



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Desarrollo de procedimientos y técnicas contra Sistemas Aéreos No Tripulados

Autor

D. Alejandro García Ferrández

Director/es

Director académico: Dr. D. Daniel Casanova Ortega
Director militar: Capitán D. José María Fernández Caballero

Centro Universitario de la Defensa-Academia General Militar
2020

Agradecimientos

Me gustaría expresar mi más sincero y profundo agradecimiento a todos aquellos que, de alguna forma, me han ayudado a hacer posible la finalización del Trabajo Fin de Grado.

Muy en especial al Capitán D. José María Fernández Caballero y al Dr. D. Daniel Casanova Ortega, por su ayuda y predisposición en todo lo referente a este trabajo.

A los componentes del Regimiento de Ingenieros nº1 donde he desarrollado las prácticas de mando, por su gran recibimiento e interés mostrado en este trabajo. En especial Al Teniente D. Fernando De Cea Oroz, por el tiempo dedicado y por ser un referente durante el tiempo que estuve en las prácticas. No debo de dejar atrás y agradecer a cada uno de los suboficiales que con todo su empeño y dedicación sumaron en este trabajo, Sargento Primero D. Pedro Manuel García Iñigo, Sargento D. Rubén Saiz Gómez, Sargento D. Roberto Benito Martin, Sargento D. Adrián Alonso González.

Resumen

Desarrollo de procedimientos y técnicas contra Sistemas Aéreos No Tripulados

En la actualidad, en comparación con la última década, el uso de sistemas aéreos no tripulados ha aumentado de forma exponencial. Estos se encuentran al alcance de cualquier usuario debido a la gran oferta en el mercado. Tampoco facilita el control de los mismos su bajo coste y la posibilidad de poder comprarlos sin ningún tipo de licencia.

Además, se han aprovechado de estas nuevas tecnologías para emplearlas con fines hostiles o maliciosos los agentes estatales y no estatales. Estos sistemas aéreos no tripulados de pequeño tamaño, que vuelan a baja altura, son difíciles de identificar, detectar y neutralizar por los medios actuales de Defensa Aérea. Debido a esto, suponen una gran amenaza para nuestras FAS, tanto en territorio nacional como para las tropas desplegadas en misiones en el exterior, así como para el resto de los ciudadanos.

Nos estamos enfrentando a una amenaza para la seguridad, es por ello la importancia de este trabajo, en el cual, analizando el estado del arte tanto de los sistemas aéreos no tripulados como de sus contramedidas, se propondrán unos procedimientos y técnicas para enfrentarse a esa amenaza.

Abstract

Development of procedures and techniques against Unmanned Aerial Systems

Nowadays, compared to the last decade, the use of unmanned aerial systems has increased exponentially. These are within the reach of any user due to the great offer on the market. Neither does their low cost and the possibility of being able to buy them without any type of license facilitate their control.

In addition, state and non-state actors have taken advantage of these new technologies to use them for hostile or malicious purposes. These small, low-flying unmanned aerial systems are difficult to identify, detect and neutralize by current Air Defense means. Because of this, they pose a great threat to our Armed Forces, both in national territory and for the troops deployed on missions abroad, as well as for the rest of the citizens.

We are facing a threat to security, which is why the importance of this work, in which, analyzing the state of the art of both unmanned aerial systems and their countermeasures, procedures and techniques will be proposed to face this threat.

ÍNDICE.

Agradecimientos	III
Resumen	IV
Abstract	V
ÍNDICE.	VI
Lista de anexos	VII
Lista de tablas e imágenes	VIII
Lista de abreviaturas	IX
1 Introducción	1
<i>1.1 Ámbitos de aplicación</i>	<i>1</i>
<i>1.2 Interés del trabajo para el ejército</i>	<i>2</i>
<i>1.3 Objetivo y alcance del proyecto</i>	<i>2</i>
<i>1.4 Antecedentes</i>	<i>2</i>
<i>1.5 Metodología</i>	<i>3</i>
2 Situación actual de los sistemas aéreos no tripulados	4
3 Situación actual de la lucha contra los sistemas aéreos no tripulados (C-UAS)	8
<i>3.1 Medios de detección y seguimiento</i>	<i>8</i>
<i>3.2 Medios de neutralización</i>	<i>9</i>
3.2.1 Medios de bajo nivel tecnológico	9
3.2.2 Armamento y municiones	10
3.2.3 Misiles	11
3.2.4 Armas láser	12
3.2.5 Contramedidas electrónicas	12
3.2.6 Armas HPM/HPEM	13
4 Tácticas, técnicas y procedimientos enemigos	14
5 Desarrollo de procedimientos y técnicas para la lucha C-UAS	16
<i>5.1 Fase de detección</i>	<i>17</i>
<i>5.2 Fase de Identificación</i>	<i>17</i>
<i>5.3 Fase de neutralización</i>	<i>17</i>
6 Conclusiones y líneas futuras	20
7 Bibliografía	21
ANEXO A - Lista de medios C-UAS en la actualidad	X

Lista de anexos

ANEXO A – Lista de medios C-UAS en la actualidad

Lista de tablas e imágenes

- Tabla 1: Clasificación OTAN de los sistemas de aeronaves no tripuladas.
- Imagen 2: Sistema Huginn X1.
- Imagen 3: Mochila diseñada para transportar Huginn X1.
- Imagen 4: Halcón neutralizando un UAS.
- Imagen 5: Munición air burst de 30mm.
- Imagen 6: Vehículo equipado con sistema de misiles SHORAD.
- Imagen 7: Sistema de misiles VSHORAD
- Imagen 8: Sistema láser de alta potencia instalado en un buque norteamericano.
- Imagen 9: Unidad móvil HPM.
- Imagen 10: Dron comercial modificado utilizado por el Estado Islámico.
- Imagen 11: Solución C-UAS genérica.
- Imagen 12: Solución C-UAS a los escenarios propuestos.

Lista de abreviaturas

UAS: Unmanned Aerial System.
FAS: Fuerzas Armadas.
C-UAS: Counter UAS.
UAV: Unmanned Aerial Vehicle.
OTAN: Organización del Tratado del Atlántico Norte.
LOS: Line Of Sight.
BLOS: Beyond LOS.
AGL: Above Ground Level.
VTOL: Aterrizaje y despegue vertical.
EO: Electroóptica.
HD: Alta definición.
IR: Infrarrojos.
ISR: Intelligence, Surveillance, Reconnaissance.
mm: Milímetros.
SHORAD: Short Range Air Defence.
VSHORAD: Very Short Range Air Defence.
ECM: Electronic Countermeasures.
HPM: High Power Microwave.
HPEM: High Power Electromagnetic.
Mhz: Megahertzios.
Ghz: Gigahertzios.
IED: Improvised Explosive Device.
IRST: Infrared Search and Track.
GNSS: Global Navigation Satellite System.
IA: Inteligencia Artificial.
RF: Radiofrecuencia.
TTP: Tácticas, técnicas y procedimientos.
NBQ: Nuclear, Biológico, Químico.

1 Introducción

1.1 Ámbitos de aplicación

Durante la última década, los sistemas aéreos no tripulados (UAS, del inglés Unmanned Aerial System) han experimentado un aumento exponencial en su uso. Estos sistemas, popularmente conocidos como drones, están siendo empleados para muy diversos fines por parte de diferentes actores.

En los últimos años se ha experimentado un aumento sin control del uso de los UAS. Estos se encuentran al alcance de cualquier usuario debido a la gran oferta en el mercado, con unas grandes capacidades y de pequeño tamaño. Tampoco facilita el control de los mismos su bajo coste y la posibilidad de poder comprarlos sin ningún tipo de licencia. Debido a su uso imprudente se han ocasionado accidentes y situaciones potencialmente peligrosas.

Además, se han aprovechado de estas nuevas tecnologías para emplearlas con fines hostiles o maliciosos los agentes estatales y no estatales. Estos fines amplían el uso convencional que se hace de los UAS en misiones de vigilancia, reconocimiento, adquisición de blancos e inteligencia, al uso de éstos como vectores de ataque portando municiones, armas, explosivos o agentes biológicos.

La innovación en este campo se está produciendo a un ritmo cada vez mayor, con nuevas tecnologías cada vez más revolucionarias y disruptivas, fundamentalmente provenientes del sector civil. Este rápido avance pone en peligro la interoperabilidad, por lo que es necesario avanzar a un ritmo equivalente al de nuestros aliados e incorporar las innovaciones para no quedar en la retaguardia de este campo.

Estos UAS de pequeño tamaño, que vuelan a baja altura, son difíciles de identificar, detectar y neutralizar por los medios actuales de Defensa Aérea. Debido a esto, suponen una gran amenaza para nuestras FAS, tanto en territorio nacional como para las tropas desplegadas en misiones en el exterior, así como para el resto de los ciudadanos.

Nos estamos enfrentando ante una amenaza creciente para la seguridad, lo cual supone un reto tanto tecnológico como institucional para disponer de medios contra sistemas aéreos no tripulados (C-UAS, del inglés Counter Unmanned Aerial System) capaces de adaptarse al ritmo que lo hacen las amenazas y la propia tecnología. Todos estos sistemas deben evolucionar para hacer frente a la nueva amenaza de manera eficaz y segura.

Por todo esto, uno de los estudios que está realizando las FAS es la futura implementación de sistemas C-UAS para erradicar esta amenaza. La preparación de las FAS debe evolucionar a la par o adelantarse a las amenazas que pueden poner en riesgo su seguridad siempre que fuese posible. Para ello, la clave sería un aumento de empeños en el estudio prospectivo, para poder protegernos frente a las innovaciones con eficacia.

