

**SERIE DE CUADERNOS TECNOLÓGICOS**

Cuadernos de Isdefe

**2**

# **SISTEMAS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAS) MILITARES**









# Sistemas Aéreos no Tripulados (UAS) Militares

## Volumen 2

### Serie Cuadernos Tecnológicos

#### Cuadernos de Isdefe



#### **AUTORES**

Diego Bueno Pérez  
Enrique Cuenca-Romero Jimenez  
Humberto Briones Valero  
Andrea Iglesias Brocos  
Ismael López Marquez  
José María Sanz Nogales  
Juan Manuel García Montañó

#### **REVISORES**

Guillermo Jenaro de Mencos  
Loreto Carrasco Albaladejo



Titulo original: Sistemas aéreos no tripulados (UAS) militares

© Isdefe

C/ Beatriz de Bobadilla, 3 -28040 Madrid

www.isdefe.es

Primera edición: septiembre 2025

ISBN: 978-84-09-74838-9

No comercial Depósito legal: M-16340-2025

Editorial: Ingeniería de Sistemas para la Defensa de España SA SME MP

Coordinador: Juan Manuel Garcia Montaña

Coordinador Técnico: Diego Bueno Pérez

Equipo de edición y revisión de estilo: Juan Manuel García Montaña, Guillermo Jenaro de Mencos y Loreto Carrasco Albaladejo.

Diseño: Iliana Aguilar Jiménez

Maquetación: David Sánchez Martín

Grabación y edición de vídeos: Favorit Comunicaciones www.favoritcom.es

Impreso por Byprint Madrid

Impreso en España Printed in Spain

Imagen de portada: Flickr Ejército de Tierra. <https://www.flickr.com/photos/ejercitodetierra/52275415957>

Imagen capítulo 1: Con permiso solicitado. Instagram Michael Fedorov [https://www.instagram.com/p/Cr\\_BW5FNKFz/?img\\_index=1](https://www.instagram.com/p/Cr_BW5FNKFz/?img_index=1)

Imagen capítulo 2: USAF. <https://www.af.mil/News/Photos/igphoto/2002864740/mediaid/5461089/> Uso público.

Imagen capítulo 3: NATO AGS. [https://www.nato.int/cps/en/natohq/photos\\_146348.htm](https://www.nato.int/cps/en/natohq/photos_146348.htm)

Imagen capítulo 4: Con permiso solicitado. Facebook General Staff of the Armed Forces of Ukraine <https://www.facebook.com/photo.php?fbid=862917996021280&set=pb.100069092624537.-2207520000&type=3>

Imagen capítulo 5: web Ministerio del Interior. <https://www.interior.gob.es/opencms/es/detalle/articulo/Interior-detecto-47-drones-en-la-Cumbre-de-Granada-gracias-al-sistema-antidron/>

Imagen capítulo 6: Con permiso solicitado. Facebook State Service of Special Communications and Information Protection of Ukraine. <https://www.facebook.com/photo.php?fbid=629312352713238&set=pb.100069034355657.-2207520000&type=3>

Imagen capítulo 7: Airbus. <https://mediacentre.airbus.com/element?id=658094> Publicada con permiso.

Imagen Retos de Futuro y Conclusiones. US Marine Corps. Dominio Público. <https://www.dvidshub.net/image/8260121/us-marine-corps-xq-58a-valkyrie-completes-second-flight>

Imagen Glosario: Web Grupo Wild Hornets. Ucrania. [https://dykishershni.com/images/photo/new/21\\_big.jpg](https://dykishershni.com/images/photo/new/21_big.jpg) Publicada con permiso.

Las opiniones contenidas en este libro son de exclusiva responsabilidad de los autores firmantes. No pretenden reflejar las opiniones ni el punto de vista de Isdefe.

El equipo de edición ha hecho todos los esfuerzos posibles para obtener los permisos pertinentes del material reproducido en este libro. Si se hubiera producido alguna omisión, agradeceríamos que nos remitan la correspondiente solicitud para subsanar el error.

Todos los derechos reservados. Queda prohibida la reproducción total o parcial sin autorización del editor ©.

Queremos mostrar nuestro agradecimiento a las siguientes personas y organizaciones por hacer posible la edición de este libro con su colaboración o contribución:

A todo el personal de Isdefe que ha colaborado, de una manera u otra, en la elaboración de este cuaderno. En especial el área de Plataformas Aéreas que da apoyo a la Dirección de Ingeniería del MALE (ET), donde Raquel Blazquez y Almudena Garcia han prestado su ayuda y colaboración, y a Rocio Manjón Pérez por su ayuda en las revisiones.

Al Teniente Coronel Juan José Moreno Martínez, de la sección de Plataformas Aéreas del MALE/DIAD/SUBSAR, por su apoyo.

A los revisores, el Coronel (R) Guillermo Jenaro de Mencos (ET) y la Teniente Coronel Loreto Carrasco Albaladejo (EA), por su minucioso trabajo de revisión, su paciencia y su empeño en mejorar y enriquecer los textos.

Al Teniente General (R) Juan Manuel Garcia Montaña, porque su empeño y liderazgo ha hecho posible la consecución de este cuaderno.

## NOTA EDITORIAL

Este cuaderno ofrece una introducción general al estado del arte de los UAS militares en el momento de su elaboración. Dada la vertiginosa evolución de estos sistemas en los conflictos actuales, es posible que los últimos desarrollos o técnicas no se vean reflejados en el texto.

Por ello, se recomienda al lector consultar las referencias y fuentes actualizadas para obtener la información más reciente y relevante.

Para la elaboración de este cuaderno se han utilizado herramientas de inteligencia artificial únicamente para las funciones de rastreo de publicaciones en redes, gestión de la información, generación de resúmenes de publicaciones y documentos, y elaboración y mejora de resolución de imágenes.

Todo ello bajo una estricta supervisión por parte de los autores y revisores.



