), las que afectan directamente a ambos sistemas de armas, por su naturaleza, son cuatro: la Disuasión Nuclear, la Superioridad Aérea, la Inteligencia, Vigilancia y Reconocimiento Integrado Global y el Ataque de Precisión Global [...] Es decir, de las cuatro misiones [...] se podría afirmar que la Superioridad Aérea y la Disuasión Nuclear no son, hoy en día, operaciones que impliquen específicamente la utilización de UAS y que el Reconocimiento, la Localización, Designación y Ataque Aire/Suelo sí lo son. Esto convierte, consecuentemente, a las misiones de Superioridad Aérea y Disuasión Nuclear en las únicas funciones asignadas en un futuro a la aviación tripulada.”

Son muchos los motivos por los que estas dos capacidades de las aviaciones modernas resultan tan críticas como para delegarlas en máquinas, por avanzadas que sean. La Superioridad Aérea en territorio nacional es fundamental para la seguridad de un país, para controlar su espacio aéreo y para evitar la libre proyección de medios y personal de posibles grupos enemigos o la realización de atentados, mientras que en zona de operaciones sirve para mantener la libertad de movimiento de las propias fuerzas. La Disuasión Nuclear, a nivel de superpotencias como Estados Unidos o Rusia, supone la amenaza última, una capacidad de destrucción tan brutal (capaz incluso de erradicar la vida en enormes extensiones de terreno) que su mera posibilidad disuade a los enemigos de llevar a estos países al extremo de usarla. Por tanto, debe ser capaz de emplearse en todo momento y dado que los sistemas electrónicos existentes hoy día son fácilmente anulables mediante un pulso electromagnético, se correría el riesgo de perder esta capacidad. En cambio, una flota de bombarderos nucleares con pilotado convencional sería capaz de actuar aún después de haber sufrido un ataque nuclear y el consiguiente pulso electromagnético, haciendo por tanto efectiva la disuasión.

Una fuerza aérea basada en sistemas no tripulados conlleva la ventaja de que, una vez adquirida la tecnología e infraestructuras suficientes, podrían fabricarse muchas aeronaves en poco tiempo. En cambio, los pilotos son un bien muy difícil de formar y que requieren largos años preparándose. Un número de bajas lo suficientemente alto anularía la capacidad de una aviación de combate convencional durante años, mientras que si ésta se basa en UAV, podría reponerse en cuestión de semanas o días siempre y cuando se mantenga la citada capacidad industrial.

En cuanto a legislación, resulta muy escasa referente en concreto a esta tecnología incipiente, pero se está desarrollando la misma y es de prever que en pocos años se hallarán totalmente integrados especialmente en cuanto a espacio aéreo se refiere. Actualmente, sirva de ejemplo nuevamente el RINT 1 en su despliegue en Afganistán. Para volar este tipo de aparatos en operaciones se piden “pasillos” o “celdas” de un espacio aéreo (que en este caso, está controlado por los militares de la coalición internacional). En España, al igual que en la mayoría de países, no existe una norma que regule el empleo de UAV pero se pretende integrarlos en el espacio aéreo convencional [4]:

“Sólo las aeronaves pilotadas a distancia (RPA), podrán integrarse al sistema de aviación civil internacional en el futuro previsible. Las funciones y responsabilidades del piloto remoto son fundamentales para la operación segura y predecible de la aeronave en sus interacciones con otras aeronaves civiles y con el sistema de gestión del tránsito aéreo”.

2.2 – Clasificación

Existen numerosas formas de clasificar los UAV, cada una de ellas relacionadas con un aspecto o varios de éstos, desde las que los encuadran atendiendo a su relación peso-tamaño, hasta las que la hacen según su empleo (táctico, operativo, estratégico), pasando por tipos de misión (como inteligencia o combate), velocidad, autonomía... La Fuerza Aérea estadounidense los clasifica en cinco grupos por peso: menos de 20 libras, entre 20-55 lb, menos de 1320 lb, más de 1320 lb y el quinto grupo, que son aquéllos que cumplen el último requisito enunciado pero que son de tipo “especial”, no de operaciones convencionales [5].

Sin embargo, la clasificación más extendida y de mayor interés en el ámbito militar es la establecida como oficial dentro de la OTAN, por ser la que se emplea principalmente por miembros de dicha organización, entre ellos, España. Dicha clasificación se hace en función del MTOW (*Maximum Take Off Weight*) y de la altitud a la que se opera (medida en pies, ft), dando prioridad para establecer la categoría en caso de conflicto al citado peso. En la siguiente Tabla 2 aparece de forma esquemática dicha clasificación OTAN más empleada en relación con UAV.

Tipo de tarjeta	Clase (MTOW)	Categoría	Empleo	Aptitud operacional AGL	Radio de misión	Ejemplo de plat
Tipo I	Clase I ≤ 150 kilo-gramos	SMALL > 20 kilo-gramos	Unidad Táctica	Hasta 1.200 ft	50 kiló-metros (LOS)	Hermes 90
		MINI 2-20 kilo-gramos	Subunidad Táctica	Hasta 1.000 ft	25 kiló-metros (LOS)	Raven
		MICRO < 2 kilo-gramos	Táctico, Pelotón, Sección, Personal	Hasta 200 ft	5 kiló-metros (LOS)	Black Widow
Tipo II	Clase II >150/≤ 600 kilogramos	Táctico	Formación Táctica	Hasta 10.000 ft	200 kiló-metros (LOS)	Searcher MK II
	Clase III > 600 kilo-gramos	Strike/Combt	Estratégico	Hasta 65.000 ft	Sin límites (BLOS)	
		HALE (<i>Hig Altitude Long Endurance</i>)	Estratégico	Hasta 65.000 ft	Sin límites (BLOS)	Global Hawk
		MALE (<i>Medium Altitude Long Endurance</i>)	Operacional de teatro	Hasta 45.000 ft	Sin límites (BLOS)	Predator A y B, Heron y Heron TP

Tabla 2. Clasificación OTAN de los UAV [5]

Clase I. Son aquéllos que, usualmente, pueden ser empleados por una sola persona, pequeños, de poco peso, techo, velocidad y autonomía. Suelen servir para tareas de ISR (*Intelligence, Surveillance and Reconnaissance*), típicamente de la modalidad “*over the hill*”, para poder localizar posibles amenazas más allá de obstáculos inmediatos a nivel de unidades pequeñas (hasta batallón/grupo táctico), que los operan ellas mismas.

Clase II. De un tamaño medio y siendo la mayoría lanzados con ayuda como por ejemplo catapultas y recuperados mediante aterrizajes con paracaídas (no requieren pista), empleados en tareas ISTAR (*Intelligence, Surveillance, Target Acquisition And Reconnaissance*), para lo cual suelen ir equipados con distintas cámaras y sensores (electro-ópticas, infrarrojos...). Requieren ser integrados y gestionados, a diferencia de la clase I, en el espacio aéreo civil o militar.

Clase III. Los más grandes, complejos y polivalentes. Pueden llegar a tener unas prestaciones muy similares a los de las aeronaves tradicionales, por lo cual requieren de pista de aterrizaje y despegue. Debido a su radio de acción tan amplio, su control suele realizarse a través de enlace satélite. Al no verse constreñidos por las necesidades fisiológicas de un piloto humano, pueden realizar misiones muy largas, de horas, días o incluso más.

2.3 – Aplicaciones

Los UAV, por sus características, son de gran utilidad para diversos campos. Al tratarse de una plataforma aérea, puede emplearse en ella cualquier dispositivo que no sobrepase las limitaciones de peso de la misma, resultando en una amplia versatilidad. En general, supone una herramienta que complementa a los sistemas aéreos actuales como ampliación de sus capacidades, siendo sus ventajas principalmente en cuanto al coste y tamaño (por la ausencia de la cabina del piloto y sistemas relacionados con éste) y, al no poner en riesgo vidas, la capacidad de emplearlos en condiciones mucho más extremas. Sirva como ejemplo una aeronave de rescate en alta montaña que pudiera arriesgarse en medio de una ventisca para intentar localizar a unos montañistas extraviados con el único riesgo de la pérdida material de la misma.