En este estudio se plantea también un enfrentamiento de alta intensidad frente a un enemigo tecnológicamente muy avanzado. Este avance tecnológico aparte de verse en los UAS, también se puede ver en la capacidad del enemigo de disputarnos el espectro electromagnético, además de la gran capacitación en el área Ciber y de la Información.

1.2 Interés del trabajo para el ejército

El interés de este trabajo es proporcionar a las Fuerzas Armadas (FAS) de medios C-UAS para poder detectar, identificar y neutralizar si fuese necesario cualquier amenaza relacionada con los UAS, campo en el cual se están realizando diversos estudios actualmente para su implementación dentro del Ejército.

Para ello se adquirirán e implementarán medios específicos para la lucha C-UAS en función de las necesidades de cada Unidad. Ya que, al ser la amenaza no convencional, todos los ejércitos se están dotando de estos medios debido a la proliferación de su uso.

Los principales ejércitos aliados de las FAS siguen innovando dichos medios ya que, en muchos casos, todavía siguen en fase experimental. En las diversas misiones que desarrolla España en el exterior, se ha visto el aumento del uso de los UAS por parte de la insurgencia, ya que es una forma fácil y directa de conseguir inteligencia o de realizar ataques acoplado un sistema de armas. Por lo tanto, el no tener las capacidades C-UAS supone una vulneración de nuestra seguridad.

1.3 Objetivo y alcance del proyecto

Como se viene desarrollando, el objetivo principal del trabajo es analizar la amenaza que actualmente suponen los UAS en el ámbito militar, así como las tácticas técnicas y procedimientos empleadas por el enemigo más frecuentes en zona de operaciones. Una vez estudiadas, desarrollar un procedimiento viable para poder luchar contra esta amenaza.

Dentro de este objetivo principal se pueden englobar diferentes objetivos secundarios, entre los que destacan la descripción de los medios C-UAS existentes en el mercado actual y la descripción de los UAS existentes en el mercado actual.

1.4 Antecedentes

En los años 90 se sustituyó el término vehículo aéreo pilotado remotamente por el término vehículo aéreo no tripulado (UAV, del inglés Unmanned Aerial Vehicle), el término sustituido fue el utilizado durante la guerra de Vietnam y su posterioridad. El término UAV viene definido por el Ministerio de Defensa de los Estados Unidos como:

“Un vehículo aéreo motorizado que no lleva a bordo a un operador humano, utiliza las fuerzas aerodinámicas para generar la sustentación, puede volar autónomamente o ser tripulado de forma remota, que puede ser fungible o recuperable, y que puede transportar una carga de pago letal o no. No se consideran UAV a los misiles balísticos o semibalísticos, misiles crucero y proyectiles de artillería.” (Joint Publication 1-02, Department of Defense Dictionary)

Esta definición también excluye, además de los proyectiles de artillería y de los misiles citados, a los planeadores, a los objetos arriestrados, a los globos y a los dirigibles.

La idea del avión no tripulado no es actual, de hecho, la idea proviene del siglo XIX, donde fue registrado su primer uso. En 1849, los austriacos pusieron en marcha doscientos globos aerostáticos no tripulados cargados con artefactos explosivos sobre la ciudad de Venecia.[6]

En la Guerra Hispanoamericana de 1898 surgió la práctica de la vigilancia aérea, cuando militares estadounidenses añadieron una cámara a una cometa, dando lugar a una de las primeras fotografías de reconocimiento aéreo. Durante la Primera Guerra Mundial, proliferó ampliamente este método de reconocimiento para obtener fotografías aéreas y seguir los movimientos del adversario para poder formar mapas de situación.[5]

En primer lugar, el pionero del dron se utilizó como blanco de práctica a principios del siglo XX para las fuerzas militares. En segundo lugar, el avión no tripulado fue enviado tras las líneas enemigas equipados con bombas durante el período de entreguerras y en la Segunda Guerra Mundial. En tercer lugar, en la Guerra Fría, el avión no tripulado fue reconocido como un medio de vigilancia factible capaz de obtener datos de inteligencia en áreas de difícil acceso. En cuarto lugar, el dron, en la lucha contra el terrorismo, se ha convertido en un medio que fusiona la capacidad de vigilancia y la capacidad de neutralización.

1.5 Metodología

La metodología seguida a lo largo de todo el trabajo ha estado fundamentada en los criterios de simplicidad, veracidad y fiabilidad. En todo momento se ha pretendido realizar un estudio claro y entendible.

El trabajo se estructura de la siguiente manera: en el primer apartado una breve introducción al problema, en el segundo y en el tercer apartado un análisis de la situación actual, en el cuarto apartado un estudio de las tácticas, técnicas y procedimientos enemigos, en quinto apartado el desarrollo del procedimiento para la lucha C-UAS y en el sexto unas conclusiones finales.

2 Situación actual de los sistemas aéreos no tripulados

Como se ha venido explicando anteriormente, la velocidad con la que avanza esta tecnología es muy considerable. En el mundo en el que vivimos con una constante globalización, el acercamiento que aporta internet a la adquisición de estas tecnologías y el abaratamiento en los costes de estos dispositivos, se ha visto un aumento exponencial en el uso de los UAS. Creados al principio con un fin militar, y que, actualmente, están a la venta como producto para su uso por parte de empresas civiles, para ocio o incluso como juguetes.

El mercado actual nos muestra un amplio espectro de UAS, a la venta comúnmente con su nombre coloquial: “Drones”. Aportando facilidades y usos en campos como el aeromodelismo, la fotografía o el deporte. Son muchas las empresas que tienen pensado ofrecer sus servicios en este tipo de medios, de tal manera que será común verlos en un futuro al servicio de industrias como la de paquetería o mensajería, videovigilancia, limpieza o sanitaria.

La gran problemática de estos avances es que, en las manos equivocadas, pueden pasar de ser una gran ayuda en el día a día de la sociedad a ser una amenaza indiscriminada para la misma; ya que pueden ser usados como portadores de explosivos y municiones, medios de espionaje o incluso un medio para poder rociar de un modo extenso y rápido un agente nuclear, biológico, químico (NBQ) de manera sencilla y en total anonimato para el autor del delito. De hecho, ya se constatan algunos hechos en los que los espacios aéreos y las zonas de alta sensibilidad de nuestro país han sido sobrevolados por estos dispositivos, creando estados de alarma y una alerta social hacia un “intruso” desconocido.

Debido a esta situación, desde hace unos años se están creando ciertas legislaciones que prohíban la libre circulación de estos dispositivos a lo largo de todo el territorio nacional, a fin de evitar accidentes, actividades ilícitas o incluso atentados terroristas. Como norma general, el Reglamento de Circulación Aérea establece que las aeronaves no volarán sobre aglomeraciones de personas al aire libre, aglomeraciones de edificios, en ciudades, pueblos o lugares habitados, a esto hay que añadir los puntos sensibles de nuestro país como, por ejemplo, todas las bases o acuartelamientos militares. Desde el año 2016 en España, con el Real Decreto 601/2016, a día 2 de diciembre, por el que es aprobado el Reglamento de la Circulación Aérea Operativa, se han ido añadiendo reglamentos y normas europeas que regulan la actividad aeronáutica, en donde la Agencia Estatal de Seguridad Aérea tiene la responsabilidad administrativa. Las empresas que quieran realizar trabajos aéreos sobre centros de interés o sobre núcleos urbanos deben estar inscritas en un registro, estar autorizadas para realizar esa actividad y sus vuelos deben cumplir unos requisitos que no se tratarán en este trabajo.

Con respecto a la clasificación que se le da a los UAS, la tabla 1 muestra la clasificación más utilizada actualmente, propuesta por el Joint Capability Group on Unmanned Aerial Vehicles de la Organización del Tratado del Atlántico Norte (OTAN) que más tarde ha sido adoptada por el Plan Director de la Dirección General de Armamento y Material.

Indica que en la tabla 1, las siglas LOS (Line Of Sight) significan que el sistema necesita una línea de visión directa para su funcionamiento, las siglas BLOS (Beyond LOS) se refiere a que no necesitan esa visión directa ya que el sistema recibe las órdenes vía satélite, y las siglas AGL (Above Ground Level) a la altura a la que suele operar el sistema. La columna número 4 de la imagen 1 nos proporciona de cada uno de estos sistemas, su altura típica de operación. En cuanto a los valores de radio de emisión que son proporcionados, cabe decir que para los UAS categoría Mini y Small ya han sido superados. Teniendo en cuenta la evolución de esta

tecnología actualmente, se estima que estos valores de alcance, en un corto periodo de tiempo en las categorías antes expuestas puedan llegar a triplicarse.