“La guerra es el reino de la incertidumbre. Las tres cuartas partes de los factores en que se basan las acciones bélicas están envueltas en una niebla de mayor o menor incertidumbre. Se exige un juicio sensato y perspicaz, una inteligencia entrenada en desvelar la verdad.”

**Carl Von Clausewitz** . (1780-1831, general y escritor prusiano)

# PROLOGO



## **Teniente General Javier Hernandez Antuña** **(Segundo Jefe del Estado Mayor del Ejército del Aire y del Espacio)**

El ser humano siempre ha querido dominar la tercera dimensión. Desde el invento de los globos y posteriormente los dirigibles, son múltiples las aplicaciones de la vida diaria en las que se ha sacado beneficio de ello. Y también, desde el principio, se ha buscado el uso militar de estos aparatos, por las nuevas capacidades que ofrecían.

Con la irrupción de la aviación a comienzos del siglo XX, se abrieron nuevas posibilidades para la explotación del espacio aéreo. El empleo de la aviación supuso un avance significativo para la sociedad, especialmente en el ámbito del transporte de personas y materiales, lo que influyó positivamente en el progreso y desarrollo social. Sin embargo, emergió también una nueva amenaza para la seguridad que exigía ser afrontada.

Así, se inició un proceso de análisis orientado tanto a la utilización de estos nuevos medios en los conflictos armados en beneficio propio, como a la búsqueda de mecanismos para contrarrestarlos y defenderse de ellos. Como resultado, se elaboró una doctrina específica para el empleo de lo que se denominó el arma aérea.

La relevancia de estas nuevas capacidades motivó la creación de un componente autónomo dentro de las Fuerzas Armadas, dando lugar a la formación de los Ejércitos del Aire. Estas Fuerzas Aéreas desarrollaron conceptos innovadores, como el de guerra aérea, orientados a la consecución del Dominio del Aire en beneficio propio, y con ello, alcanzar la supremacía o, al menos, la superioridad aérea, ya fuera de manera local o temporal.

El objetivo primordial consistía en librar la batalla aérea para neutralizar a la fuerza aérea adversaria y, de este modo, obtener el control del espacio aéreo, lo que permitiría posteriormente apoyar desde el aire a las fuerzas terrestres y navales.

Esta doctrina emergente implicó el desarrollo de nuevas tácticas y procedimientos destinados a alcanzar la superioridad aérea deseada. A medida que la tecnología ha avanzado, la naturaleza de la batalla aérea ha experimentado transformaciones, adaptándose a los nuevos dispositivos, equipos y capacidades, reflejando en última instancia la evolución de los sistemas de armas empleados.

Junto con la aviación tripulada, se fue desarrollando lentamente la posibilidad de que las aeronaves no necesitaran un piloto a bordo. El progreso tecnológico fue propiciando, lentamente al



principio, pero de manera acelerada en los últimos tiempos, la aparición de los sistemas de aeronaves no tripulados (UAS, Unmanned Aircraft System).

Si bien su uso militar comenzó a mediados del siglo pasado como solución para misiones de alto riesgo, evitando así la exposición innecesaria de pilotos, en la actualidad estos dispositivos han experimentado un desarrollo exponencial, permitiendo una amplia gama de capacidades y equipos aptos para ejecutar las más diversas actividades imaginables.

El imparable avance tecnológico ha posibilitado la evolución de los UAS hasta lo que estamos viendo diariamente. Así, lo que en un principio parecía un mero sueño, se ha materializado en el presente, acelerado por los avances que han surgido en los conflictos y guerras actuales.

Se han desarrollado aparatos que varían en prestaciones, desde los más robustos y autónomos, semejantes a aeronaves convencionales, hasta dispositivos de uso personal, de tamaño reducido, capaces de operar en los entornos más inaccesibles. Paralelamente, los sensores con los que estos UAS militares ejecutan sus misiones se han vuelto más potentes, funcionales, precisos y accesibles.

Este desarrollo tecnológico e industrial también ha permitido que estos sistemas porten desde armamento letal, hasta cámaras de excepcional resolución y radares de apertura sintética.

La incorporación de estos nuevos dispositivos exige la adaptación de tácticas, técnicas y procedimientos a las nuevas y variadas capacidades disponibles. Se requieren, por tanto, nuevos conceptos operativos para integrar estas capacidades en la preparación de nuestras Fuerzas Armadas.

Actualmente, es posible realizar misiones y operaciones aéreas con mayor seguridad, sin exponer vidas humanas propias y minimizando los daños colaterales. Se disminuye el riesgo de valiosos recursos humanos como los pilotos o la dependencia en complejas infraestructuras como bases aéreas y pistas de despegue.

Pero además estos nuevos sistemas de armas se pueden complementar con el uso de la Inteligencia Artificial y el Big Data, que permite gestionar la ingente cantidad de información que se obtiene de estos aparatos, para poder ser utilizada en tiempo real o cuando se necesite, integrándola en sistemas de mando y control y de gestión del campo de batalla.

No solo las Fuerzas Aéreas los pueden emplear en sus misiones para la guerra aérea, sino que todas las Fuerzas Armadas pueden realizar acciones con ellos para sus propias misiones en la guerra de superficie y marítima, disponiendo de capacidades aéreas que antes eran imposibles.

Tal es así, que se vislumbra un futuro de un UAS por cada soldado, con la misma importancia que el arma personal actual.



La abundancia de información hará indispensable el uso de herramientas de apoyo basadas en algoritmos de aprendizaje automático y de detección de patrones. Gracias a ellos se podrá analizar la gran cantidad de información en tiempo real recibida, para que sea más fácil y rápida una toma de decisiones ágil y precisa.

Es evidente que para que los UAS se integren en los ejércitos, es imprescindible contar con una industria tecnológicamente avanzada, capaz de continuar desarrollando estos sistemas y de emplear las tecnologías más punteras para proporcionar medios cada vez más sofisticados.