Por otra parte, debido a sus escasas limitaciones en cuanto a pesos mínimos se refiere, pueden emplearse elementos de lanzamiento/recuperación mucho más móviles que las tradicionales y estáticas pistas aeronáuticas. Como sistemas utilizados por las FAS, el RAVEN se lanza de forma manual y se recupera cayendo sobre el terreno o el PASI que, aunque normalmente opera en pista, se puede lanzar desde una catapulta y se recupera mediante paracaídas. Algunos ejemplos de aplicaciones actuales y funcionales de los UAV son la monitorización de especies animales como los leones marinos en Alaska, la ayuda al control de las fronteras a las fuerzas de seguridad o el estudio de la meteorología. En Estados Unidos su empleo ya es una realidad, habiendo más de 300 UAV con licencia en uso en territorio americano (sin contar los empleados por sus Fuerzas Armadas en operaciones) [6].

Respecto a los usos militares, las dos ventajas anteriormente citadas resultan clave en las misiones de contrainsurgencia tan comunes hoy en día. La escasa tolerancia de las sociedades occidentales a las bajas en sus fuerzas armadas significa un enorme interés en cualquier tipo de elemento que colabore al esfuerzo militar y que no ponga en riesgo una vida aliada, y la versatilidad y

relativa rapidez de despliegue les hace especialmente aptos haciendo frente a las acciones rápidas y violentas tan típicas de la insurgencia. Sirva de ejemplo la situación de un posible convoy que es emboscado por fuerzas insurgentes. Efectuarán un ataque rápido posiblemente precedido de la explosión de un IED (*Improvised Explosive Devise*), buscando causar bajas en el menor tiempo posible, evitando el enfrentamiento prolongado y aprovechando el tiempo de desorganización. Sin duda, resulta mucho más eficiente en cuanto al tiempo lanzar un pequeño UAV que se transporte en el mismo convoy para monitorizar la actividad enemiga que solicitar un elemento aéreo al aeropuerto más cercano. Pese a que no está extendido, también es posible su uso como elementos observadores de fuegos artilleros. El sistema PASI, por ejemplo, se empleó para este fin durante las tareas de mentorización de la artillería del Ejército Afgano [7]. Aparte de las tareas ISR, Estados Unidos, la nación puntera en tecnología del ámbito militar, está ya empleando con creciente repercusión mediática, los UAV del tipo Predator y Reaper para realizar misiones de ataque.

2.4 – Procedimientos de uso

Dependiendo de si es civil o militar, su campo de empleo, lugar de vuelo y debido al estado embrionario de la legislación al respecto, los procedimientos a la hora de emplear UAV varían de una situación a otra. No obstante, es de utilidad analizar alguno de estos con el objeto de exponer las características intrínsecas al uso de aeronaves no tripuladas con respecto a las convencionales, en el presente caso, el modo de funcionamiento del Regimiento de Inteligencia nº 1 con sede en Valencia, que ha desplegado en Afganistán de forma periódica desde 2008 empleando el UAV “PASI” (Figura 1) para tareas ISTAR. El mencionado aparato es de clase II (436 kg de MTOW), aunque su techo máximo es de 20000 pies, lo cual es atípico para esta categoría. Su alcance máximo teórico es de 350 km y la autonomía, 12,5 horas. La composición del sistema UAV es la típica: estación de control terrestre, elemento de enlace y el UAV en sí. EL PASI, para su geolocalización emplea un GPS de tipo diferencial con una precisión centimétrica [8].

En la GCS, que se trata de un *shelter* con varios equipos y ordenadores integrados, se encuentra el equipo responsable del UAS, compuesto de tres personas (para más información, ver Anexo II). En primer lugar, se encuentra el Jefe de la Misión (un oficial o suboficial), al frente de la misión y encargado de la coordinación del grupo. Los otros dos elementos son el operador de vuelo (DUO, *Designated UAV Operator*), encargado del pilotado del aparato y el operador de cámara, encargado del empleo y manejo de la cámara y,



Figura 1. Searcher Mk III de IAI, en España denominado "PASI"

en algunos casos, de obtener inteligencia de la misma, es decir, analizar, evaluar y procesar en tiempo real la información que se obtiene de las imágenes. El Jefe de Operaciones, que no se encuentra en la GCS, se trata del escalón de mando superior y se encarga del enlace con la Unidad a la que se pretende

apoyar así como de coordinarse con la misma. El elemento de enlace se compone de una antena encargada de mantener la transmisión de datos con el aparato y se encuentra separada de la GCS ya que es un objetivo de alto valor militar. Además, al ser un elemento que radia puede ser detectado y atacado fácilmente. El UAV en sí consta, como es habitual, de la plataforma aérea (el PASI) y la carga útil, en este caso una cámara MOSP de gran calidad, con lentes de hasta 22 aumentos. De día, puede detectar objetivos hasta a 22 km mientras que de noche, empleando sus sensores infrarrojos, hasta a 14 km.

Por limitaciones de la antena y la orografía del terreno, debido a la incapacidad de mantener en todo momento el enlace con el PASI, hay tres procedimientos para su empleo (ver Figura 2). El primero, el “single”, el más simple: una única GCS se hace cargo del aparato durante todo su recorrido. En modo “relé”, un UAV actúa como enlace con otro, actuando de transmisor/receptor. Finalmente el modo “transferencia de control” se efectúa con dos GCS y un único UAV que, en el momento oportuno, pasa de depender de una a ser controlado por la otra.

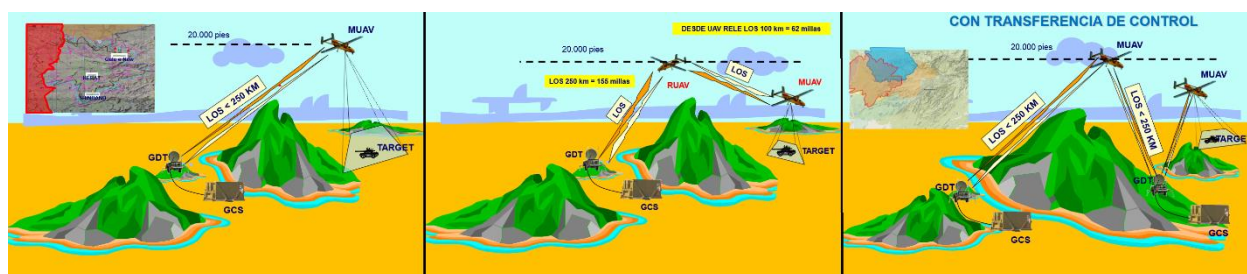


Figura 2. De izquierda a derecha, modos de empleo “single”, “relé” y “transferencia de control”

El operador de vuelo, al igual que el observador, se vale de un ordenador para realizar sus funciones. La forma más común de pilotar el PASI es mediante la introducción de una ruta compuesta de distintos *waypoints*. Asimismo, los parámetros como altitud de vuelo o velocidad se introducen en el ordenador. Existe también la posibilidad de programar un vuelo o parte para que lo realice de forma automática, sin intervención del operador, lo cual es útil para atravesar una zona como un valle en el que se conoce que la antena no va a enlazar con la plataforma. Finalmente, el vuelo totalmente manual sólo se emplea en casos de emergencia o críticos. En caso de pérdida de enlace por el motivo que fuese durante más tiempo del establecido en los datos de la misión el UAV se acoge a la ruta de vuelta, que se establece antes de despegar para posibles contingencias.

Es interesante también analizar la integración en el espacio aéreo que se ha llevado a cabo con estos aparatos en operaciones ya que puede suponer un precedente a tener en cuenta en el proceso que se lleva actualmente a cabo en muchos países del mundo de sentar las bases de una legislación que permita a estos sistemas volar en las mismas condiciones que las aeronaves tripuladas, en lugar de espacios aéreos segregados. En la misión de Afganistán, la gestión del espacio aéreo la llevaba a cabo el Ejército del Aire y el método que se utilizaba era el de asignar “pasillos” aéreos durante una determinada franja horaria reservada para el PASI en cuestión. Posteriormente se implementó un sistema de celdas, según el cual se dividía el espacio aéreo en secciones cuadradas que se iban asignando de forma temporal al PASI, evitando así tener activa toda la franja del pasillo a la vez [9], [10].