Clase	Categoría	Empleo habitual	Altura de operación normal	Radio de misión
Clase I (<150 Kg)	Micro <66 Julios	Subunidad táctica (lanzamiento manual), operadores individuales.	Hasta 200 ft AGL	Hasta 5 Km (LOS)
	Mini <15 Kg	Subunidad táctica (lanzamiento manual), operadores individuales.	Hasta 3000 ft AGL	Hasta 25 Km (LOS)
	Small >15 Kg< 150Kg	Unidad táctica (utiliza sistema de lanzamiento)	Hasta 5000 ft AGL	50 km (LOS)
Clase II (150-600Kg)	Táctico	Formación táctica	Hasta 10.000 ft AGL	200km (LOS)
Clase III (>600 Kg)	MALE (Medium Altitude Long Endurance)	Operacional	Hasta 45.000 ft MSL	Sin límite (BLOS)
	HALE (High Altitude Long Endurance)	Estratégico	Hasta 65000 ft	Sin límite (BLOS)
	Ataque/Combate	Estratégico/Operacional	Hasta 65000 ft	Sin límite (BLOS)

Tabla 1: Clasificación OTAN de los sistemas de aeronaves no tripuladas. Fuente: www.researchgate.net

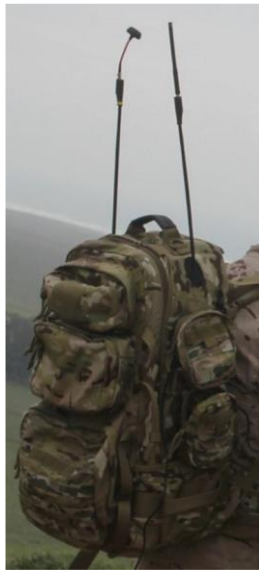
En el caso del Ejército de Tierra español, el UAS utilizado por la mayoría de las unidades que disponen de estos sistemas es el Huginn X1, que se ilustra en la imagen 2. El sistema Huginn X1 pertenece a la categoría micro UAS (OTAN). Es una aeronave de ala rotatoria tipo multirrotor, concretamente cuadrirrotor, de aterrizaje y despegue vertical (VTOL). El sistema dispone de una carga de pago modular montada en la parte frontal que consiste en una cámara electroóptica (EO) de alta definición (HD, del inglés High Definition) o bien una cámara dual EO/infrarroja (IR), lo que le permite a la aeronave realizar multitud de cometidos y misiones tanto en el ámbito militar como en el ámbito civil (targeting, inspección y monitorización de estructuras, inteligencia, vigilancia y reconocimiento (ISR, del inglés Intelligence, Surveillance and Reconnaissance), utilización en catástrofes, etc.).



Imagen 2: Sistema Huginn X1.
Fuente: www.dronologista.wordpress.com

El sistema Huginn X1, con un fuselaje monocasco central, tiene a su disposición cuatro rotores (dos pares contrarrotatorios) dispuestos en el mismo plano y en las extremidades de cada uno de sus cuatro brazos según una cruz, como puede verse en la imagen 1. Se ha de tener muy en cuenta que este sistema no dispone de componentes certificados bajo normativa de carácter aeronáutico, y que en su fabricación hay elementos que pueden ser considerados como fungibles, es un ejemplo de ello el soporte del tren de aterrizaje de cada brazo o las palas. Los brazos que incluyen los motores son un elemento que en su totalidad pueden ser reemplazados. Su reemplazo se controla mediante el control de los tiempos de vuelo.

El sistema Huginn X1, el cual, operado por una persona, está desarrollado para un despliegue rápido, menos de un minuto. Los brazos del sistema pueden plegarse manualmente para una rápida y fácil portabilidad gracias a una mochila o maleta diseñados a medida que se ilustra en la imagen 3.



*Imagen 3: Mochila diseñada para transportar Huginn X1.
Fuente: Elaboración propia*

La notable capacidad de recogida y lanzamiento manual de la aeronave posibilita su uso en condiciones diversas y exigentes como terrenos irregulares y escarpados o desde una zodiac.

El sistema, con un robusto diseño, tiene la capacidad de ser operado con garantías en condiciones tan exigentes como son el polvo, la lluvia intensa, la nieve y el viento. El Huginn X1 ha sido desarrollado con diversas funciones que lo dotan de un alto grado de autonomía (navegación avanzada por waypoints, despegue y aterrizaje automático, etc.), así como con diversas características automáticas de seguridad programadas. Para una transmisión segura, el enlace de datos está encriptado de forma que sea menos vulnerable frente a actos de interferencia ilícita, como por ejemplo el spoofing¹.

La aeronave posee un alcance máximo operativo de dos kilómetros y medio, dependiendo de la misión, la perfecta línea de visión, las condiciones meteorológicas, y de la carga y el estado de la batería utilizada en el sistema. El alcance de vídeo es de aproximadamente dos kilómetros en buenas condiciones y perfecta línea de visión. En cuanto a su autonomía, cada batería tiene una autonomía máxima de 25 minutos, dependiendo de las

¹ El spoofing es el uso de técnicas de suplantación de identidad generalmente para usos maliciosos.

condiciones meteorológicas y de la carga que lleve. Su altura máxima de vuelo con respecto al punto de despegue es de 500 metros. En el ámbito de las velocidades, la velocidad normal es de 8m/s, mientras que la de ascenso y descenso es de 6m/s.

3 Situación actual de la lucha contra los sistemas aéreos no tripulados (C-UAS)

La tecnología C-UAS se refiere a los medios que son utilizados para detectar y/o interceptar UAS. A medida que aumenta la preocupación en torno a la seguridad frente a la potencial amenaza que suponen los UAS tanto en el ámbito civil como en el ámbito militar, está emergiendo rápidamente un mercado dedicado a la lucha contra sistemas aéreos no tripulados. Hasta la fecha, se pueden encontrar hasta 240 medios C-UAS, como se puede ver en el Anexo A, ya sea en el mercado o en desarrollo.[3]

En cuanto a la situación actual de los C-UAS, se pueden dividir en dos grupos según la función que desempeñan: detección y seguimiento, y neutralización, que se desarrollan en los siguientes apartados

3.1 Medios de detección y seguimiento

Estos sistemas, como su propio nombre indica, tienen la función de detectar los UAS de la zona a la que queremos dar seguridad. A continuación, se detallan los posibles medios de detección que poseen estos sistemas:

- Radar: Este sistema detecta la presencia de UAS mediante su firma radar, que es generada cuando la aeronave se choca con los pulsos de radiofrecuencia emitidos por el mismo sistema C-UAS. Estos sistemas normalmente emplean algoritmos para poder distinguir entre UAS y otros objetos que vuelan a poca altura, como los pájaros.
- Radiofrecuencia: Este medio detecta la presencia de UAS mediante el escaneo de las frecuencias en las cuales se sabe que operan la mayoría de los UAS. Diversos algoritmos eligen y geolocalizan las emisiones de radiofrecuencia en un área que probablemente sean UAS.
- Electroópticos: Estos medios detectan los UAS basándose en la firma visual de la aeronave.
- Infrarrojos: Estos medios detectan los UAS basándose en la firma de calor que puede emitir la aeronave.
- Acústica: Detectan UAS mediante el reconocimiento de los sonidos únicos producidos por sus motores. Los sistemas acústicos dependen de una base de datos que contiene los sonidos únicos de los UAS conocidos, los cuales se comparan con los sonidos que se obtienen en una de actuación determinada.

Sensores combinados: En este sistema se integran varios sistemas mencionados anteriormente para así proporcionar una capacidad de detección más amplia. Por ejemplo, un medio puede incluir un sensor acústico que da indicaciones a una cámara óptica cuando detecta un potencial UAS en los alrededores. El uso de múltiples elementos de detección también puede tener la intención de aumentar la probabilidad de una detección exitosa, dado que ningún método de detección por sí solo es capaz de asegurarnos que no va a fallar. Estos sistemas de detección y seguimiento deben estar en contacto con los medios C-UAS de neutralización, que se explican a continuación.

3.2 Medios de neutralización

Diverso es el equipamiento y el armamento utilizado para la neutralización de los UAS una vez han sido detectados, identificados y se encuentran en seguimiento.

La elección del armamento o equipamiento que será utilizado para neutralizar un UAS dependerá en muchos casos de factores técnicos, en otros casos de la situación y la cinemática del objetivo, la situación táctica y por supuesto de las condiciones meteorológicas. Se tiene que tener muy en cuenta que estos factores no afectan únicamente a los medios de detección y neutralización, sino que también afectan de una manera importante al propio UAS. Dentro de los medios de neutralización nos encontramos con varios tipos que se analizan a continuación.

3.2.1 Medios de bajo nivel tecnológico

Estos medios se pueden considerar como la última defensa posible frente la amenaza de los UAS. Esto es debido a que los medios que se van a exponer a continuación al ser de bajo nivel tecnológico, su fiabilidad es bastante más reducida que la de los medios tecnológicamente más avanzados, sin embargo, poseen la ventaja de ser mucho más baratos. Algunos de estos medios son:

- Personal armado: Este medio consistiría, como su propio nombre indica, en personal que, basando su puntería en su adiestramiento personal, estarían equipados con armas de fuego de pequeño calibre. Este medio de neutralización de UAS sería la opción más básica. En este caso, las armas de fuego más adecuadas para la neutralización serían las escopetas de postas ya que ofrecen mayor cobertura, aunque disminuye el alcance efectivo y la cadencia.
- Bombas de agua: Sería el segundo medio más básico, consistiría únicamente en la utilización de una bomba de agua y un chorro de agua de gran alcance y presión para derribar el UAS. El ejemplo más visual sería un camión de bomberos, que tiene la ventaja de ser móvil.
- Halcón interceptador: La misión de este halcón (Imagen 4), con el adiestramiento adecuado, es la de neutralizar los UAS que se encuentren volando a baja altura y con una velocidad no muy elevada. En los últimos años el uso de este medio tampoco es tan descabellado, ya que se puede ver su uso en aeródromos, aeropuertos y bases aéreas, en el ámbito militar, se lleva utilizando varios años en la base naval de Rota.



Imagen 4: Halcón neutralizando un UAS. Fuente: armada.defensa.gob.es

- Dron contra dron: Este medio consistiría, como su propio nombre indica, en la utilización de drones para neutralizar a sus semejantes. Para el desempeño de esta misión utilizan un material muy variado, los materiales más comunes utilizados son el armamento acoplado y las redes para atrapar los UAS.