No obstante, todo este progreso plantea nuevos desafíos, tanto de carácter técnico como ético, en especial la cuestión de aceptar si una máquina puede, de manera autónoma, tomar la decisión de emplear la fuerza letal contra seres humanos, aun cuando la tecnología lo permita.

Otro campo que sin duda se verá afectado por el empleo de estos sistemas no tripulados /remotamente tripulados militares, será el mando y control del espacio aéreo, ya que la gran variedad de sistemas dificulta asegurar un control riguroso en todo momento, debido a su pequeño tamaño o a la baja altura a la que operan, lo que complica su detección por los radares actuales.

En consecuencia, los sistemas de mando y control deberán adaptarse, posiblemente recuperando el control de procedimiento en situaciones de conflicto, ya que es necesario seguir afrontando el resto de las amenazas y, al mismo tiempo, continuar dirigiendo el tráfico aéreo propio.

Todos estos temas están exhaustivamente desarrollados en este Cuaderno Tecnológico sobre UAS militares, el cual constituye un excelente compendio del conocimiento actual sobre la materia. Esta obra expone de manera detallada, la historia, clasificación, las misiones que realizan, la diversidad de capacidades existentes y la evolución de su uso en los conflictos.

De esta forma, el lector puede tener una visión completa y una referencia para entender cómo han ido desarrollándose los UAS y como se ha llegado a la situación actual en la que se aumentan sus capacidades día a día y se emplean cada vez en más misiones, llegando a ser herramientas insustituibles en vigilancia, apoyo de fuegos, combate táctico e incluso en acciones estratégicas.

Todo ello convierte este libro en un referente sobre el tema en lengua castellana y un completo libro de consulta por la abundancia de datos y referencias que ofrece.



SISTEMAS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAS) MILITARES

PRÓLOGO

|                                                                                   |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>1. INTRODUCCIÓN HISTÓRICA A LOS UAS MILITARES</b>                              | <b>13</b>  |
| 1.1. El empleo de UAS militares en conflictos                                     | 14         |
| 1.2. Primera edad de los UAS. Yugoslavia y la guerra contra el terrorismo         | 17         |
| 1.3. Segunda edad del UAS. Sistemas tácticos de nueva generación                  | 19         |
| 1.4. Tercera edad de los UAS. Guerra de Ucrania y conflictos en Oriente Medio     | 23         |
| 1.5. Los UAS militares en España                                                  | 26         |
| 1.6. Conclusiones                                                                 | 35         |
| <b>2. CONCEPTO, CLASIFICACIÓN Y ARQUITECTURA DE UAS MILITARES</b>                 | <b>41</b>  |
| 2.1. Concepto y marco normativo de los UAS militares                              | 42         |
| 2.2. Clasificación de los sistemas UAS militares                                  | 47         |
| 2.3. Arquitectura genérica de un sistema UAS militar                              | 52         |
| 2.4. Conclusiones                                                                 | 60         |
| <b>3. OPERACIONES CON UAS MILITARES</b>                                           | <b>65</b>  |
| 3.1. Misiones de reconocimiento y vigilancia                                      | 66         |
| 3.2. Misiones de C2 y guerra electrónica                                          | 73         |
| 3.3. Misiones de ataque                                                           | 77         |
| 3.4. Misiones logísticas y de transporte aéreo                                    | 85         |
| 3.5. Conclusiones                                                                 | 89         |
| <b>4. LOS SISTEMAS CONTRA-UAS</b>                                                 | <b>95</b>  |
| 4.1. Vulnerabilidades de los sistemas UAS                                         | 96         |
| 4.2. Sistemas contra UAS LSS                                                      | 104        |
| 4.3. Sistemas C-UAS portátiles                                                    | 113        |
| 4.4. Integración de los niveles de mando en la defensa C-UAS                      | 115        |
| 4.5. Conclusiones                                                                 | 117        |
| <b>5. CONTROL Y COORDINACIÓN DE LOS UAS EN EL ÁMBITO DE LA SEGURIDAD</b>          | <b>125</b> |
| 5.1. Introducción                                                                 | 124        |
| 5.2. Implantación del concepto U-SPACE. Aspectos de seguridad                     | 128        |
| 5.3. Seguridad. "Safety & security"                                               | 137        |
| 5.4. Organización del espacio aéreo de baja cota                                  | 139        |
| 5.5. Soluciones nacionales C-UAS                                                  | 143        |
| 5.6. Conclusiones                                                                 | 147        |
| <b>6. UAS MILITARES. TENDENCIAS ACTUALES Y NUEVOS RETOS</b>                       | <b>153</b> |
| 6.1. Tendencias actuales. Lecciones aprendidas de los conflictos recientes        | 154        |
| 6.2. Cantidad o calidad. Soluciones e iniciativas innovadoras                     | 158        |
| 6.3. Nuevos retos. El empleo de la inteligencia artificial                        | 160        |
| 6.4. Aplicaciones de la IA a la vigilancia, control y coordinación de los UAS LSS | 168        |
| 6.5. Conclusiones                                                                 | 170        |
| <b>7. INDUSTRIA DE UAS MILITARES. EL CASO EUROPEO Y ESPAÑOL</b>                   | <b>175</b> |
| 7.1. La industria de UAS militares. Principales condicionantes del sector         | 176        |
| 7.2. Soberanía tecnológica europea                                                | 179        |
| 7.3. Evolución del sector industrial de UAS militares                             | 183        |
| 7.4. La industria española de UAS militares                                       | 187        |
| 7.5. Conclusiones                                                                 | 193        |
| <b>RETOS DE FUTURO Y CONCLUSIONES</b>                                             | <b>197</b> |
| 1. Resumen de conclusiones                                                        | 198        |
| 2. Retos de futuro                                                                | 202        |
| <b>ACRÓNIMOS</b>                                                                  | <b>207</b> |







# Introducción histórica a los UAS militares

Diego Bueno Pérez

“La victoria sonríe a los que se anticipan a los cambios en el carácter de la guerra,  
no a los que esperan a adaptarse después de que se produzcan”

Giulio Douhet (1869-1930, General y escritor italiano, pionero en las teorías sobre la guerra aérea)

Se inicia este cuaderno técnico dedicado a los sistemas aéreos no tripulados con un capítulo que introducirá al lector en la historia de estos sistemas y en su empleo en diferentes conflictos a lo largo del tiempo.