2.5 – Características futuras de los sistemas UAV de aplicación militar

El futuro de los UAV como plataforma aérea cabe esperar un progresivo desarrollo de su electrónica (elementos de guiado principalmente), pilotado y propulsión. Acorde al desarrollo de la robótica y las inteligencias artificiales irán apareciendo sistemas autónomos, llegando incluso a aviones comerciales o de combate que sólo precisasen el elemento humano para tareas de supervisión y mantenimiento. Un aspecto actualmente limitado pero con un gran potencial es la incorporación de dispositivos LIDAR, término anglosajón derivado de la contracción de *light* y *radar* en su guiado, una tecnología que emplea el mismo principio de funcionamiento que el radar pero con láser en lugar de ondas de radio y siendo, por tanto, capaz de realidad modelados de figuras y objetos con mucha más precisión que éste, pero hallándose más limitado por la distancia. Así, puede usarse para geología, topografía, estudios del terreno..., pero resulta especialmente interesante empleado más que como carga útil como un elemento más de navegación.

El LIDAR presenta una evidente utilidad para detectar obstáculos y realizar un pilotado autónomo eficiente, llegando a permitir el que uno de estos artefactos vuele en un entorno urbanizado evitando las colisiones con objetos difíciles de detectar con otros sistemas, como antenas o cables. En 2010, un helicóptero Boeing AH-6 modificado para emplear esta tecnología por un equipo formado por Ejército de Estados Unidos con personal de *Piasecki Aircraft Corporation* y la *Carnegie Mellon University* realizó el primer vuelo de la Historia de forma autónoma, sin ningún tipo de asistencia humana [11]. En un futuro podrían emplearse este tipo de vehículos en los que el LIDAR actuaría como visualización, capaz de ver todo su entorno en un radio amplio en todo momento y, con precisión milimétrica, capaz de distinguir personas o vehículos enemigos, incluso proyectiles dirigidos contra el aparato.

Referente a la propulsión, otra tecnología incipiente que puede resultar de gran rentabilidad por su elevada eficiencia termodinámica son las pilas de combustible. Estos sistemas funcionan generando energía eléctrica proveniente de reacciones químicas entre un oxidante y el combustible, en su forma más sencilla, combinando átomos de hidrógeno y oxígeno dando como resultado agua y calor. Actualmente tienen escasas aplicaciones, pues no se trata de una tecnología madura y sólo resulta rentable usarla en campos donde sus características suponen una ventaja crítica, como en los submarinos (siendo el principal exponente de este uso la clase 212 de la *Kriegsmarine* alemana o el futuro S80 de la Armada española [12], donde se emplean como elementos de propulsión auxiliares silenciosos que no necesitan aire para funcionar, frente a la tradicional combinación de motor diésel, baterías y motor eléctrico. Sin embargo, ya se estudian formas de emplear esta fuente de energía para hacer funcionar la turbina de un motor a reacción en sustitución de los combustibles fósiles.

En resumen, la línea de evolución más plausible para los UAV a medio y largo plazo es incorporar los avances que aparezcan en aviónica convencional, a la micro- y nanotecnología así como a los desarrollos en robótica y electrónica. El principal salto tecnológico será, por tanto, la aparición de los sistemas totalmente autónomos. En el campo militar, se puede anticipar la aparición de UAV de combate altamente avanzados con un elevado grado de capacidad de decisión, capaces de adaptarse a las circunstancias de la misión, identificar blancos y evaluar por sí mismos si abatirlos o no, con una

maniobrabilidad y rapidez al tomar decisiones inalcanzables para cualquier aparato tripulado por personas. Podrían llegar a usarse también como elementos de telecomunicaciones, complementando o incluso sustituyendo en algunos casos a los satélites, actuando en la estratosfera con el término de “*estratélites*” [1] para establecer redes temporales, aumentar anchos de banda, mantener las comunicaciones en caso de pérdida del enlace con los satélites, crear redes temporales y con propósito específico, etc.

2.6 – Ejemplos de UAV en el ámbito militar

PASI

El ya mencionado PASI (Figura 3, arriba a la derecha), o Searcher Mk III en su denominación original por su fabricante israelí IAI, se trata de una plataforma versátil. Con una propulsión basada en un motor de hélice de baja firma acústica, es actualmente el mayor UAV que se usa en las FAS españolas, con funciones de inteligencia, vigilancia y reconocimiento. En España se emplea montando un sensor electro-óptico de altas prestaciones, pero la empresa también ofrece otras posibilidades como radares de apertura sintética. Su principal desventaja, en base a las experiencias en Afganistán, es su sensibilidad a las rachas de viento, ante las cuales no responde bien especialmente en el aterrizaje/despegue [8].



Figura 4. De izquierda a derecha y de arriba abajo, T-Hawk, PASI, RAVEN, Predator y Reaper

RAVEN

Este mini-UAV (Figura 3, en el centro a la izquierda) de la empresa estadounidense AeroViroment empleado por las FAS de distintos países (Estados Unidos, Reino Unido) se usa como un medio de reconocimiento “*over the hill*”, es decir, para proporcionar información rápida y cercana (hasta 10 km) a pequeñas unidades que las emplean por sí mismas. Tiene un techo de 500 pies, su sistema de propulsión consiste en una hélice y un motor eléctrico y se lanza con una mano, como si de un avión de aeromodelismo se tratase. Se recupera aterrizando de forma un tanto brusca por sí mismo en un punto definido [13].

T-Hawk

Fabricado por la empresa americana Honeywell (Figura 3, arriba a la izquierda), se trata de un aparato VTOL (*Vertical Take Off and Landing*) usado tanto por las FAS de Estados Unidos como las británicas. Su

característica definitoria consiste en un sistema de propulsión basado en un chorro de aire guiado, que se consigue mediante unas hélices accionadas por motor de gasolina. Esto le da su capacidad VTOL, así como una gran estabilidad en el aire y capacidad para mantenerse estático. Pesa unos 8 kg y tiene un radio de acción de 10 km. En el ejército estadounidense se está retirando del servicio, mientras que en el británico se emplea en tareas contra IED por parte de los *Royal Engineers* [1].

Reaper

El americano MQ-9 Reaper (en la Figura 3, abajo) de *General Atomics* es uno de los pocos UAV existentes hoy día diseñado específicamente para poder llevar a cabo tareas de combate, como acciones CAS (*Close Air Support*) o bombardeo de precisión. Aun así, su principal misión sigue siendo del tipo ISR. Comparte sistemas de control terrestre y enlace con su hermano pequeño el Predator y posee un complejo sistema de sensores que incluyen infrarrojos, electro-ópticos, designadores laser y radar de apertura sintética para la adquisición, seguimiento y ataque de los objetivos. Tiene un MTOW de 4760 kg, un radio de acción de 5900 km y un techo máximo de 50000 pies. Puede transportar cuatro misiles y dos bombas de 500 lb [14]. El Ministerio de Defensa de España ha anunciado su intención de adquirir aparatos de este tipo [15].

Predator

En esencia, el MQ-1B Predator (en la Figura 3, a la derecha) en el centro es una versión anterior del Reaper, que supone una evolución de este concepto de UAV. Es un sistema de las mismas características aunque más limitadas, con MTOW de 1020 kg y capacidad para sólo dos misiles [16].

El Anexo III expande la información sobre las características técnicas de estos UAV.

3 - Estado del arte de micro- y nano-UAV

Tras estudiar los UAV, el presente apartado lo hará en una categoría de los mismos, los de tamaño reducido, sistemas micro- y nano-UAV, con especial énfasis en sus diferencias con el resto y sus características más definitorias así como una explicación de una doctrina para emplearlos, el “enjambre”.

3.1 – Introducción

Actualmente, esta categoría de micro- y nano-UAV se encuentra en pleno desarrollo. Micro-UAV ya existen y se emplean por parte de las distintas Fuerzas Armadas occidentales como el PD-100 Black Hornet. En cuanto a la categoría nano., no se puede hablar aún de ningún modelo empleado de forma extendida. Sin embargo, presentan unas perspectivas prometedoras en cuanto a su evolución y permitirán aplicar funciones totalmente nuevas, impensables para aparatos voladores de tamaño más grande.