3.2.2 Armamento y municiones

Este sistema de neutralización es el medio más. Como norma general, este tipo de sistema de armas no tienen integrados sistemas de guiado de proyectiles por lo que su eficacia no es la mejor para abatir los objetivos del tamaño de una UAS pequeño debido a su escasa puntería y que en la mayoría de los casos la habilidad del tirador es la única variable de la eficacia en este tipo de medios.

Estos sistemas de armas se pueden clasificar en función de su calibre: Armamento ligero (entre 5.56mm y 12.7mm), armamento pesado (entre 20mm y 57 mm) y cañones (a partir de 76mm).

Los cañones y el armamento ligero no son considerados muy eficaces contra los UAS. El armamento ligero, en función del fuselaje del UAS, puede no dañar la aeronave lo suficiente como para impedir que desarrolle su misión, además de que, como se ha mencionado anteriormente, la eficacia depende completamente del tirador y del adiestramiento individual que éste posea.

Los cañones, por su parte, pueden causar graves daños y al existir una munición específica para objetivos que se encuentran en el aire además de tener complejos sistemas de guiado puede parecer la mejor opción para derribar UAS. Sin embargo, su cadencia de fuego es escasa y la limitación de proximidad hacen que a este tipo de sistema de armas no se le encomienden las misiones de neutralización de UAS.

En cuanto al armamento pesado, tienen en muchos casos complejos sistemas de guiado de proyectiles y tienen el calibre necesario para dañar el UAS, con lo que son los sistemas de armas más utilizados para neutralizar UAS de clase I. Existen tres tipos de municiones que son las más empleadas:

- High explosive: Es una munición que posee un alto contenido explosivo. La munición de este tipo usada para la lucha C-UAS es la multipropósito, ya que aparte de lo expuesto anteriormente está fragmentada para causar un mayor daño.
- Kinetic energy ammunition: Este tipo de municiones consisten en una subcalibración de las mismas para dar un gran poder de penetración, es utilizada tanto para objetivos en tierra como aéreos.
- Air burst ammunition: Es una munición muy polivalente que permite neutralizar un espectro muy variado de objetivos tanto terrestres como aéreos. Para este propósito dispone de una configuración como espoleta de impacto con munición con alta carga explosiva y otra configuración como espoleta de proximidad con munición fragmentada (Imagen 5).



*Imagen 5: Munición air burst de 30mm.
Fuente: zona-militar.com*

3.2.3 Misiles

Otro de los medios empleados para neutralizar UAS son los misiles, que según la OTAN se pueden dividir en dos tipos de misiles:

- SHORAD (Short Range Air Defence): Consta de misiles de largo alcance que posee su propia guía para dirigir el misil. Son los usados actualmente (Imagen 6).
- VSHORAD (Very Short Range Air Defence): Consta de misiles de corto alcance que no tienen guía propia integrada dentro del misil, sino que son guiados desde la plataforma en la cual son lanzados (Imagen 7).



Imagen 6: Vehículo equipado con sistema de misiles SHORAD. Fuente: minoslas.blogspot.com



Imagen 7: Sistema de misiles VSHORAD. Fuente: desarrollodefensaytecnologiabelica.blogspot.com

Si hablamos de guerra convencional, vehículos, aviones e instalaciones, el sistema de armas desarrollado en este apartado tiene una eficacia demostrada más allá de toda duda ya sea como medio defensivo y ofensivo. El uso que se le da actualmente a los misiles se ha centrado en objetivos de alto nivel económico y tecnológico, convirtiéndose así en sistema de armas más imponente de la guerra moderna por su efectividad, su gran alcance y el elevado daño que produce al objetivo.

Es lógico pensar que para neutralizar un UAS, dependiendo de qué clase sea, se da una cuenta de que lo costoso que es la adquisición de un misil frente a lo barato que resulta adquirir un UAS de clase I. Frente a esta hipótesis, cabe destacar que no se pueden descartar los misiles

para derribar un UAS en caso de necesidad, aunque se recomiendan para ello sistemas de armas con un coste y un poder destructivo menor.

3.2.4 Armas láser

Otro medio de neutralización son las armas láser. Este sistema lleva desde los años 80 siendo probada y demostrando su eficacia derribando UAS. Este tipo de arma se puede clasificar en tres tipos:

- Láser de alta potencia: Este tipo de láser al ser apuntado contra un UAS destruye su fuselaje. Este tipo de tecnología está desarrollando un crecimiento exponencial, además de recibir una importante inyección económica para proyectos de investigación de la misma (Imagen 8).
- Láser de mediana potencia: Es utilizado principalmente como contramedidas ópticas, al apuntar al UAS con este tipo de láser deja inoperativo todo el sistema óptico.
- Láser de baja potencia: Tiene el mismo uso que el láser de mediana potencia con la única diferencia que, en vez de dejar inoperativo todo el sistema óptico, solo deja inoperativo el sensor óptico.



Imagen 8: Sistema láser de alta potencia instalado en un buque norteamericano. Fuente: desarrollodefensaytecnologiabelica.blogspot.com

Durante estos últimos años los desarrolladores de este tipo de tecnología han conseguido reducir las dimensiones de estos sistemas de armas considerablemente, lo que da pie a poder implementarlos en vehículos de pequeño tamaño. La armada norteamericana ha implementado este tipo de tecnología en sus buques. Este tipo de tecnología tiene un coste de adquisición bastante elevado, sin embargo, su coste de uso es insignificante.

3.2.5 Contramedidas electrónicas

Otro de los medios utilizados para neutralizar UAS es el uso de contramedidas electrónicas (ECM, del inglés Electronic Countermeasures) que consisten en impedir o dificultar el cumplimiento de la misión que tenga asignada el UAS. Cuando se usan este tipo de sistemas para neutralizar UAS, en la mayoría de los casos el operador o el propio UAS, si está operando en modo automático, no se dan cuenta que lo están neutralizando. Este tipo de contramedidas utilizan métodos para inhibir las comunicaciones entre el operador y el UAS, afectar a la navegación del mismo o la producción de una interferencia que disminuye la eficiencia del UAS.

Actualmente, en lo referente a esta tecnología, la mayor parte de la inversión que se está realizando está enfocada en el desarrollo de las ECM para defenderse de los ataques llevado a cabo por UAS, debido a que en los últimos años se ha visto la eficacia de estos en la lucha C-UAS. Actualmente existen tres tipos de ECM que pueden ser utilizados para neutralizar UAS:

- Radar ECM: Daña el UAS para evitar que éste transmita los datos al operador.

- Communications ECM: La función que tiene este tipo de ECM consiste en la interferencia en las comunicaciones entre el operador y el UAS para así disminuir su señal o llegar al punto que el operador pierde la señal y por lo tanto el control.
- GPS ECM: Como su propio nombre indica, se centra en que el UAS no pueda hacer uso del GPS mediante una perturbación de la señal o mediante *spoofing*. Mediante el uso del espectro electromagnético se puede conseguir que el UAS reciba datos erróneos y por lo tanto se posicionaría en sitios erróneos o que al personal que esté utilizando esta tecnología de ECM le interesase

Cada vez resulta más complicado utilizar estos métodos para neutralizar los UAS debido a que, en los que son de uso militar, se han mejorado considerablemente las contramedidas para evitar su neutralización. Sin embargo, aunque cada vez sea más difícil realizar dichos métodos, se ha comprobado su eficacia.

3.2.6 Armas HPM/HPEM

Finalmente, otro sistema de neutralización son los sistemas de armas microondas de alta potencia (HPM, del inglés High Power Microwave) y electromagnéticas de alta potencia (HPEM, del inglés High Power Electromagnetic). Estos tipos de sistemas de armas emiten pulsos muy cortos en un ancho de banda que va desde los 100Mhz hasta el Ghz. Cuando dichos sistemas de armas alcanzan al objetivo y a causa del campo eléctrico generado comienza a dañar los componentes electrónicos del UAS llegando incluso a destruir los componentes electrónicos que se encuentren desprotegidos.

Diversas pruebas realizadas por otros ejércitos de nuestro entorno han demostrado que los UAS de clase I son muy sensibles a estas armas HPM/HPEM, que se ilustran en la imagen 9. Los componentes electrónicos de dichos UAS quedan afectados a varios kilómetros de distancia con este sistema de armas.



Imagen 9: Unidad móvil HPM. Fuente: dailymail.co.uk

4 Tácticas, técnicas y procedimientos enemigos

Una de las tecnologías militares que más inyección de capital tiene para su desarrollo es la tecnología UAS y que cualquier ejército que posea una capacidad tecnológica mínima está invirtiendo en ello. Durante los últimos años, el uso de los UAS era exclusivo de los ejércitos occidentales, pero con la globalización y el abaratamiento de los costes, hay que considerar bastante probable que nuestras FAS se vayan a enfrentar a acciones UAS por parte del enemigo en el teatro de operaciones.

En los contingentes desplegados fuera de las fronteras de nuestro país, el empleo de UAS por parte de todo tipo de actores se normalizará en los próximos años. Estos UAS serán empleados no solo por las fuerzas convencionales, sino también por actores no estatales. Donde se ha comenzado a ver este empleo exponencial de UAS ha sido en el conflicto sirio, además, siendo utilizados por todos los contendientes de la disputa[7].

En cuanto a los tipos de UAS utilizados, los actores estatales emplean un amplio abanico de UAS, desde los UAS de clase I, hasta los UAS de clase III. Mientras que, los actores no estatales, emplean la gran mayoría de las veces UAS de clase I debido a la facilidad de convertir los modelos comerciales en sistemas de armas mediante sencillos acoples para cargas útiles empleadas en el ámbito militar (véase imagen 10). Cabe añadir que otra de las razones por las que actores no estatales emplean esta clase de UAS es la nula necesidad de mantenimiento e instalaciones específicas para su despegue y aterrizaje.[4]



Imagen 10: Dron comercial modificado utilizado por el Estado Islámico. Fuente:[8]

En el teatro de operaciones actual, nuestras FAS se suelen enfrentar contra agentes no estatales a los que solemos llamar insurgencia. Dicha insurgencia utiliza los UAS de clase I frecuentemente en ambiente urbano, donde son más difíciles de detectar, debido al estrés del combatiente y el ruido de fondo que hay en el combate en ambiente urbano.