Para ello, se hace una breve mención de los primeros vuelos de estos sistemas, desde los tempranos desarrollos con radiocontrol en la Primera y Segunda Guerra Mundial, a los empleos más operativos a partir de la guerra de Vietnam y el conflicto árabe-israelí en los años 70, para concluir con la descripción de su empleo en lo que va de siglo XXI, iniciado por los primeros usos de los modernos UAS (*Unmanned Air Systems*, sistemas aéreos no tripulados) militares en la guerra de los Balcanes, caracterizado por el empleo de sistemas de comunicaciones satelitales, que expandían enormemente su alcance, y más recientemente el empleo masivo de sistemas UAS cada vez más pequeños en Nagorno Karabaj (2020), en la Invasión rusa de Ucrania (2022) y en el conflicto de Gaza (2023).

A continuación, se trata el caso particular de la evolución de estos sistemas en España las adquisiciones para zona de operaciones y cómo se han ido incorporando y empleando en los Ejércitos y en la Armada.

Para terminar, se comentan otras adquisiciones que están en proceso para dotar a nuestras Fuerzas Armadas de estos medios, sin olvidar, para concluir, los próximos programas de desarrollo a nivel nacional y europeo en este sector, como los programas SIRTAP (Sistema Remotamente Tripulado de Altas Prestaciones) y EURODRONE de Airbus, en los cuales España participa y será futura usuaria.



# 1. EL EMPLEO DE UAS MILITARES EN CONFLICTOS

Desde hace unos años estamos asistiendo a un cambio disruptivo en la planificación y ejecución de las operaciones militares, en relación con el empleo de los sistemas aéreos no tripulados o UAS militares.

Para tratar de entender cómo se ha llegado a esta situación es necesario conocer cuáles fueron sus inicios y los primeros usos en los diferentes conflictos y operaciones militares.

La primera idea que hay que tener en cuenta es que estos sistemas no son una innovación reciente, sino que su historia arranca casi con el empleo de los primeros globos aerostáticos.

## 1.1. Primeros usos

El antecedente más antiguo y reconocido del empleo de sistemas aéreos no tripulados, en operaciones militares, data del siglo XIX. En concreto fue durante el asedio de Venecia, en 1849, en el contexto de la primera guerra de independencia italiana.

Las fuerzas austriacas utilizaron globos equipados con hasta 15 kg de explosivos para hostigar a los defensores italianos de la ciudad. Sin embargo, las condiciones del viento resultaron desfavorables, lo que llevó al fracaso del bombardeo.

No se trataba de UAS tal y como se entienden actualmente, pero son los primeros empleos de sistemas que volaban sin tripulación en misiones militares.

Si nos centramos en aeronaves no tripuladas más pesadas que el aire, los primeros vuelos experimentales se pueden encontrar ya a comienzos del siglo XX, poco después del primer vuelo tripulado de los hermanos Wright, en 1903.

La tecnología para controlar por radio un objeto no tripulado fue introducida años antes por Nikola Tesla<sup>1</sup>. El inventor serbio patentó en noviembre de 1898 un vehículo naval operable en remoto mediante señales de radio denominado Teleautomaton.

## 1.2. Primera y Segunda Guerra Mundial

El primer uso de la aviación tripulada para operaciones militares se remonta a la guerra de Libia, entre Italia y el imperio Otomano, (1911-1912). El piloto italiano capitán Carlo Piazza en un aeroplano Blériot XI voló sobre las líneas turcas en una misión de reconocimiento y, el 1 de noviembre de 1911, el subteniente Giulio Gavotti dejó caer la primera bomba aérea de la historia sobre las tropas turcas.



Imagen 1. Bombardeo austriaco de Venecia, con globos aerostáticos. 1849. Fuente: Wikisource (Louis Figuier)

Los primeros intentos de uso operativo de los sistemas aéreos no tripulados se dieron poco tiempo después, durante la Primera Guerra Mundial, entre 1914 y 1918, aunque fue una participación casi anecdótica de algunos sistemas aéreos radiocontrolados, con resultados poco significativos.

Durante esta primera contienda mundial, la aviación tripulada avanzó rápidamente, desarrollándose conceptos de guerra aérea que estuvieron en uso durante décadas.

La aviación no tripulada no progresó tanto, debido principalmente a problemas de estabilización y navegación autónoma.

<sup>1</sup> <https://www.forbes.com/sites/berniecarlson/2018/07/11/nikola-teslas-third-greatest-invention-the-first-drone/>

Fue un inventor americano, Elmer Ambrose Sperry<sup>2</sup>, quien en 1909 aplicó su invento del giroestabilizador a un avión, ya que inicialmente se había usado únicamente para aplicaciones marinas. Con él se resolvían bastantes de los problemas de estabilización. Inicialmente no tuvo mucho éxito, pero su trabajo avanzó colaborando primero con el pionero de la aviación Glenn Hammond Curtiss<sup>3</sup> y después con el inventor Peter Cooper Hewitt<sup>4</sup>.

El trabajo de los tres inventores se vio mejorado al aplicar los descubrimientos de Tesla sobre control radio, y eso permitió que en 1916 se realizará la primera demostración del Avión Automático Hewitt-Sperry, también llamado “bomba voladora” y que fue un precursor de los misiles de crucero.