Como se ha explicado anteriormente y se puede apreciar en la Tabla 2, la categoría micro incluye los UAV menores de 2 kg. En la clasificación OTAN por tanto, aún no se especifica siquiera el apartado nano, que se incluiría en los micro-UAV. No se puede, por tanto, especificar unas medidas exactas para definir un nano-UAV, pero sirva como aproximación pensar en un aparato pequeño, de tamaño similar al de los insectos más comunes.

El análisis DAFO mostrado en la Tabla 3 muestra en líneas generales las características propias de estos sistemas, con sus principales ventajas e inconvenientes. En cuanto a la propulsión, frente a la tendencia de los UAV mayores de emplear motores más potentes y avanzados, en los sistemas pequeños se preferirán motores eléctricos y hélices, más sencillos, especialmente por la mayor facilidad que presentan en su diseño y fabricación estos sistemas y porque permiten un mayor control [17]. El desarrollo de sistemas basados en las pilas de combustible es también prometedor, y al tener una buena relación peso-energía, pueden llegar a ser la opción preferente para alimentar el motor eléctrico de estos aparatos.

Fortalezas	Oportunidades
<ul style="list-style-type: none"> • Tamaños y formas muy reducidos, difíciles de detectar y capaces de operar en espacios pequeños • Costes bajos en la fase de producción • Bajo peso, fácilmente transportables, incluso en un bolsillo • Bajo consumo energético • Se pueden emplear en misiones de alto riesgo o incluso de no retorno y resultar rentables debido a su bajo coste • No requieren integración en el espacio aéreo, habiendo menos restricciones en su uso 	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de actuar en grupos (enjambre) en los que distintos aparatos se especializan en cosas diferentes • Grandes posibilidades en cuanto a diseños: desde nano-UAV extremadamente complejos y avanzados tecnológicamente, a otros que sean más sencillos y se empleen en grandes números • De mucha utilidad para inteligencia, especialmente en entornos complicados para que vuelen aparatos mayores (entorno urbano) • Posibilidad de usarse, debido a su minúsculo tamaño, para infiltrarse en instalaciones protegidas o zonas hostiles • Cierta capacidad ofensiva a nivel táctico
Debilidades	Amenazas
<ul style="list-style-type: none"> • Actualmente requieren una alta inversión en I+D para el desarrollo de la tecnología • Carga de los aparatos extremadamente reducida <ul style="list-style-type: none"> • Limitado radio de acción (del orden de centenares de metros) • Fácilmente destruibles • Sensibilidad crítica a la meteorología y a rachas de vientos • Altos requerimientos en cuanto a la transmisión de datos 	<ul style="list-style-type: none"> • La aparición de sistemas de armas o de guerra de electrónica ante los cuales estos dispositivos sean altamente vulnerables, haciendo inútil su uso militar • Nuevamente, la opinión pública y el debate ético en torno a estos aparatos puede frenar su desarrollo • Mayor peligro incluso que los UAV convencionales si se desarrollan al punto de que puedan adquirirse por el público debido a que serán de fácil adquisición y muy difíciles de detectar, pudiendo emplearse para todo tipo de actividades ilícitas • Evolución y aparición de tecnologías emergentes de guerra electrónica que se usen para desbaratar el enlace de datos con estos UAV, más dificultoso que con sus contrapartes de mayor tamaño por el menor tamaño y potencia de sus componentes

Tabla 3. Análisis de debilidades, amenazas, fortalezas y debilidades (DAFO) de los micro- y nano-UAV

Como anteriormente se ha mencionado, una de las grandes ventajas de estos sistemas frente a sus congéneres de mayor tamaño es que, normalmente, no requerirán integración en el espacio aéreo debido a sus características de bajo techo de vuelo y tamaño e incluso si volasen a altas cotas no supondrían una amenaza en caso de colisión con aeronaves tripuladas. Esto disminuye sus requerimientos en cuanto a gestión del espacio aéreo, suponiendo menos trabas a su uso.

3.2 – Aplicaciones

Fuera del ámbito militar, las principales ventajas de los micro- y nano-UAV, como su capacidad de no ser detectados, no resultan especialmente útiles. Por tanto, para aplicaciones civiles, este tipo de aparatos no son especialmente atractivos, excepto en casos concretos como pueda ser la entomología,

comparación con las clases más grandes. Es, por tanto, en el ámbito de la defensa donde tendrán mayor aplicación. Un micro-UAV, con un elevado grado de autonomía o plenamente autónomo, sería capaz de proporcionar información muy valiosa en tiempo real a un jefe de sección o incluso de pelotón en entornos difíciles y con cantidades importantes de amenazas distintas entre sí, como pueda ser el combate en zonas urbanizadas. En este aspecto, cabe reseñar la capacidad única de actuar en interiores que tienen estos micro- o nano-UAV, impensable para los de tamaño convencional.

Aparte de las clásicas tareas de ISR para las que se emplean estos sistemas, también es factible imaginar el empleo de micro- o nano-UAV con otros fines. Por poner un ejemplo, podrían emplearse como elementos perturbadores de ondas para entorpecer las comunicaciones enemigas en el marco de la EW (*Electronic Warfare*) que gracias a su pequeño tamaño se infiltrasen en zonas próximas a nodos de comunicaciones y fuesen difíciles de detectar y actuasen como elementos perturbadores de radares, antenas, sensores [18]... Finalmente, tampoco es desdeñable la posibilidad de cierta capacidad ofensiva, pudiendo transportar una dosis letal de veneno o, empleándose en grandes grupos, actuar como vectores de algún tipo de agente biológico o químico. Sin embargo, la forma de empleo que más posibilidades ofrece y más potencial parece ofrecer para los micro- y, especialmente, nano-UAV es la que se postula con el nombre de *swarm*, es decir, “enjambre”, descrito en el siguiente subapartado.

3.3 – El “enjambre”

Este principio de funcionamiento para futuros sistemas de micro- y nano-UAV, tal y como sugiere su nombre, pretende aprovechar la cooperación entre diferentes elementos para lograr objetivos comunes de la misma forma que las abejas en la naturaleza, con individuos especializados en distintas tareas pero todas supeditadas al bien de la colectividad. Para que sea factible el desarrollo de sistemas de este tipo, se deben lograr alcanzar dos metas tecnológicas: la ya mencionada autonomía total para los UAV y lograr integrarla a tamaños tan reducidos y, relacionada con dicha autonomía, la capacidad de coordinación entre los distintos aparatos, que empleen la información obtenida por los demás, que los detecten para no colisionar con ellos, que sean capaces de, en tiempo real, afrontar decisiones según una lógica de pertenencia a un colectivo en lugar de una individual. En definitiva, en lugar de diseñar varios sistemas que se desplacen y trabajen juntos, desarrollar uno único, que conste de componentes distintos perfectamente coordinados y gestionados respecto a su trabajo grupal.

Es, sin embargo, lógico afirmar que la aparición del enjambre vendrá precedida por una transición gradual hasta la plena autonomía en la que, en un principio, sea un operador humano el que esté detrás del comportamiento de dicho grupo, tal y como se hace actualmente con los UAV convencionales. En este caso, nuevamente, resulta esencial la capacidad de los elementos individuales para seguir un vuelo programado individual coherente con el terreno, la posición del resto de elementos y el objeto de la misión, así como respondiendo a incidencias como la pérdida de uno de estos o del tipo meteorológico. Un enjambre funcional debe no solo estar preparado para continuar operativo ante la pérdida de alguno de sus elementos individuales, sino también contar con dicho factor, ya que al tratarse de dispositivos tan pequeños serán fácilmente destruibles o, más probablemente, perdidos.

Para que resulte rentable económicamente su empleo se debe pensar en un grupo de UAV pequeños, fáciles y baratos de fabricar, no demasiado complejos y cuya pérdida no suponga un coste

alto pero que, siendo diseñados para ello, al actuar en grupo potencien sus características. Respecto al tipo de enjambre, se puede hablar, en función a ciertas características, de varios tipos. A continuación, en la Tabla 4 se realizan unas propuestas de distintos tipos de clasificación aplicables a los enjambres de UAV.