La presencia de los UAS enemigos no implica un ataque inmediato por parte de la insurgencia. En la mayor parte de los casos estarán realizando misiones ISR. Aunque nunca se puede descartar un ataque más tardío por su parte ya sea con medios convencionales o no convencionales.[9]

Otro ambiente en el cual la insurgencia emplea con cierta frecuencia los UAS de clase I, pero esta vez los de menor categoría, es en un escenario con densa vegetación debido a la dificultad de detección visual por parte de nuestras FAS.

En cuanto a los ataques a bases y acuartelamientos, la insurgencia realizará misiones de ISR previas al ataque, ya sea de forma visual o con los propios UAS. Su planeamiento para realizar el ataque consistirá en dejar inoperativos los sistemas generales de defensa aérea de corto alcance que sean capaces de neutralizar los UAS, para tener más facilidad de maniobra dentro de la base debido a que han mermado las capacidades C-UAS de la base. Para más adelante, realizar ataque con los mismos UAS sobre sus puntos críticos, como son los puestos de mando o los polvorines.

Otra circunstancia en la que las fuerzas propias se enfrentan a los UAS de la insurgencia puede surgir en cualquier tipo de ambiente, en el cual los UAS son la alternativa para usar sus artefactos explosivos improvisados (IED, del inglés Improvised Explosive Device). Esta alternativa tiene la ventaja de que no necesita una instalación que podría ser detectada por las fuerzas propias, con lo que al atacar con IED's en movimiento mediante el uso de UAS mejora considerablemente la capacidad de éxito por parte de la insurgencia. Este procedimiento se puede combinar con los procedimientos de emboscada tradicionales.[1]

5 Desarrollo de procedimientos y técnicas para la lucha C-UAS

La necesidad de enfrentar tal tipo de amenazas y escenarios aconseja hacer un planteamiento global, con capacidad de defenderse de los sistemas según vayan evolucionando, de modo que con un concepto de modularidad podrán añadirse o quitarse sensores/efectores o equipos para enfrentarse a amenazas cambiantes.

En ese sentido, un sistema global podría incluir uno o varios radares, sensores infrarrojos de búsqueda y seguimiento (IRST, del inglés Infrared Search and Track) y cámaras EO, sistema de Mando y Control integrado con la defensa antiaérea cercana, decisión automática o semiautomática y capacidad de integrar perturbadores de todo tipo (inhibición de las señales del sistema global de navegación por satélite (GNSS, del inglés Global Navigation Satellite System) además de los canales de comunicación) y cañones con municiones especiales o de energía dirigida. Podría añadirse además algún sensor o dispositivo de neutralización acomodado a la situación de defensa cercana o lejana.

En la Imagen 11 se describe en forma de diagrama de bloques muy simplificado la arquitectura de este posible sistema genérico, de carácter modular, incluyendo la mayoría de sensores y efectores disponibles actualmente.

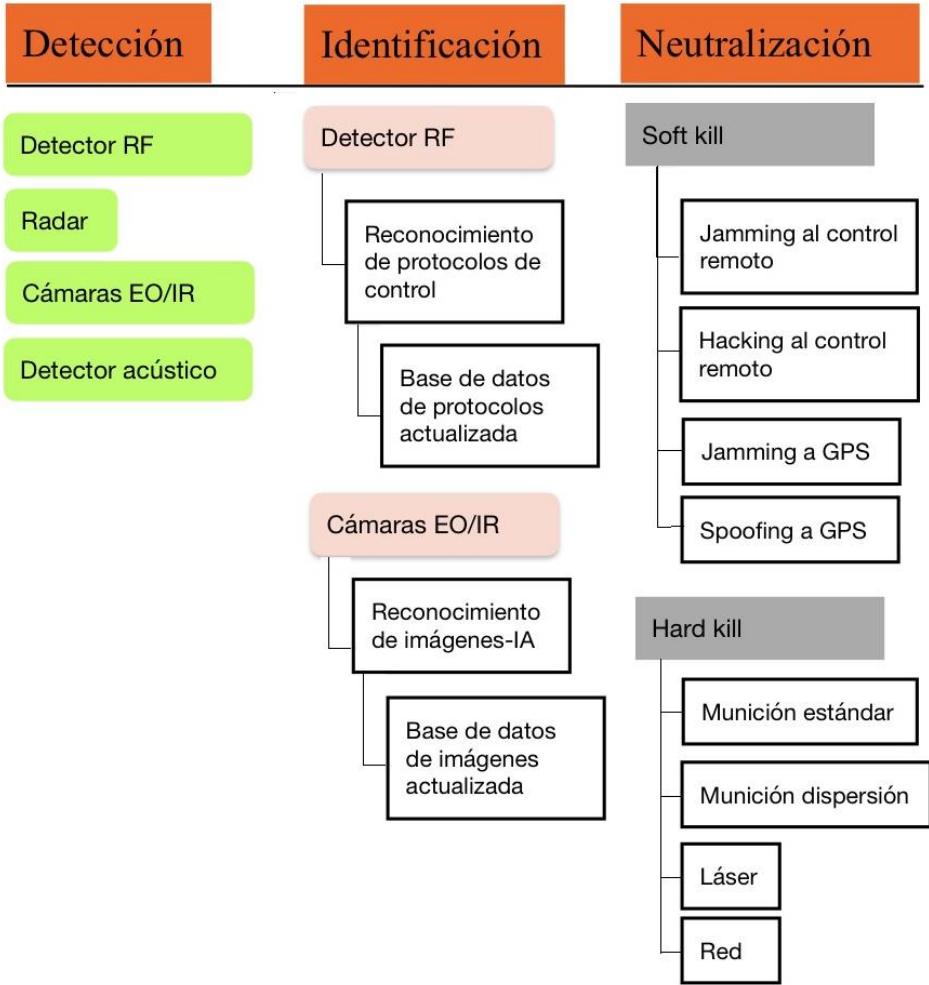


Imagen 11: Solución C-UAS genérica. Fuente: Elaboración propia

En este apartado, aparte de desarrollar las tres fases del procedimiento, en el último punto se van a proponer tres soluciones C-UAS para tres escenarios diferentes, que son los más probables.

5.1 Fase de detección

En esta primera fase, el objetivo del sistema de defensa C-UAS debe ser la detección temprana de la amenaza. Para ello se ha de disponer de los sensores más adecuados para realizar dicha tarea. Estos sistemas se han de elegir en base a la caracterización del tipo de UAS que posee la insurgencia.

Dicha caracterización se ha de basar en los parámetros que les definen y diferencian de otros blancos: velocidad, altura de vuelo, navegación GNSS, autónoma o no autónoma, sección transversal radar, firma espectral, emisiones de radiofrecuencia y electromagnéticas, tipo de trayectoria, ala fija o rotatoria y tipo de motor.

5.2 Fase de Identificación

En esta segunda fase, una vez detectado el UAS, se procederá a identificarlo para comprobar si es amigo o enemigo. Para ello contamos con cámaras EO/IR de alta definición. Estas cámaras pueden funcionar de manera automática mediante inteligencia artificial (IA) o controladas por un operador. En el caso de que la maneje un operador, debe ser un operador con los conocimientos suficientes sobre UAS para saber discernir entre un UAS amigo o enemigo. En el caso de que fuesen manejadas mediante IA sería necesario una gran base de datos que contuviese imágenes actualizadas de los UAS usados más frecuentemente.

Otra forma de identificar UAS sería mediante los detectores de radiofrecuencia (RF), este procedimiento se realizaría mediante el reconocimiento de protocolos de control. Para ello, también sería necesario el uso de una base de datos de protocolos actualizada que junto a un operador adiestrado o IA serían capaces de identificar si el UAS detectado es amigo o enemigo.

A estas técnicas anteriores se le han de añadir otras formas de identificar en caso de que los medios C-UAS fallen. Este plan de contingencia estaría basado en tres factores: Un factor sería la identificación por capas de altitud, dando las instrucciones previas a los UAS aliados para acercarse a una altura concreta. Otro factor sería la aproximación por sectores, mismo procedimiento que por alturas, el UAS debe aproximarse siguiendo una dirección en concreto. Por último, el factor restante serían las restricciones de horario.

5.3 Fase de neutralización

Una vez identificado el UAS, en el caso de que fuese enemigo, básicamente tendríamos dos alternativas para neutralizar la amenaza. Una acción convencional o cinética, denominada hard kill, en la cual se emplea munición (de impacto, de proximidad, de dispersión, etc.) u otros medios físicos como el lanzamiento de redes, láser, energía dirigida o el uso de otros drones suicidas de pequeño tamaño.

Por otra parte, el empleo de contramedidas electrónicas (soft kill) como el “secuestro” (hacking) que implica suplantar los comandos de control para hacernos con el mando del sistema, la perturbación (Jamming), ya sea al enlace de control, a la señal GNSS de navegación

o al enlace de la cámara, o la suplantación de la señal GNSS (spoofing), que de alguna manera nos otorga también el control de la trayectoria del sistema hostil, al enviarle señales de posicionamiento erróneas.