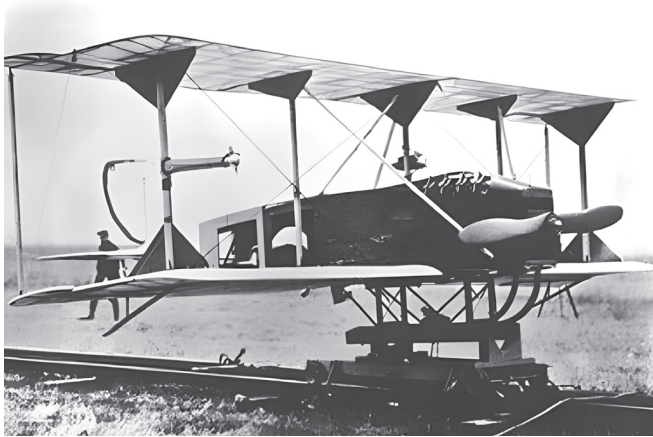


Imagen 2. La «Bomba Voladora» Hewitt-Sperry construida por Curtiss en su catapulta de lanzamiento durante las pruebas. Fuente: Wikipedia. Dominio público.

Durante esa época, la empresa de Glenn Curtiss comenzó a fabricar las primeras unidades de torpedos aéreos no tripulados, conocidos como Speed Scout, y entregó las primeras unidades a finales de 1917.

A pesar de esas primeras demostraciones y pruebas, se suele considerar que el primer vuelo controlado remotamente con éxito real y significativo de un avión no tripulado tuvo lugar el 6 de marzo de 1918, apenas 14 años después del primer vuelo tripulado ya citado.

Posteriormente, en la década de 1920, el ejército y la marina británica también mostraron interés en los sistemas aéreos no tripulados y llegaron a desarrollar un modelo de avión monoplano con capacidad de carga, conocido como LARNYX, que realizó su primer vuelo en 1927, e incluso podía realizar fases de vuelo autónomas en base a un rudimentario plan de vuelo programado.

En 1933 los británicos desarrollaron el modelo de avión radiocontrolado De Havilland DH82B Queen Bee (Abeja Reina), versión del DH82 Tiger Moth, que se usó para prácticas de artillería antiaérea con fuego real y del que se llegaron a construir 400 unidades en diez años. Uno de ellos se puede ver actualmente en el museo Havilland Aircraft<sup>5</sup>, a las afueras de Londres.

Durante la Segunda Guerra Mundial, el uso de sistemas aéreos no tripulados se enfocó de manera diferente según el bando.

En el bando alemán los esfuerzos se concentraron en dos sistemas innovadores, denominados armas de la venganza, Vergeltungswaffe-1 y Vergeltungswaffe-2.

El primero de ellos, más conocido como V-1, fue el precursor de los misiles de crucero, y estaba equipado de un motor pulsorreactor, un primitivo “autopiloto” basado en guía barométrica para mantener altura y un anemómetro para calcular la distancia, según el tiempo de vuelo y la velocidad estimada.

El segundo de ellos, conocido como V-2 y desarrollado por el equipo del ingeniero Wernher von Braun<sup>6</sup>, sería el precursor, no sólo de los misiles balísticos posteriores, sino también de los cohetes espaciales que comenzaron la carrera espacial en los años 50, cuando el propio von Braun continuó su carrera profesional en EE. UU.

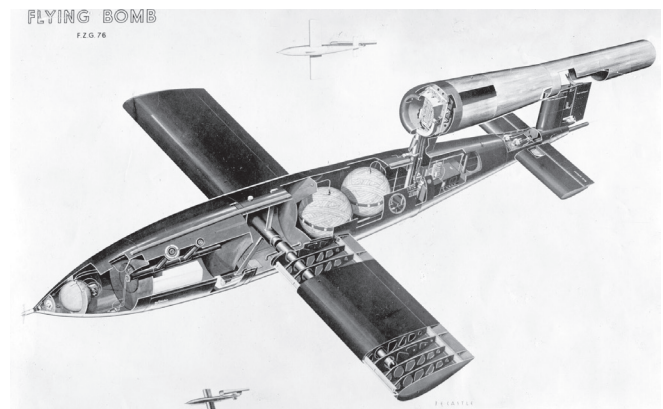


Imagen 3. Dibujo seccionado de una V-1. Fuente: Wikipedia. U.S. Air Force photo

2. **Elmer Ambrose Sperry**, (1860-1930) fue un inventor y emprendedor estadounidense, conocido por ser el coinventor, junto con Hermann Anschütz-Kaempfe, del girocompás. Sus compases y estabilizadores fueron adoptados por la Armada de los Estados Unidos y usados en las dos guerras mundiales

3. **Glenn Hammond Curtiss**, (1878-1930), pionero de la aviación y principal fabricante de la Primera Guerra Mundial.

4. **Peter Cooper Hewitt**, (1861-1921) Ingeniero americano. inventor, entre otras cosas, de la lámpara de vapor de mercurio, los rectificadores de mercurio y receptores radioeléctricos.

5. <https://www.dehavillandmuseum.co.uk/aircraft/de-havilland-dh82b-queen-bee/>  
6. **Wernher von Braun** (1912-1977) fue un ingeniero mecánico y aeroespacial alemán, nacionalizado estadounidense en 1955 con el fin de ser integrado en la NASA. Está considerado como uno de los más importantes diseñadores de cohetes del siglo XX y fue el jefe de diseño del cohete V2 y del cohete Saturn V, que llevó al ser humano a la Luna.



Los estadounidenses y británicos, por su parte, emplearon una gran cantidad de sistemas no tripulados como blancos aéreos para prácticas de artillería antiaérea. El uso bélico se limitó a acciones puntuales de aviones sin tripulación, controlados por radio desde otro avión tripulado cercano. El alcance de estas comunicaciones radio no era muy grande.