Característica	Categoría	Explicación
Número de individuos	Extensos	Enjambres compuestos por varias docenas o más UAVs
	Reducidos	Número de individuos limitados a unas pocas unidades
Distancias relativas entre miembros del enjambre	Dispersos	Distancias relativas elevadas, pudiendo incluso perder el contacto visual
	Concentrados	Los aparatos vuelan muy cerca entre sí, manteniendo siempre el enlace entre unos y otros
Tipos de UAV que componen el enjambre	Homogéneos	Un único tipo para cada enjambre
	Heterogéneos	Distintos modelos de UAV presentes en el enjambre
Subordinación entre sujetos	No jerarquizado	Cada sujeto tiene su propio sistema de toma de decisión y se coordina en plano de igualdad con los demás
	Subordinados	Existen individuales encargados del mando y control del resto de unidades

Tabla 4. Propuesta de categorías de clasificación para identificar distintos tipos de enjambre

A continuación se plantea un posible ejemplo que se ha elaborado para explicar mejor las posibilidades de estos sistemas. Se pretende llevar a cabo una operación tipo “golpe de mano” por parte de una unidad de operaciones especiales en una ciudad que se halla bastante distante a las bases propias para capturar a un importante líder insurgente. En lugar de infiltrar personal, enviar helicópteros o UAV mayores para realizar el reconocimiento y la vigilancia previas, se opta por emplear un enjambre de nano-UAV, del tamaño y forma de una mosca, que serán lanzados por un UAV mayor a la distancia necesaria del núcleo urbano. Tras esto, el enjambre desplegará y los nano-UAV de vigilancia con cámaras y sensores se localizarán en puntos clave de interés, dentro de edificios, en paredes, en calles y otros elementos estructurales donde un insecto no levantaría la mínima sospecha, mientras que otros portando micrófonos se posicionarán dentro de las casas a investigar, lo que se denomina actuación de *perch and stare*. Los encargados de mando y transmisiones, se colocarán en puntos elevados donde tengan un buen enlace tanto con los demás miembros del enjambre como con un UAV mayor, que podría ser el mismo que los ha transportado, actuando de relé y que se hallará volando, manteniéndose a la distancia adecuada y sirviendo como enlace, tanto para enviar la información obtenida al puesto de mando, como para recibir las órdenes que vengan del mismo para el enjambre. De esta forma se obtendría una vigilancia perfecta, mucho más cercana y precisa de la que se pueda lograr con los elementos antes citados.

Es posible incluso que algunos de estos nano-UAV portase dosis letales de veneno para eliminar objetivos o apoyar la operación cuando se lleve a cabo por parte del elemento humano, que otros fuesen

capaces de designar objetivos para municiones inteligentes, ataques aéreos o acciones CAS o incluso, en lugar de designarlos, actuar ellos mismos como baliza que guiasen la munición hacia su localización. El coste individual de fabricación de estos nano-UAV sería lo suficientemente bajo como para que resultase rentable usarlos de esta forma e incluso para prescindir de recuperarlos una vez lanzados.

A la hora de actuar en entornos urbanizados, donde los enjambres de micro- y nano-UAV tendrán su principal campo de actuación, resulta difícil la geolocalización dentro de edificios, donde los actuales sistemas basados en el GNSS (*Global Navigation Satellite System*) no funcionan. Así, aparte de tener unos sensores para evitar colisiones y orientarse respecto a objetos en el vuelo, los elementos de un enjambre requieren un sistema para mantener una referencia y conocer su localización en el espacio. Una posible solución es combinar el uso del GNSS en exteriores para, al tener que actuar en interiores, ciertos elementos del mismo se posicionen en ciertos puntos como las esquinas de una habitación con sensores de cualquier tipo (infrarrojos, radar...) y sirvan de referencia relativa en la misma. A su vez, estos sensores se posicionarían con referencia a otros que se mantuviesen en el exterior y con los que mantuviesen el enlace para así mantener asegurada la geolocalización.

Los retos a los que esta propuesta se enfrenta para poder llegar a ser viable son el avance tanto en inteligencia artificial como en el diseño de microcircuitos y la reducción de tamaño de una variedad de dispositivos para que un enjambre llegue a cumplir los requerimientos que se han mencionado, así como el desarrollo de sistemas de energía y propulsión de tamaño reducido que proporcionen una autonomía suficiente. Finalmente, aunque el enjambre es una propuesta que encaja perfectamente con el concepto de UAV en miniatura, también podría aplicarse a una escala mayor, un grupo de UAV de tamaño grande de combate que se coordinasen para atacar un blanco y maniobrar de forma automática.

3.4 – Ejemplos de aplicación de micro- y nano-UAV

Pese a que el concepto de un micro- y nano-UAV plenamente funcional conlleva un uso que resulte rentable, eficaz y eficiente, ya existen algunos ejemplos e investigaciones que caminan los primeros pasos hasta alcanzar estas metas. En 2010, en Suiza, en la EPFL (*École Polytechnique Fédérale de Lausanne*) se diseñó una red de comunicaciones para enjambres de micro-UAV, empleando para ello un prototipo de 420 gramos, cuyo único objetivo era realizar la demostración de las capacidades de vuelo, coordinación y auto organización que otorgaba la red. El experimento se basó en establecer una red WiFi convencional, a la que se conectaban los UAV para comunicarse y coordinarse entre ellos. El proyecto, centrado en el desarrollo de redes para coordinación de micro UAV y su implementación, sigue en curso [18], [19].

Por otro lado, en el país pionero en tecnología UAV, Estados Unidos, también se han llevado a cabo investigaciones de este tipo. Uno de los más reseñables en los últimos años fue un experimento conjunto del Laboratorio de Física Aplicada de la *Universidad Johns Hopkins* en colaboración con la empresa *Boeing* en 2012. Un operador, con un portátil y una radio, supervisó, asignó tareas y coordinó el comportamiento grupal de un “enjambre”, compuesto por dos UAV ScanEagles de *Boeing*. Lo novedoso de este experimento fue que en lugar de volar dos UAV independientes que se dan apoyo, un solo operador fue capaz de controlar más de un aparato, dándole tareas y asignando misiones al “grupo” en lugar de a cada uno de los aparatos de forma individual [20].

4 – Defensa Antiaérea en relación a UAV y micro-UAV



Figura 5. PD-100 Black Hornet

Por último, un ejemplo de micro-UAV funcional y operativo es el PD-100 Black Hornet (figura 3), de la noruega *Proxdynamics*, empleado en el Ejército Británico y en el Noruego. Empleado para tareas ISR por parte de equipos de operaciones especiales o reconocimiento, tiene capacidad de visión nocturna/diurna y transmite tanto video como fotografías a través de una PDA a su operador. Pesa 18 gramos y tiene 25 minutos de autonomía y 1600 metros de radio de

acción máximo. Puede pilotarse mediante imagen en tiempo real de la cámara o marcándole *waypoints* mediante un sistema basado en el GPS [21].

4 – Defensa Antiaérea en relación a UAV y micro-UAV

Una vez analizados los mencionados sistemas y en función a sus características y vulnerabilidades, en este apartado se extraen unas conclusiones y propuestas en relación a la forma de actuar de la Defensa Antiaérea en relación a los UAV.

4.1 – Introducción

Hasta ahora, se han tratado los UAV desde el punto de vista del operador. Pero, ¿a qué se enfrentará el ejército contra el que vayan dirigidos? Antes de analizar esta cuestión, se deben aclarar unos conceptos clave de la terminología militar que, pese a ser parecidos, tienen un significado y por tanto medios y objetivos distintos.

La Defensa Aérea, o AD (*Air Defence*), es el conjunto de acciones y medidas que tienen el objeto de gestionar, reducir y combatir las fuerzas aéreas enemigas. A nivel OTAN, desde hace unos años se viene empleando el término EAD (*Extended Air Defence*) para englobar, aparte de las amenazas convencionales de aeronaves, los misiles tanto tácticos como estratégicos. La AD integra elementos de los tres ejércitos e incluso civiles (se puede apoyar en radares de aeropuertos no militares, por ejemplo) y normalmente su mando es responsabilidad del Ejército del Aire [22].