La eficacia de estas medidas electrónicas irá disminuyendo en función de la complejidad del UAS. Para los sistemas comerciales o modificados ligeramente se puede esperar que sean efectivas, pero en cuanto se evoluciona a sistemas más robustos y/o militares, las medidas van perdiendo eficacia. Los sistemas UAS militares recientes ya incorporan robustez frente al jamming o algoritmos de identificación y rechazo al spoofing.

Además, es de esperar que en un futuro cercano los avances en sistemas de navegación autónomos, basados en referencias giroscópicas o visuales, y la implantación de las redes 5G para el control de drones, hagan cada vez más complicada la neutralización por medios electrónicos.

5.4 Posible solución

En este apartado se plantearán tres escenarios y se le propondrá una solución a cada escenario (Imagen 12). Los tres casos y sus soluciones serán:

1. UAS comercial poco/nada modificado: Para este primer escenario que planteamos la solución más adecuada sin malgastar medios sería la siguiente. En la fase de detección utilizaríamos un detector RF, ya que al no estar modificado sería fácil de detectar. En la fase de identificación, usaríamos el mismo detector RF para reconocer sus protocolos de control. Por último, en la fase de neutralización se optaría por soft kill, ya que al no estar modificado no tendría una gran robustez frente a las C-UAS de tipo electrónico.
2. UAS comercial modificado: Para este segundo escenario, utilizaremos las mismas premisas que para el primero. En la fase de detección, se utilizaría conjuntamente el detector RF y las cámaras EO/IR, ya que al estar modificado la detección mediante RF podría no ser fructífera. En la fase de identificación, por el mismo motivo, aparte del detector RF, se añadirían las cámaras EO/IR. Por último, en la fase de neutralización, primeramente se intentaría neutralizar mediante soft kill teniendo los medios para realizar hard kill en prevengan, si los medios de soft kill no son eficaces debido a las modificaciones realizadas en el UAS, se derribaría mediante hard kill.

3. UAS militar: Para este último escenario planteado y siguiendo las premisas de los anteriores. En la fase de detección, aparte de los medios usados en los anteriores escenarios, añadiremos un radar, debido a que las emisiones RF emitidas por el UAS militar estaría diseñada para no ser reconocida. En la fase de identificación, se dará más peso a las cámaras EO/IR debido a lo comentado anteriormente, pero sin dejar de usar los detectores RF. Para finalizar, en la fase de neutralización, al intentar recuperar el UAS lo más intacto posible para obtener inteligencia, se intentarían neutralizar mediante soft kill, si estos medios no son eficaces, se procedería a utilizar los medios hard kill.




		Detección	Identificación	Neutralización
Escenario 1: UAS comercial poco/nada modificado		Detector RF	Detector RF	Soft kill
Escenario 2: UAS comercial modificado		Detector RF Cámaras EO/IR Radar	Detector RF Cámaras EO/IR	Soft kill Hard kill
Escenario 3: UAS militar		Radar Detector RF Cámaras EO/IR	Detector RF Cámaras EO/IR	Soft kill Hard kill

Imagen 12: Solución C-UAS a los escenarios propuestos. Fuente: Elaboración propia

6 Conclusiones y líneas futuras

En conclusión, no hay unas TTP's que funcionen para todo tipo de situaciones y/o ambientes, tiene que primar el sentido común y el correcto adiestramiento del personal en el uso de los medios de los que disponen en cada situación.

Un Sistema C-UAS debe de plantearse en su máximo de posibilidades como un subsistema más de la defensa antiaérea pero, a la vez, con capacidad de funcionar autónomamente si se considera necesario. Para ello debería estar compuesto por un sistema de mando y control capaz de integrar información y disponer de sensores de detección, funcionamiento automático, semiautomático o manual, que incluya perturbadores de radiofrecuencia y cañones antiaéreos o, en el futuro, de energía dirigida.

Debería estar diseñado de tal manera que las capacidades puedan ampliarse o reducirse mediante la inclusión de nuevos sensores o dispositivos de neutralización, según requisitos de la misión. Siendo, en definitiva, un sistema escalable, modular, interoperable y fácilmente desplegable.

El mando y control debería centralizarse por áreas de mayor nivel que la cobertura del Sistema, para integrarse de forma más completa en la Defensa Aérea y en las redes de mando control de la batalla. Esta conclusión está alineada con el Concepto Nacional C-UAS, en su punto 6, "Interoperabilidad"[2]

Pero, por otra parte, las distancias de detección de estos sistemas son comparativamente pequeñas, lo que no permite mucho tiempo a la hora de esperar decisiones de alto nivel. Esto implica que las unidades C-UAS deben tener también una gran capacidad de actuación autónoma, agilidad, rapidez, entrenamiento y tener bien definidas unas tácticas, conceptos operativos y reglas de enfrentamiento que les permita no dudar en tomar las decisiones que correspondan en los cortos márgenes de tiempo que se disponen una vez detectada la amenaza.

Resulta imprescindible realizar un seguimiento continuo de la evolución de los UAS para poder luchar contra ellos de manera eficaz. Ya que, sus características van a mejorarse rápidamente en los próximos años. Es por ello que se ha de realizar una continua experimentación con las nuevas tecnologías que vayan viendo la luz en los próximos años.

7 Bibliografía

- [1] Cesáreo Gutiérrez Espada, El desarrollo de un concepto conjunto de defensa contra sistemas aéreos no tripulados (C-UAS) a la luz del derecho internacional de la responsabilidad. Una aproximación preliminar. Instituto Español de Estudios Estratégicos (IEEE). 2018.
- [2] Concepto Nacional C-UAS LSS (2019)
Disponible en:
https://www.defensa.gob.es/ceseden/Galerias/ccdc/documentos/01_CONCEPTO_NACIONAL_C-UAS_LSS_xPARA_WEBx.pdf
Consultado: 20/09/2020
- [3] Counter Drone Systems (2018)
Disponible en: <https://dronecenter.bard.edu/projects/counter-drone-systems-project/>
Consultado: 5/10/2020
- [4] Drones operating in Syria and Iraq. Center for study of Drones at bard College(2016)
Disponible en: <https://dronecenter.bard.edu/drones-operating-in-syria-and-iraq/>
Consultado: 9/10/2020
- [5] El origen y la historia de los drones (2016)
Disponible en: <https://hemav.com/el-origen-y-la-historia-de-los-drones/>
Consultado: 10/09/2020
- [6] Historia de los drones (2016)
Disponible en: <http://eldrone.es/historia-de-los-drones/>
Consultado: 8/09/2020
- [7] José Luis Cabello Rodríguez, Vehículos aéreos sin piloto. Una aproximación táctica, Instituto Español de Estudios Estratégicos (IEEE). 2018.
- [8] The Islamic State and Drones (2018),
Disponible en: <https://ctc.usma.edu/wp-content/uploads/2018/07/Islamic-State-and-Drones-Release-Version.pdf>
Consultado: 25/09/2020
- [9] Otso Iho, Jane's Terrorism & Insurgency Monitor. 2018

ANEXO A - Lista de medios C-UAS en la actualidad

Manufacturer	Product Name	Country of Origin	Detection	Interdiction	Platform
Aeronia AG	RF Drone	Germany	RF		Ground-based
Accipter	NMI-8A Drone Radar System	Canada	Radar		Ground-based
Accipter	NMI-KHSxV Security Radar System	Canada	Radar, EO, IR		Ground-based
Advanced Protection Systems	ctri+sky	Poland	Radar, Acoustic, EO, IR, RF		Ground-based
Advanced Radar Technologies	Drone Sentinel	Spain	Radar, EO, IR		Ground-based
Airbus DS Electronics/Hensoldt	Xpeller	Germany	Radar, E/O, Other	RF Jamming, GNSS Jamming	Ground-based
Airbus Group SE	Counter UAV System	France	Radar, IR	RF Jamming, GNSS Jamming	Ground-based
Airspace Systems	Airspace	USA		Net	UAV
Alion Science and Technology		USA		Spoofing	Ground-based
Allen-Vanguard	ANCILE	Canada		RF Jamming	Ground-based
ALX Systems	Sentinel	Belgium	EO, IR		UAV
ALX Systems	Spartan	Belgium	Radar		UAV/Ground-Based
AMTEC Less Lethal Systems	Skynet	USA		Net Shotgun Shells	Handheld
ApolloShield	CyberBox	Israel	RF		Ground-based
ArtSYS360	RS500	Israel	RF	RF Jamming, GNSS Jamming	Ground-based
Ascent Vision	CM202U	USA	EO, IR		Ground-based
Aselsan Corporation	IHASAVAR	Turkey		RF Jamming, GNSS Jamming	Handheld
Aselsan Corporation	IHTAR	Turkey	Radar, RF	RF Jamming, GNSS Jamming	Ground-based
Aveillant	Gamekeeper 16U	United Kingdom	Radar		Ground-based
Babcock	LDEW-CD	USA	Radar, EO, IR	Laser, Gatling Gun	Ground-based
BATS	Drone Guard	Belgium	Radar, EO, IR	RF Jamming, GNSS Jamming	Ground-based
Battelle	Drone Defender (handheld)	USA		RF Jamming, GNSS Jamming	Handheld
Battelle	Drone Defender (land-based unit)	USA		RF Jamming, GNSS Jamming	Ground-based
Black Sage/IEC Infrared	UAVX	USA	Radar, EO, IR	RF Jamming	Ground-based
Blighter/Chess Dynamics/Enterprise Control Systems	AUDS Anti-UAV Defence System	United Kingdom	Radar, EO, IR	RF Jamming	Ground-based
Blind Tiger	Wireless Intrusion Detection and Defeat System	USA	RF	Managed Access	Ground-based
Boeing	Laser Avenger	USA	Radar	Laser	Ground-based
Boeing/General Dynamics	MEHEL 2.0	USA		Laser	Ground-based
Broadfield Security Services	Drone Blocker	Netherlands		RF Jamming	Ground-based