Durante la Segunda Guerra Mundial, los americanos desarrollaron un programa conocido como Fleetwings XBQ-1, que solo llegó a la fase de prototipo en 1944. Se trataba de un avión opcionalmente tripulado que, en el caso de volar sin tripulantes, se convertía en un torpedo aéreo con 900 kg de carga explosiva.



Imagen 4. Fleetwings XBQ-1. Fuente: Wikipedia. Crédito: USAAF photo. 1944

### 1.3. Años 50 y 60. Guerra fría y guerra de Vietnam

El final de la Segunda Guerra Mundial dio lugar a un complicado mundo de postguerra, con un enfrentamiento de naturaleza política, económica, ideológica y propagandística entre los bloques Occidental y Oriental, liderados respectivamente por los Estados Unidos y la Unión Soviética.

Este periodo, conocido como Guerra Fría, también abarcó episodios bélicos puntuales, tales como la guerra de Corea (1950-1953) y la de Vietnam (1955-1975).

En este contexto de competencia global, las dos superpotencias se involucraron rápidamente en una carrera armamentística y espacial, aunque centrando sus esfuerzos de investigación en el desarrollo de armamento atómico, cohetes y misiles, mientras que las evoluciones en sistemas aéreos no tripulados quedaron relegadas a un segundo plano, casi exclusivamente a la fabricación de blancos aéreos.

Algunos de estos sistemas desarrollados para tal fin fueron el Northrop Radioplane MQM-36 Shelduck y el Teledyne Ryan Firebee.

El miedo a una confrontación nuclear hizo que en determinados momentos también se dedicaran esfuerzos en aviación no tripulada para vuelos de reconocimiento,

con el objetivo de no poner en peligro tripulaciones tras las posibles explosiones atómicas. También para evitar la captura del piloto, como en el caso Francis Gary Powell, que fue derribado sobre la Unión Soviética cuando pilotaba un U2, el 1 de mayo de 1960<sup>7</sup>.



Imagen 5. Teledyne-Ryan AQM-34N Firebee, 1962. Expuesto en Evergreen Aviation & Space Museum - McMinnville, Oregon, USA. Fuente: Wikimedia. Daderot

Afortunadamente no hubo que realizar vuelos de reconocimiento tras ninguna explosión nuclear, y hay que esperar hasta bien entrada la década de los 60 para ver nuevos avances y desarrollos en estas tecnologías, especialmente durante la guerra de Vietnam.

Este conflicto, que alcanzó su apogeo bélico entre 1964 y 1975, enfrentó a las fuerzas de Vietnam del Sur y Estados Unidos contra Vietnam del Norte, apoyado por la Unión Soviética y China.

En esta guerra se desarrollaron las primeras misiones específicas de inteligencia de imágenes (IMINT, *Image Intelligence*) e inteligencia de señales electrónicas (SIGINT, *Signal Intelligence*) utilizando sistemas no tripulados dotados de motores a reacción. Las fuerzas estadounidenses emplearon un elevado número de unidades de la aeronave Ryan Model 147 Firebee, basados en un avión blanco utilizado en prácticas de tiro antiaéreo.

A diferencia de muchos sistemas aéreos no tripulados tácticos y estratégicos actuales, el Ryan 147 estaba propulsado por un motor a reacción, lo que le permitía alcanzar velocidades superiores a 1.000 km/h.

El Firebee, conocido también como AQM-34 Lightning Bug (luciérnaga), realizó su misión inaugural sobre China en agosto de 1964, como respuesta a las pérdidas de varios aviones U-2.

A partir de octubre de 1964, también se emplearon en vuelos sobre Vietnam del Norte.

Estos drones eran lanzados desde un avión de transporte Lockheed C-130 Hércules adaptado. La ruta de vuelo era preprogramada, aunque se podían realizar modificaciones durante la misión.

Además del reconocimiento fotográfico, los Firebee fueron utilizados para la transmisión de video en tiempo real, para acciones de guerra electrónica mediante interferidores de radar y para el lanzamiento de *chaff* en áreas cubiertas por sistemas antiaéreos, e incluso para el lanzamiento de panfletos propagandísticos.

Debido a su gran velocidad y maniobrabilidad, los Firebee lograron sobrevivir a un considerable número de misiones, con una media establecida en 7.3 misiones completas por aparato.

Entre 1964 y 1975 se completaron 3.435 misiones, llevadas a cabo por 22 variantes diferentes del Firebee. En total, durante el conflicto, se perdieron 578 drones, de los cuales la mitad fueron derribados y la otra mitad por accidentes.

## 1.4. Años 70 y 80. Conflicto árabe-israelí

Las múltiples guerras que, durante la última mitad del siglo pasado, enfrentaron a Israel con sus vecinos árabes, tuvieron distintas evoluciones y desenlaces en cuanto a la efectividad de los medios aéreos empleados.

La guerra de los Seis Días, en junio de 1967, fue un enfrentamiento entre las fuerzas de Israel y los ejércitos de Egipto, Siria y Jordania, que se saldó con una rápida y contundente victoria para Israel. En este conflicto, la aviación tripulada israelí desempeñó un papel fundamental, sorprendiendo a la aviación árabe en tierra y eliminándola prácticamente en los primeros momentos del conflicto.

En la siguiente confrontación, conocida como guerra del Yom Kippur, que comenzó con un ataque de Egipto y Siria el 6 de octubre de 1973, Israel no pudo lograr un éxito tan rotundo. Los países árabes habían aprendido de sus errores anteriores y desarrollaron tácticas antiaéreas más avanzadas, lo que significó que Israel tuvo que soportar pérdidas aéreas considerables, además de las que cosechó sobre el terreno, con el empleo intenso de misiles antitanque por parte árabe y enormes pérdidas en blindados hebreos.

Como lección de este conflicto, se reconoció la necesidad de eliminar o neutralizar las defensas antiaéreas enemigas

(operaciones SEAD – *Suppression of Enemy Air Defenses*), para mantener la superioridad aérea que habían logrado en la guerra de los Seis Días.