El término “Defensa Antiaérea”, en cambio, es más restrictivo y se refiere sólo y exclusivamente a la contribución de elementos de superficie a la AD. Por parte del Ejército de Tierra esto, en su mayor parte, significa Artillería Antiaérea pero no se debe olvidar que la Armada contribuye significativamente con sus buques a la AD y, al tratarse estos de elementos de superficie, también forman parte del término Defensa Antiaérea. El presente estudio se centrará en la aportación correspondiente del Ejército de Tierra a la misma. Actualmente, los sistemas de armas más eficientes en este campo son los de tipo misil. Pese a que se siguen empleando por parte de los países avanzados los cañones (un buen ejemplo es el Oerlikon 35/90, en servicio en las FAS españolas o los sistemas que emplean las principales armadas del mundo funcionando de elemento anti aéreo cercano y defensa contra misil como el

PHALANX CIWS o el AK-630), ante las aeronaves de combate modernas, que usan misiles con decenas de kilómetros de alcance, el empleo de cañones se ve totalmente superado tanto por su limitado radio de acción como por la elevada velocidad de estas, reservándose su empleo para amenazas muy cercanas o vehículos voladores más fáciles de batir en este sentido, como helicópteros.

Sin embargo, los misiles son sistemas de armas muy caros. Ante UAV de combate, como el Reaper, pueden resultar rentables pero no así contra UAV de vigilancia/reconocimiento mucho más pequeños y baratos, por no mencionar la posibilidad de un enjambre de nano UAV de sencilla y barata construcción, ante los que usar un misil es, como reza la expresión popular, “matar moscas a cañonazos”. Por esta razón, los sistemas cañón que, pese a seguir en ciertos sentidos vigentes, han quedado ciertamente desplazados, pueden encontrar un resurgir en su uso si consiguen adaptarse para hacer frente a la emergente amenaza de los UAV en los campos de batalla modernos.

4.2 – Debilidades de los UAV a explotar

Hay que hacer una clara distinción entre lo que en el momento actual existe, y el concepto que se pretende alcanzar en los sistemas futuros. Como se ha expuesto al hablar de los UAV actualmente, el hecho de que se empleen casi exclusivamente en misiones en que la supremacía aérea y tecnológica es aplastante (misiones de establecimiento y mantenimiento de la paz, contrainsurgencia) supone que, al no haber excesiva amenazas contra estos, los sistemas existentes no están diseñados pensando en un entorno de trabajo hostil. Suelen ser por tanto, aeronaves no excesivamente rápidas, con escasa capacidad de eludir ataques y carentes de defensas en comparación con sus contrapartes tripuladas más comunes actualmente, los cazabombarderos. Son pilotados por equipos humanos a distancia, y dependen en gran medida de mantener el enlace con la GCS para funcionar. Incluso los UAV más orientados al combate, como el Reaper, se han producido bajo esta filosofía, más pensados para aprovechar la supremacía aérea y atacar objetivos seleccionados en tierra, que para combatir en el aire y contra defensas aéreas enemigas y garantizar esta supremacía. En otras palabras, los UAV existentes en el momento actual no están pensados de forma principal para actuar en una guerra simétrica convencional contra un enemigo de fuerzas y tecnología similares.

En cambio, es necesario tener en cuenta la más que probable aparición en un futuro no muy lejano de otras doctrinas en cuanto a diseños y fabricación de UAV, avanzando hacia sistemas autónomos que no dependan de un equipo humano más que para supervisarlos, no para controlarlos, y cuyas capacidades complementen o incluso solapen a las de las actuales aeronaves de combate, llevando a cabo misiones de interdicción, supremacía aérea o SEAD (*Suppression of Enemy Air Defences*) y otra vertiente que suponga la aparición de sistemas cada vez más miniaturizados que deriven en normalización en el empleo militar de los micro- y nano-UAV. Para hacer frente a estas amenazas hay que tener en cuenta que, al no ir pilotados, son mucho más sensibles a medidas de EW que cualquier ser humano. En cambio, para batir nano-UAV de forma rentable se han de desarrollar un conjunto de medidas que sean baratas, fáciles de fabricar y emplear que así hagan económicamente sostenible el usarlas contra aparatos con similares características. En cualquier caso, todas sus capacidades tienen su fundamento en su pequeño tamaño y, por tanto, sus medidas defensivas se centrarán más en no ser detectados que en ser difíciles de batir.

4.3 – Sistemas de armas actuales

Se pueden dividir los sistemas de armas actuales empleados en el marco de la Defensa Antiaérea en sistemas de misiles y sistemas de cañón. Sin embargo, las funciones por estos ejercidas sólo constituyen una parte de cualquier operación, y no necesariamente la más importante. Pese a ser la parte más visible, no se han de olvidar los elementos de adquisición, localización y seguimiento de blancos que pueden ser desde aviones o UAV de exploración a, más comúnmente, radares, así como los elementos de mando, control y enlace o C3 (*command, control and communications*) que son los puestos de mando (móviles o fijos), nodos de transmisiones y antenas desde donde se coordinan, gestionan y organizan las fuerzas en el teatro de operaciones sin los cuales sería imposible cualquier tipo de operación con una mínima envergadura y unidades implicadas. No obstante, como tanto los sistemas de adquisición así como los de mando y control ya existentes resultan en mucho mayor grado adaptables de la actual amenaza de aeronaves tripuladas a UAV que los de armas, los ejemplos a continuación relatados, en servicio en las FAS españolas, se ceñirán en exclusivo a los tipos citados de sistemas de armas.

Cañón 35/90 Oerlikon

Compuesto por dos cañones gemelos automáticos fabricados por la empresa suiza *Oerlikon*, actualmente propiedad de *Rheinmetall*, dispara proyectiles de 35 mm. La pieza puede apuntarse en orientación y elevación de forma automática o manual. Se conecta a una dirección de tiro (DT) *Skyguard* que es desde donde se realizan los cálculos balísticos y el disparo automático. Su alcance eficaz son 4000 metros, por lo que sólo puede usarse contra aeronaves a baja y muy baja cota [23]. Su



Figura 6. Cañón 35/90



Figura 7. MIM-104C Patriot

Misil Patriot

Actualmente, con sus más de 70 km de alcance, el misil antiaéreo más avanzado del que dispone el Ejército de Tierra español es el MIM-104 Patriot, en la Figura 5, de la estadounidense *Raytheon*. El funcionamiento de guiado del tipo “teleguía indirecta” consiste en el que el radar ilumina al blanco y el misil lo detecta, calculando su posición relativa él mismo y

transmitiéndola por datos a la estación terrestre que realiza los cálculos balísticos y de pilotado. Este misil también cuenta con cierta capacidad para abatir misiles balísticos, aunque su propósito principal es contra aeronaves [24].

4.4 – Propuestas y medidas de defensa contra UAV y nano-UAV

Sin duda alguna, en el estado actual de la tecnología en el campo de la aeronáutica no tripulada la medida más efectiva para contrarrestar es atacar las estaciones terrestres de control. Puesto que todos los UAV en servicio en este momento son del tipo RPA, más eficiente que atacar al aparato en sí, lo es neutralizar las GCS, que son un recurso más crítico. No es necesario destruirlas siquiera, con anular la antena que se usa para el enlace de datos, que es el elemento más detectable debido a la radiación que emite, razón a su vez por la cual se suele desplegar separada en el espacio del resto de la GCS. De esta forma, no sólo se interrumpe la acción del UAV sobre el que se actúa sino de otros posibles dispositivos o sistemas que estén siendo controlados por la estación o puedan serlo en sustitución del primero. Además, se evita así su uso como relé, impidiendo que UAV que se hallen en otras localizaciones puedan operar auxiliados por la GCS neutralizada.