Manufacturer	Product Name	Country of Origin	Detection	Interdiction	Platform
Broadfield Security Services	UAS Detection and Verification System	Netherlands	Radar, EO, IR, Acoustic		Ground-based
BYLBOS/Roboost	SPID	France	EO, IR, RF	RF Jamming, GNSS Jamming	Ground-based
CACI	SkyTracker	USA	RF	RF Jamming	Ground-based
CellAntenna	D3T	USA	RF	RF Jamming, GNSS Jamming	Ground-based
CerbAir	CerbAir Fixed	France	RF, EO,IR	RF Jamming, Net	Ground-based
CerbAir	CerbAir Mobile	France	RF, EO,IR	RF Jamming, Net	Ground-based
Chenega Europe	dronecollider	Ireland		Sacrificial collision drone	UAV
Chenega Europe	dronearmer	Ireland		Net	Handheld
Chenega Europe	droneoaker	Ireland		Water projector	Handheld
Chenega Europe	dronetaker	Ireland		Spoofing	UAV
Chenega Europe	dronetracker	Ireland	Acoustic, Motion Detection		Ground-based
Chenega Europe	dronevigil Array	Ireland	Radar		Ground-based
Chenega Europe	dronevigil Defender	Ireland		RF Jamming	Handheld
Chenega Europe	dronevigil Field Mobile	Ireland	Radar		Ground-based
Chenega Europe	dronevigil Holographic	Ireland	Radar		Ground-based
Cintel	N/A	USA		Spoofing	UAV
CITADEL	DFU3000	USA	RF	Spoofing	Handheld, Ground-based
Cobham Antenna Systems	Directional Flat Panel Antenna	USA	RF	RF Jamming, GNSS Jamming	Ground-based
Cobham Antenna Systems	Directional Helix Antenna	USA	RF	RF Jamming, GNSS Jamming	Ground-based
Cobham Antenna Systems	High Power Ultra-Wideband Directional Antenna	USA	RF	RF Jamming, GNSS Jamming	Ground-based
Cobham Antenna Systems	Wideband Omni-Directional	USA	RF	RF Jamming, GNSS Jamming	Ground-based
Controp	SPEED-BIRD	Israel	EO, IR		Ground-based
Controp	Tornado	Israel	EO, IR		Ground-based
Convexum		Israel	RF		Ground-based
CRFS	RFeye	United Kingdom	RF		Ground-based
CTS	Drone Jammer	China		RF Jamming, GNSS Jamming	Handheld
D-Fend Solutions	N/A	Israel	RF	RF Jamming, Spoofing	Ground-based
DeDrone, Inc.	DroneTracker	USA	EO, IR, Acoustic, Wifi		Ground-based
Delft Dynamics	DroneCatcher	Netherlands		Net	UAV
Department 13 International	MESMER	USA	RF	Spoofing	Ground-based
DeTect, Inc	DroneWatcherAPP	USA/UK	Mobile App		Handheld
DeTect, Inc	DroneWatcherRF	USA/UK	RF		Ground-based
DeTect, Inc	HARRIER Drone Surveillance Radar	USA/UK	Radar		Ground-based

Manufacturer	Product Name	Country of Origin	Detection	Interdiction	Platform
Deutsche Telekom	Magenta	Germany	RF, Radar, EO, IR	RF Jamming, GNSS Jamming	Ground-based
Diehl Defence	HPeMcounterUAS	Germany		Electromagnetic pulse	Ground-based
Digitech Info Technology	JAM-1000	China		RF Jamming, GNSS Jamming	Ground-based
Digitech Info Technology	JAM-2000	China		RF Jamming, GNSS Jamming	Handheld
Digitech Info Technology	JAM-3000	China		RF Jamming, GNSS Jamming	Ground-based
DJI	AeroScope	China	Electronic Identification		Ground-based
Drone Defence	Dynopsis E1000MP	United Kingdom		RF Jamming, GNSS Jamming	Ground-based
Drone Defence	NetGun X1	United Kingdom		Net	Handheld
Drone Defence	SkyFence	United Kingdom		RF Jamming	Ground-based
Drone Go Home		USA	RF		Ground-based
Drone Hunter		Germany	Radar		Ground-based
Drone Labs	Drone Detector	USA	RF		Ground-based
Drone Security Defence			Unspecified	Unspecified	Ground-based
Dronefence		Germany	RF, Acoustic, EO, IR	Spoofing	Ground-based
DroneShield	DroneBeam	Australia	Spotlight		Ground-based
DroneShield	DroneHeat	Australia	IR		Ground-based
DroneShield	DroneOpt	Australia	EO		Ground-based
DroneShield	DroneSentinel	Australia	Radar, RF, Acoustic, EO, IR		Ground-based
DroneShield	DroneSentry	Australia	Radar, RF, Acoustic, EO, IR	RF Jamming, GNSS Jamming	Ground-based
DroneShield	FarAlert Sensor	Australia	RF		Ground-based
DroneShield	RadarOne	Australia	Radar		Ground-based
DroneShield	RfOne	Australia	RF		Ground-based
DroneShield	WideAlert Sensor	Australia	Acoustic		Ground-based
DroneShield	DroneGun MKII	Australia		RF Jamming, GNSS Jamming	Handheld
DroneShield	DroneGun Tactical	Australia		RF Jamming, GNSS Jamming	Handheld
DroneShield	RadarZero	Australia	Radar		Ground-based
DRS/Moog	Mobile Low, Slow Unmanned Aerial Vehicle Integrated Defense Systems	USA	Radar	Machine Gun	Ground-based
DRS/Moog	SABRE	USA	Radar	Machine Gun	Ground-based
Dynetics	GroundAware	USA	Radar		Ground-based
ECA Group	EC-180	France	Transponder		UAV
Elbit	ReDrone	Israel	RF	RF Jamming, GNSS Jamming	Ground-based
Elbit	SupervisIR	Israel	IR		Ground-based
ELT-Roma	ADRIAN	Italy	RF, EO, IR	RF Jamming, GNSS Jamming	Ground-based
ELTA (Israel Aerospace Industries)	Drone Guard	Israel	Radar, EO	GNSS Jamming	Ground-based

Manufacturer	Product Name	Country of Origin	Detection	Interdiction	Platform
esc Aerospace	CUAS	Germany	RF, Radar, Acoustic, EO	RF Jamming, GNSS Jamming, Electromagnetic Pulse	Ground-based
Exponent	Drone Hunter		EO, IR		UAV
Fortem Technologies	Drone Hunter	USA		Net	UAV
Foven Aero	CCOD	USA		Net	UAV
Fuyuda	Portable Counter Drone Defence System	China		RF Jamming, GNSS Jamming	Ground-based
General Atomics	Fencepost	USA	Acoustic		Ground-based
GEW Technologies	SkyScan 2	South Africa	RF		Ground-based
Groupe ADP/DSNA Services	Hologarde	France	Radar, RF, EO, IR		Ground-based
Groupe Assman	MTX-8	France		Net	UAV
Gryphon Sensors	Skylight	USA	Radar, RF, EO, IR		Ground-based
Gryphon Sensors	Skylight Mobile	USA	Radar, RF, EO, IR		Ground-based
Harp Arge	Drone Savar	Turkey		RF Jamming	Handheld
HGH Infrared Systems	Spymel M	France	IR		Ground-based
HIGH + MiGHTY	SKYNET	Taiwan		RF Jamming, GNSS Jamming	Handheld
Hikvision	Defender Series UAV-D04JA	China		RF Jamming, GNSS Jamming	Handheld
HP Marketing and Consulting	HP 3962 H	Germany		RF Jamming, GNSS Jamming	Ground-based
HP Marketing and Consulting	HP 47	Germany		RF Jamming, GNSS Jamming	Ground-based
IACIT	DRONEBlocker 0100	Brazil	EO, IR, RF, Acoustic, Radar	RF Jamming	Ground-based
IACIT	DRONEBlocker 0200	Brazil	EO, IR, RF, Acoustic, Radar	RF Jamming	Ground-based
IMI Systems	Red Sky 2 Drone Defender System	Israel	Radar	RF Jamming	Ground-based
IXI Technology	Drone Killer	USA		RF Jamming, GNSS Jamming	Handheld
JCPX Development/DSNA Services/Avéillant	UWAS	Monaco	Radar, EO, IR	"Counter measures"	Ground-based
Jrun An Technology	Raysun MD1	Taiwan		RF Jamming, GNSS Jamming	Handheld
Kalashnikov/ZALA Aero Group	REX 1	Russia		RF Jamming, GNSS Jamming	Handheld
KB Radar Design Bureau	Groza-R	Belarus		RF Jamming, GNSS Jamming	Handheld
KB Radar Design Bureau	Groza-S	Belarus	RF	RF Jamming, GNSS Jamming	Ground-based
KB Radar Design Bureau	Groza-Z	Belarus	RF	RF Jamming, GNSS Jamming	Ground-based
Kelvin Hughes	SharpEye	United Kingdom	Radar		Ground-based
Kirintec	Recurve	United Kingdom		RF Jamming, GNSS Jamming	Ground-based