Para ello se diseñó una nueva doctrina, que incluía el empleo de sistemas aéreos no tripulados que tenían la misión de señuelos, provocando la activación de los radares de los emplazamientos de misiles antiaéreos (SAM, *Surface-Air Missile*). Estos radares activos pasaron a ser blancos de los misiles antirradiación (Keres, AGM-78 Standard y AGM-45 Shrike), disparados desde los aviones tripulados israelíes.

En junio de 1982, durante la Operación Paz en Galilea (primera guerra del Líbano), las Fuerzas de Defensa de Israel pusieron a prueba su nueva doctrina con un éxito significativo. Siria había desplegado 19 baterías SA-3 y SA-6 en el Valle de la Bekaa, cerca de la frontera con Líbano.

Los israelíes utilizaron drones de fabricación propia, Samson y Delilah, que activaron los radares de los SAM y proporcionaron un guiado efectivo para los misiles antirradiación, que destruyeron 10 baterías completas en los primeros minutos del enfrentamiento.

Al tercer día de los combates, los sirios habían perdido sus 19 baterías SAM y entre 81 y 88 cazas de combate, sin que Israel sufriera ninguna pérdida de aviones tripulados.

El empleo de los sistemas no tripulados resultó ser un elemento clave para la enorme superioridad aérea israelí y desde Estados Unidos y otros países se tomó buena nota de ello. Los primeros desarrollos de UAS de altas prestaciones estadounidenses partieron de diseños de ingenieros israelíes. Muchos analistas (Rogers, 2024) establecen esta época como el inicio de una serie de las tres edades por las que han evolucionado tanto los UAS militares, en lo que respecta a su empleo, operativa, y la industria responsable de su fabricación.

## 2. PRIMERA EDAD DE LOS UAS. YUGOSLAVIA Y LA GUERRA CONTRA EL TERRORISMO

### 2.1. Guerra de Yugoslavia o de los Balcanes

La década de los años 90 del pasado siglo comenzó con algunos de los sucesos más importantes de los últimos tiempos en Europa. La caída del muro de Berlín, la reunificación alemana y el final de la Unión Soviética.



El desmembramiento del mayor de los Estados del planeta trajo consigo una gran inestabilidad en muchas de sus regiones periféricas.

En algunas de esas repúblicas se reanudaron conflictos étnicos o religiosos que habían quedado latentes durante el dominio soviético.

El resurgimiento de los antiguos conflictos étnico/religiosos, acentuado por un colonialismo interno y desplazamientos de población, provocaron el estallido de la conocida como guerra de los Balcanes o guerras de la antigua Yugoslavia, y que fueron una serie de enfrentamientos entre las nuevas repúblicas que tuvieron lugar entre 1991 y 2001.

En estos conflictos se produjo el primer empleo operativo de sistemas aéreos no tripulados de altas prestaciones, de la familia RQ-1/MQ-1 Predator, fabricados por la empresa norteamericana General Atomics, en base a trabajos previos de ingenieros israelíes (entre ellos Abraham Karem<sup>8</sup>, considerado uno de los principales desarrolladores de grandes sistemas UAS israelíes y estadounidenses de finales del siglo XX).



Imagen 6. MQ-1 Predator de la USAF, en vuelo sobre California. 2012.  
Fuente: U.S. Air Force. Photo by Tech Sgt. Effrain Lopez. Dominio público.

El Predator se diseñó inicialmente como un UAS para misiones ISR (*Intelligence, Surveillance and Reconnaissance* - Inteligencia, Vigilancia y Reconocimiento), basado en el anterior modelo Gnat-750, usado por la CIA, y posteriormente se añadió a esas funciones la designación de objetivos (misiones ISTAR, *Intelligence, Surveillance, Target Acquisition, and Reconnaissance* - Inteligencia, Vigilancia, Adquisición de Objetivos y Reconocimiento).

8. **Abraham Karem** (1937-) Ingeniero aeronáutico israelí, de origen iraquí, ha destacado como diseñador de aeronaves no tripuladas de ala fija y giratoria, primero en Israel y después (1970) en Estados Unidos. Se le considera el padre fundador de la moderna tecnología UAS.

9- Los talibán o talibanes (ambas formas están permitidas) son un grupo político-religioso-militar de carácter islamista radical, que gobernó en Afganistán desde 1996 a 2001 y en la actualidad desde 2021. Su ideología se basa en una combinación de sharía o ley islámica derivada del fundamentalismo deobandi, con las normas sociales y culturales de las pastunes, conocidas como Pashtunwali.

Es una aeronave de poco más de una tonelada de peso máximo al despegue, con una longitud aproximada de 8 m y una envergadura de casi 15 m. Su primer vuelo data de 1994, y a partir de 1995 participó activamente en la guerra de los Balcanes, inicialmente en Bosnia y después sobre Serbia y Kosovo.

La primera transmisión de video en tiempo real desde un UAS la realizó un MQ-1 Predator sobre Bosnia en 1994, y supuso un cambio de paradigma para muchos analistas de inteligencia, acostumbrados a trabajar sobre fotografías aéreas.

Ahora debían extraer información de manera más ágil y rápida desde una emisión de video transmitida en directo.

Inicialmente se perdieron un número importante de unidades, debido tanto a derribos con misiles antiaéreos como a accidentes por fallos técnicos y de operación del sistema.

Los operadores carecían de la conciencia situacional de los pilotos de aeronaves tripuladas y tenían tendencia a someter a los primeros UAS a condiciones de vuelo por encima de su envolvente de seguridad.

A pesar de esas pérdidas significativas, se considera que la actuación de estos sistemas en dicho conflicto fue positiva. Se logró recopilar inteligencia de gran valor que permitió realizar ataques más precisos y con menos pérdidas colaterales. Además, se redujo drásticamente las bajas propias en los vuelos de reconocimiento.