No obstante, se debe tener en cuenta que no siempre se va a disponer de la viabilidad de actuar contra la GCS. Conforme los UAV evolucionen hacia aeronaves más armadas, se darán distancias de millares de kilómetros entre la GCS y el aparato en sí (como se ha mencionado anteriormente el Reaper tiene 5900 km de radio de acción). Esto resulta en la inviabilidad de establecer acciones contra las estaciones terrestres como el método estándar de actuación. En estos casos, lo más apropiado es atacar el enlace entre ésta y el aparato, haciendo uso de contramedidas de EW como el *jamming* (interferencias). Finalmente, se puede actuar directamente sobre el UAV empleando sistemas tradicionales para combatirlos, es decir, misiles y aeronaves. En el primer caso, no existen elementos específicamente diseñados para derribar UAV pero es perfectamente viable emplear misiles ya en uso para atacarlos. En cuanto a las aeronaves se puede confiar en las tripuladas o incluso en UAV cuyo fin sea garantizar la superioridad aérea, producidos con el fin de enfrentar amenazas en el aire.

Sin embargo, en caso de actuar contra un UAV tipo clase I como el RAVEN, aunque pueden usarse misiles, como muestra el ejemplo de los UAV tipo SCRAB que usa la UBAA (Unidad de Blancos Aéreos) del MAA (Mando de Artillería Antiaérea), que se emplean de blanco para la instrucción con el tiro de distintos misiles como el Roland, en la mayoría de los casos no resulta rentable ya que, económicamente hablando, es mucho más costoso un misil que estos aparatos. Por ello, para este tipo de casos en los que no se puede actuar contra la GCS o el enlace de datos, y teniendo en cuenta las bajas velocidades relativas de estos UAV, lo más recomendable es usar sistemas cañón con munición AHEAD. De hecho, el SCRAB I también se emplea como blanco en instrucción de tiro para el cañón 35/90.

La perspectiva futura de los sistemas de Defensa Aérea es más difícil de elucubrar ya que estos evolucionarán conforme lo hagan los sistemas aéreos y, por tanto, es teorizar sobre ideas y planteamientos, con lo cual la incertidumbre es netamente mayor. Por tanto, en el probable escenario futuro y siguiendo la línea que se ha expuesto en el presente texto, los UAV evolucionarán hacia dos tipos distintos de amenaza que ya no dependerán de una GCS o el elemento humano permanentemente

4 – Defensa Antiaérea en relación a UAV y micro-UAV

supervisándolos para llevar a cabo su tarea: sistemas mayores, con características similares a aeronaves de combate muy avanzadas tecnológicamente y por otro lado, micro- y nano-UAV operando en enjambres, de tamaño y coste reducido. Por tanto, no resultará recomendable actuar sobre la GCS ya que ésta, en caso de existir, no resultará imprescindible para el funcionamiento de los UAV.




Tecnología	Ejemplos	Descripción
Láser	<p>Mobile Tactical High Energy Laser (MTHEL)</p> 	Proyecto conjunto entre ISRAEL y Estados Unidos, los prototipos llegaron a derribar misiles, cohetes y proyectiles de mortero. Cancelado en 2005 por su sobrecoste (más de 300 millones de dólares) [25].
	<p>High Energy Liquid Laser Area Defense System (HELLADS)</p>	Proyecto en desarrollo de DARPA (<i>Defence Advanced Research Projects Agency</i>) en Estados Unidos que, en base a un láser de 150 kW, 750 kg de peso y un volumen de 3 m ³ pretende diseñar un sistema antiaéreo y C-RAM (<i>Counter-Rocket, Artillery and Mortar</i>), pudiendo adaptarse para ser empleado desde aeronaves o tierra [26].
EMP y microondas	<p>Bofors HPM Blackout</p> 	De la empresa británica <i>BAE systems</i> , se trata de un potente emisor de microondas. En pruebas ha conseguido dañar una considerable variedad de productos electrónicos a distancia [27].
	<p>High Power ElectroMagnetics</p> 	Diseñado por alemana <i>Diehl</i> , se trata de un dispositivo que emite pequeños EMP capaces de interferir en dispositivos electrónicos como cámaras y alarmas de seguridad. Existen distintas configuraciones, desde las más compactas para fuerzas de operaciones especiales a una diseñada para interferir en el mecanismo de activación de IEDs y pesa alrededor de 30 kg [28].
	<p>Vigilant Eagle</p>	Se trata de un desarrollo de <i>Raytheon</i> con el objetivo de disponer de un sistema que se instale en aeropuertos y puntos sensibles para interceptar el uso de misiles tipo MANPADS (<i>Man Portable Air Defence System</i>), lanzados por una persona, principalmente con fines antiterroristas. Consiste en una serie de sensores, una estación de control y el emisor. Cuando los sensores detectan el misil, inmediatamente se calculan los datos balísticos y se proyectan las microondas sobre el mismo, destruyéndolo o desviándolo [29].

Tabla 5. Ejemplos referentes a sistemas y proyectos de armas de energía dirigida

En el primer escenario, no requerirán especiales cambios los sistemas de armas destinados a la Defensa Aérea respecto de los aviones tripulados. Quizás, por la naturaleza enteramente electrónica y mecánica del aparato, las medidas de EW sean lo más eficiente a la hora de combatirlos, pero dejando de lado este aspecto, no será muy distinto afrontar un UAV de combate que un caza pilotado de manera convencional, es decir, con misiles lanzados desde buques y tierra o, principalmente, otras aeronaves de combate.

Es por otra parte el segundo de los supuestos, por ser el más innovador, el que mayor abanico de opciones presenta. Sin duda, por el bajo coste de los enjambres, no será rentable atacarlos con misiles o aviones de combate, por lo que las armas que mayor eficiencia podrían dar, aparte de la ya mencionada EW como primera medida, son aquellas llamadas de “energía dirigida”. Existen pocas plenamente funcionales hoy en día pero conforme avance la investigación, aparecerán sistemas más portátiles y versátiles. Se podrían portar por un individuo, que los usase ante la percepción visual o mediante sensores de estos dispositivos, emplazarse en vehículos o puntos sensibles para que actuaran de forma automática al detectarlos... En la Tabla 5, se enumeran una serie de ejemplos de estos sistemas basados en láser y en emisores de microondas y EMP (*Electro Magnetic Pulse*).

Estos elementos expuestos sirven para ver, de forma general, que pese a hallarse en un estado ya avanzado y en algunos casos incluso operativo, estas tecnologías no están aún lo suficientemente maduras y por tanto su uso en la actualidad es limitado. Finalmente, también existe la opción de, análogamente a sus contrapartes mayores, emplear otros sistemas de micro- y nano-UAV para contrarrestarlos. Un enjambre de estos diminutos aparatos diseñados específicamente para encontrar y atacar sistemas similares, que se liberasen al detectarlos por parte de personal humano, de forma automática o que estén activos previamente en la zona, desarrollando tareas de vigilancia.

5 - Conclusiones

A lo largo del presente Trabajo Fin de Grado se ha analizado la situación actual de la investigación, desarrollo y empleo de los UAV, también conocidos como “drones”, desde un punto de vista predominantemente militar, así como la más probable línea de evolución futura de dichos dispositivos desde el pilotado remoto en el que actualmente basan su funcionamiento la práctica totalidad de éstos hacia sistemas autónomos que no requieran el elemento humano para llevar a cabo su misión, teniendo en cuenta que en el momento presente sólo se emplean en situaciones de amplia superioridad aérea y en entornos de guerra asimétrica. Tras estudiar las debilidades y características de los UAV se ha concluido que su mayor debilidad reside en su dependencia de una estación de control terrestre desde la cual el elemento humano los hace funcionar y, por tanto, la mayor eficiencia a la hora de combatirlos recae en actuar contra esta dependencia, bien sea atacando el enlace de datos o neutralizando el equipo terrestre, jugando una especial significancia las medidas de guerra electrónica. Si esto no fuese posible o se requiriese por necesidades de la misión, la opción más eficiente es optar por elementos antiaéreos acordes a las características del UAV a combatir: si son de los más comunes de clase I con baja velocidad, tamaño y nulas o escasas capacidades ofensivas y defensivas, sistemas cañón o incluso misiles tipo Mistral para baja/muy baja cota. Por el contrario, para UAV más avanzados y

complejos como el Reaper, resulta más recomendable el empleo de elementos tradicionales de superioridad aérea como el combate mediante aviones de caza o la utilización de misiles antiaéreos más avanzados.