Manufacturer	Product Name	Country of Origin	Detection	Interdiction	Platform
Kirintec	Sky Net Longbow	United Kingdom		RF Jamming, GNSS Jamming	Ground-based
L3 Technologies	Drone Guardian	USA	Radar, EO, IR, RF	RF Jamming, GNSS Jamming	Ground-based
Liteye	ADIS	USA	Radar, EO, IR		Ground-based
Liteye/Orbital ATK	T-REX	USA	Radar, EO, IR	RF Jamming, Kinetic	Ground-based
Lockheed Martin	ADAM	USA	EO, IR	Laser	Ground-based
Lockheed Martin	ATHENA	USA	EO, IR	Laser	Ground-based
Lockheed Martin	ICARUS	USA	RF, EO, Acoustic	RF Jamming, Spoofing	Ground-based
LocMas	STUPOR	Russia		RF Jamming, GNSS Jamming	Handheld
Marduk Technologies	Shark	Estonia	EO	Laser	Ground-based
MBDA Deutschland	High Energy Laser Weapon System	Germany		Laser	Ground-based
MC-CLIC	Anti-UAV Rifle	Monaco		RF Jamming	Handheld
Meritis	ADS-2000	Switzerland	Acoustic		Ground-based
Meritis	P6	Switzerland		RF Jamming, GNSS Jamming	Handheld
Meritis	RTX-2000M6	Switzerland		RF Jamming, GNSS Jamming	Ground-based
Meritis	RTX-3000X	Switzerland		RF Jamming, GNSS Jamming	Ground-based
Meritis	RTX-300P2	Switzerland		RF Jamming, GNSS Jamming	Handheld
Meritis	SC-1000T	Switzerland	EO, IR		Ground-based
Meritis	SC-1500T	Switzerland	EO, IR		Ground-based
Meritis	SkyCleaner	Switzerland		RF Jamming, GNSS Jamming	Handheld
Meritis	SR-9000S	Switzerland	Radar		Ground-based
Microflown AVISA	SKYSENTRY	Netherlands	Acoustic		Ground-based
Miltronix	Drone Detection Radar	United Kingdom	Radar		Ground-based
Mitsubishi Electric Corporation	Drone Deterrence System	Japan	RF	RF Jamming	Ground-based
MyDefence Communication ApS	EAGLE	Denmark	Radar		Ground-based
MyDefence Communication ApS	KNOX system	Denmark	Multi-sensor Server Solution		Ground-based
MyDefence Communication ApS	WATCHDOG	Denmark	RF		Ground-based
MyDefence Communication ApS	WOLFPACK	Denmark	RF		Ground-based
MySky Technologies		Australia	Unspecified		Ground-based
Nammo		Norway		Programmable ammunition	
NEC		Japan	EO, IR		Ground-based
Netline Communications	C-GUARD DRONENET	Israel		RF Jamming	Ground-based

Manufacturer	Product Name	Country of Origin	Detection	Interdiction	Platform
Netline Communications	WOODPECKER LIGHT	Israel	RF		Ground-based
NNIIRT	IL121-E	Russia	Radar		Ground-based
Northrop Grumman	Drone Restricted Access Using Known EW	USA		RF Jamming	Ground-based
Northrop Grumman	Mobile Application for UAS Identification	USA	Acoustic		Ground-based
Northrop Grumman	Venom	USA	Laser Designator		Ground-based
OIS-AT	3D Air Surveillance UAV Detection Radar	India	Radar		Ground-based
Open Works Engineering	Skywall 100	United Kingdom		Net	Handheld
Open Works Engineering	Skywall 200	United Kingdom		Net	Handheld
Open Works Engineering	Skywall 300	United Kingdom		Net	Ground-based
Optix	Anti-Drone	Bulgaria		RF Jamming, GNSS Jamming	Ground-based
Orad	DROM	Israel	RF	RF Jamming	Ground-based
Orelia	Drone Detector	France	Acoustic	Jamming	Ground-based
Panasonic	Drone Finder	Japan	Acoustic, EO		Ground-based
Phantom Technologies	Eagle108 Tactical Drone Jammer	Israel	RF?	RF Jamming, GNSS Jamming	Ground-based
Poly Technologies	Silent Hunter	China	EO, IR	Laser	Ground-based
Prime Consulting & Technologies	GROK Jammer	Denmark		RF Jamming, GNSS Jamming	Ground-based
Prime Consulting & Technologies	GROK Mobile Gun	Denmark		RF Jamming, GNSS Jamming	Handheld
Prime Consulting & Technologies	Mini-range counter-UAV system	Denmark	EO, IR		Ground-based
Prime Consulting & Technologies	Small-range counter-UAV system	Denmark	Radar, EO, IR		Ground-based
QinetiQ	OBSIDIAN	United Kingdom	Radar		Ground-based
Quantum Aviation	DroneProtect	United Kingdom	RF, EO, IR, Radar		Ground-based
RADA Electronic Industries	Multi-Mission Hemispheric Radars	Israel	Radar		Ground-based
RADA Electronic Industries	RPS-42	Israel	Radar		Ground-based
Radio Hill Technologies	Dronebuster	USA		RF Jamming, GNSS Jamming	Handheld
Radio Hill Technologies	Dronebuster LE	USA		RF Jamming, GNSS Jamming	Handheld
Rafael Advanced Defense Systems	Drone Dome	Israel	Radar, EO, IR	RF Jamming, GNSS Jamming, Laser	Ground-based
Rajant Corp	MANET	USA		Swarming	UAV
Raytheon	MRZR	USA	EO, IR	Laser	Ground-based
Repulse	Repulse 24	USA		RF Jamming	Ground-based
Repulse	Repulse 2458E	USA		RF Jamming	Ground-based
Repulse	Repulse 2458H Handheld	USA		RF Jamming	Handheld

Manufacturer	Product Name	Country of Origin	Detection	Interdiction	Platform
Repulse	Repulse 360	USA		RF Jamming	Ground-based
Rheinmetall AG	HEL Effector Wheel XX	Germany	Radar	Laser	Ground-based
Rimicom	Sky Patriot	United Kingdom	EO,IR		Ground-based
Robin Radar Systems	Elvira	Netherlands	Radar		Ground-based
Robodub	N/A	USA		Kinetic	UAV
Rohde & Schwarz	ARDRONIS	Germany	RF	RF Jamming, GNSS Jamming	Ground-based
Rohde & Schwarz/ESG/Diehl	Guardion	Germany	Radar, RF, EO, IR	RF Jamming, GNSS Jamming	Ground-based
Rostec	Shipovnik-Aero	Russia	RF, Unknown	RF Jamming, GNSS Jamming	Ground-based
Saab Group	Giraffe 1x	Sweden	Radar		Ground-based
SC Scientific and Technical Center of Electronic Warfare	Repellent-1	Russia	RF	RF Jamming	Ground-based
SCG/Van Cleve & Associates	DroneRANGER	Switzerland	Radar	RF Jamming	Ground-based
SCI Technology	AeroGuard	USA		Net	UAV
Search Systems	Sparrowhawk	United Kingdom		Net	UAV
Selex	Falcon Shield	United Kingdom	EO, IR, Radar	RF Management	Ground-based
Sensofasion	Airfence	Finland	RF		Ground-based
SESP	Drone Defeater	United Kingdom	EO, IR, RF	RF Jamming	Ground-based
Sierra Nevada Corporation	SkyCAP	USA		RF Jamming	Handheld, Ground-based
SkySafe	Skysafe	USA	RF	Spoofing	Handheld
Skysec	Sentinel Catch	Switzerland		Net	UAV
Skysec	Sentinel Catch& Carry	Switzerland		Net	UAV
Sohgo Security Services		Japan	Acoustic		Ground-based
SpotterRF	A-Series Counter-Drone Radar	USA	Radar		Ground-based
Squarehead	Discovair	Norway	Acoustic		Ground-based
SRC	Silent Archer	USA	Radar, EO, IR	RF Jamming, GNSS Jamming, Kinetic	Ground-based
ST Kinetics	C-UAS Grenade	Singapore		Projectile	
SteelRock Technologies	Fixed Perimeter System	United Kingdom	RF	RF Jamming, GNSS Jamming	Ground-based
SteelRock Technologies	NightFighter	United Kingdom		RF Jamming, GNSS Jamming	Handheld
TCI	Blackbird	USA	RF		Ground-based
Telaforce		USA	RF		Ground-based
TeleRadio Engineering	SkyDroner 1000	Singapore	EO, Other		Ground-based
TeleRadio Engineering	SkyDroner 500	Singapore	EO, Other		Ground-based
Terra Hexen	Droneblocker System-Omnidirectional	Poland		RF Jamming, GNSS Jamming	Ground-based

Manufacturer	Product Name	Country of Origin	Detection	Interdiction	Platform
Terra Heven	SAFESKY	Poland	Radar, EO, Acoustic	RF Jamming, GNSS Jamming	Ground-based
Terra Heven	Unidirectional Neutralizer	Poland		RF Jamming, GNSS Jamming	Handheld
Thales	Gecko	France	IR		Ground-based
Thales	Margot 8000	France	EO, IR		Ground-based
Thales	Squire	France	Radar		Ground-based
Thales-Raytheon Systems	"AN/MPQ-64F1 Improved Sentinel"	France	Radar		Ground-based
Theiss UAV Solutions	Escipio Aerial Netting System	USA		Net	UAV
TRD Consultancy	Orion-7 MP Drone Slayer	Singapore		RF Jamming, GNSS Jamming	Handheld
TRD Consultancy	Orion-D	Singapore	RF		Ground-based
TRD Consultancy	Orion-H Drone Slayer	Singapore		RF Jamming, GNSS Jamming	Handheld
TrustComs	DroneBlocker	France	TBA	TBA	Ground-based
Vector Solution		USA	RF	Spoofing	Ground-based
Veth Systems	Drone Hunter	Hungary		RF Jamming, GNSS Jamming	Ground-based
Whitefox	Dronefox Fortify	USA	RF	Spoofing	Ground-based
Whitefox	Dronefox Tactical	USA	RF	Spoofing	Ground-based