En función a los expuesto en diversos documentos y fuentes bibliográficas acerca de la materia que se hallan referenciados en el presente trabajo, se ha establecido que la línea de progresión futura convergerá hacia dos extremos diferenciados: el desarrollo de los UAV de combate muy avanzados y polivalentes, que llegarán a complementar e incluso, en algunos casos, sustituir a las aeronaves pilotadas y, en el polo opuesto, micro- y nano-UAV de tamaño cada vez menor que se emplearán de forma individual o en grupos coordinados llamados “enjambres”. Puesto que en este caso se tratan de sistemas autónomos, el elemento crítico que supone el equipo humano que los controla a distancia desaparece. No obstante, por tratarse de aparatos con una gran cantidad de electrónica, seguirán siendo sensibles a la guerra electrónica. Si se ha de combatirlos de forma convencional, para los grandes UAV de combate la actuación más apta será la misma que con cualquier otro tipo de amenaza tripulada: actuar con elementos de superioridad aérea, que en este caso incluyen a los UAV de combate propio aparte de las aeronaves tripuladas o elementos antiaéreos terrestres. Sin embargo, para sus contrapartidas de tamaño reducido, no resulta óptimo este proceder por lo que se han expuesto otras medidas menos convencionales que se consideran eficientes y se basan en tecnologías emergentes o desarrollo basadas en las llamadas armas de “energía dirigida”, siendo especialmente útiles aquellas basadas en producir pulsos electromagnéticos que anulen los circuitos eléctricos por la naturaleza exclusivamente inorgánica de los UAV.

Se trata ésta de una tecnología fascinante que de mano al desarrollo de la robótica en cuyo campo se engloba dará mucho que hablar en los próximos años, tanto en el apartado científico como en el militar. Así como en un debate ético sobre lo acertado o no de permitir que un UAV autónomo sin autorización humana sea capaz de decidir por sí mismo arrebatar una vida humana. En los lustros venideros se asistirá a una normalización de los ya muy presentes en los medios “drones”, tanto en operaciones bélicas como en la vida cotidiana. Será misión de las unidades que estén involucradas en las labores de la Defensa Aérea, como lo es de cualquier tipo de unidad militar, la de adaptarse a la irrupción de esta tecnología para integrarla en sus medios disponibles y combatirla de la forma más eficiente posible.

Bibliografía

- [1] *Joint Doctrine note 2/11. The UK approach to unmanned aircraft systems* (2011). Development, Concepts and Doctrine Centre, Ministerio de Defensa del Reino Unido.
- [2] ROGERS, P. *Unmanned Air Systems - The future of air & sea power?* (2014). Focus stratégique, Laboratoire de Recherche sur la Défense, nº 49, 2014.
- [3] BERMEJO ROSADO, A. *Los UAV's en las FAS del siglo XXI* (2011) Centro Superior de Estudios de la Defensa Nacional, Ministerio de Defensa de España.
- [4] *Circular 328-AN/190* (2011). Montréal, Organización de Aviación Civil Internacional.
- [5] *Los sistemas no tripulados* (2012). Centro Superior de Estudios de la Defensa Nacional, Ministerio de Defensa de España.
- [6] SOLOMON, J. *Uncertainties remain as FAA integrates drones into U.S. skies; number of drones may hit 30,000 by 2020* (2016). Drones in the U.S.: A Special Student Report, Medill National Security Zone.
- [7] *Lecciones aprendidas de la participación de la Unidad PASI en la operación R/A* (2014). Mando de Adiestramiento y Doctrina, Ministerio de Defensa de España.
- [8] *Searcher Mk III* (2014). Israel Aerospace Industries. Disponible: http://www.iai.co.il/Sip_Storage//FILES/1/38201.pd. [Último acceso: 15 de agosto de 2015].
- [9] PÉREZ PAREDES, O., Capitán Jefe de la 2ª Compañía UAV del RINT 1. *Experiencia del sistema PASI en Afganistán*. [Entrevista]. 27 de marzo de 2015.
- [10] BASURTO, J. A., Subteniente Operador de Vuelo de la 2ª Compañía UAV del RINT 1. *Funciones del operador del sistema PASI*. [Entrevista]. 27 de marzo de 2015.
- [11] SPICE, B. *Researches Help Develop Full-Size Autonomous Helicopter* (2010). Disponible: <http://www.cmu.edu/news/blog/2010/Summer/unprecedented-robochopper.shtml> [Último acceso: 19 abril de 2015].
- [12] *Submarino S-80* (2011). Navantia. Disponible: http://www.navantia.es/interior.php?id_sec=3&id_pag=27. [Último acceso: 16 de abril de 2015].
- [13] *UAS: RQ-11B Raven*. AeroViroment. Disponible: http://www.avinc.com/uas/small_uas/raven/ [Último acceso: 16 de agosto de 2015].
- [14] *MQ-9 Reaper facts sheet*. U.S. Air Force. Disponible: <http://www.af.mil/AboutUs/FactSheets/Display/tabid/224/Article/104470/mq-9-reaper.aspx> [Último acceso: 16 de agosto de 2015].

- [15] *Spain To Buy 4 US Surveillance Drones* (2015). Defense News. Disponible: <http://www.defensenews.com/story/defense/international/europe/2015/08/06/spain-buy-us-surveillance-drones/31231101/> [Último acceso: 2 de septiembre de 2015].
- [16] *MQ-1B Predator facts sheet*. U.S. Air Force. Disponible: <http://www.af.mil/AboutUs/FactSheets/Display/tabid/224/Article/104469/mq-1b-predator.aspx> [Último acceso: 16 de agosto de 2015].
- [17] *Tecnologías asociadas a sistemas de enjambres de μ UAV* (2012). Centro Superior de Estudios de la Defensa Nacional, Ministerio de Defensa de España.
- [18] CEVIK, P., AKGUL A. S., KOCAMAN I. y AKCA, B.P. *The Small and Silent Force Multiplier: A Swarm UAV—Electronic Attack* (2013). Journal of Intelligent & Robotic Systems, Springer, pp. 595-608.
- [19] ROSATI, S. *Flying Ad-Hoc Networks* (2015) École polytechnique fédérale de Lausanne. Disponible: <http://smavnet.epfl.ch/> [Último acceso: 20 de agosto de 2015].
- [20] FRINK, S. *Boeing and John Hopkins University demonstrate control of UAV swarm from laptop and radio* (2012). Military & Aerospace Electronics. Disponible: <http://www.militaryaerospace.com/articles/2012/08/boeing-and-john-hopkins-university-demonstrate-control-of-uav-swarm-from-laptop-and-radio.html> [Último acceso: 20 de agosto de 2015].
- [21] *PD-100 Black Hornet PRS*. Proxdynamics. Disponible: <http://www.proxdynamics.com/products/pd-100-black-hornet-prs> [Último acceso: 20 de agosto de 2015].
- [22] *Táctica y Logística II, AGM-FM-024* (2012). Zaragoza, Mando de Adiestramiento y Doctrina, Ministerio de Defensa de España.
- [23] *Regimiento de Artillería Antiaérea nº 72*. Página web del Ejército de Tierra español. Disponible: <http://www.ejercito.mde.es/unidades/Zaragoza/raaa72/Organizacion/materiales/index.html> [Último acceso: 29 de agosto de 2015].
- [24] PARSCH, A. *MIM-104* (2002). Directory of U.S. Missiles and Rockets. Disponible: <http://www.designation-systems.net/dusrm/m-104.html> [Último acceso: 30 de agosto de 2015].
- [25] *Mobile Tactical High Energy Laser*. GlobalSecurity.org. Disponible: <http://www.globalsecurity.org/space/systems/mthel.htm> [Último acceso: 31 de agosto de 2015].
- [26] SHAVER, D. *High Energy Liquid Laser Area Defense System (HELLADS)*. Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA). Disponible: <http://www.darpa.mil/program/high-energy-liquid-laser-area-defense-system> [Último acceso: 31 de agosto de 2015].

- [27] *Bofors HPM Blackout* (2008). BAE Systems. Disponible:
https://r3zn8d.files.wordpress.com/2012/02/bae_pdf_bofors_hpm_blackout.pdf [Último acceso: 31 de agosto de 2015].
- [28] SPORER, M. *White Paper on HPEM technology* (2013). Diehl BGT Defence.
- [29] *Technology today* (2007), Raytheon, vol. 1, pp. 17-18.