## 2.2. Inicios del siglo XXI. Guerras contra el terrorismo

Después de los atentados contra las Torres Gemelas de Nueva York, el 11 de septiembre de 2001, los EE. UU. iniciaron una campaña militar para la detención del supuesto líder e ideólogo de dicho ataque, el saudí Osama Bin Laden, que se creía escondido en el Afganistán de los talibanes<sup>9</sup>.

El 7 de octubre de 2001 comenzó la invasión de Afganistán por parte de la coalición occidental, inicialmente Estados Unidos, Reino Unido, Alemania y Australia. En pocos meses se derrocó al gobierno talibán, se instauró una administración interina y, desde 2004, una frágil democracia.

El 28 de diciembre de 2014, la OTAN puso fin oficialmente a las operaciones de combate en Afganistán y le transfirió toda la responsabilidad de la seguridad al gobierno afgano a través de una ceremonia en Kabul, marcando el inicio de la nueva fase del conflicto.

El 15 de agosto de 2021, los talibanes asediaron las afueras de Kabul y el entonces presidente de Afganistán, Ashraf Ghani, entregó Kabul de forma pacífica. Las tropas occidentales que permanecían aún allí tuvieron que retirarse de forma precipitada.



Imagen 7. UAS Shahed 171 Simorgh, presentado por la Guardia Revolucionaria Iraní tras copiar por ingeniería inversa un RQ-170 americano capturado. Fuente: Wikipedia. Crédito: Mehdi Bakhtiari. Creative Commons Attribution 4.0 International license

Pero este conflicto marcó otro hito en el empleo de los UAS militares como sistemas de armas. El 14 de noviembre de 2001, un UAS Predator despegó de una base aérea en Uzbekistán y comenzó a rastrear un convoy de vehículos en Afganistán, sospechoso de transportar líderes talibanes. Desde la sede de la CIA (*Central Intelligence Agency* – Agencia Central de Inteligencia) en Virginia, los operadores del sistema observaban las imágenes en vivo y vieron cómo el convoy se detuvo frente a un edificio. El Predator lanzó un misil Hellfire contra el edificio, eliminando a siete supuestos terroristas y destruyendo un refugio cercano en el que se encontraban otros individuos, incluido Mohammed Atef, jefe militar de Al Qaeda y yerno de Osama Bin Laden.

Este evento marcó el comienzo de una nueva era en la que los UAS armados se convirtieron en un arma fundamental en la guerra contrainsurgencia de principios del siglo XXI.

En los conflictos de las llamadas guerras contra el terrorismo, de Irak y Afganistán, se continuaron usando estos sistemas UAS MALE (*Medium Altitude Long Endurance* – Altitud media. Larga duración de misión) de gran tamaño, destacando además del Reaper, el Lockheed Martin RQ-170 Sentinel, este último, desarrollado con capacidades de baja observabilidad y señal radar muy pequeña, que le confería la posibilidad de realizar vuelos de reconocimiento en el espacio aéreo de otros países.

Precisamente en diciembre de 2011, Irán anunció que había derribado y capturado un RQ-170 y que exhibió públicamente.

En abril de 2012 se anunció que estaban replicándolo mediante ingeniería inversa, con el nombre de Shahed 171 Simorgh.

Con estos grandes y complejos sistemas se iniciaron los empleos generalizados de estos UAS en las operaciones militares, que conformaron la primera edad de los UAS.

### 3. SEGUNDA EDAD DEL UAS. SISTEMAS TÁCTICOS DE NUEVA GENERACIÓN

Siguiendo con la clasificación por edades (Rogers, 2024), la segunda edad se correspondería con la segunda década del siglo XXI, cuando comienza el desarrollo de sistemas menos sofisticados, pero significativamente más asequibles, principalmente por parte de una industria de defensa de segundo nivel. Estos sistemas estaban orientados a satisfacer las necesidades de las fuerzas armadas de países con recursos más limitados.

La aparición de estos sistemas tácticos más económicos supuso una segunda edad del dron, porque comenzó el desarrollo, fabricación y empleo exponencial de estos sistemas a nivel global, y que ha llegado hasta nuestros días.

Este periodo arranca a partir de la guerra de Siria (2011) y continua a lo largo de la década, abarcando los conflictos de Libia, la anexión rusa de Crimea y la guerra del Donbas, y el conflicto de Nagorno Karabaj, entre otros.

Ejemplos de ese abaratamiento en costes y esa mayor disponibilidad han venido dados sobre todo por la aparición de nuevos fabricantes turcos, chinos, iraníes y de Europa del Este.

El sistema turco Bayraktar TB-2 fue uno de los exponentes de esa tendencia, con características bastante inferiores, pero con unos precios mucho más bajos que los sistemas americanos e israelíes (menos de 5M\$ por sistema frente a los más de 30M\$ de un MQ-9 Reaper o un IAI Heron), que tenían hasta esa fecha casi el monopolio en el mundo occidental.



Imagen 8. Bayraktar TB-2 ucraniano en pista, con dos estaciones de control al fondo. Fuente: Wikipedia. Crédito: armyinform.com.ua.

El TB-2 es un sistema de 700 kg de peso máximo, con una autonomía de más de 20 horas y una carga útil de 125 kg, que incluye hasta cuatro misiles aire-tierra de guía laser.

Ha sido empleado con éxito desde 2019 en conflictos locales como Libia y Nagorno Karabaj, siempre en entornos aéreos sin superioridad aérea por parte de ningún contendiente, y con escasa presencia de medios antiaéreos efectivos (lo que en denominación militar se suele llamar entornos poco contestados).

El resultado de esta segunda edad de los drones es que, en su inicio en el año 2010, 60 Estados en el mundo tenían programas de desarrollo y uso de UAS militares. 14 años después esa cifra supera los 113 países y, lo que es más preocupante, 65 actores no gubernamentales también tienen acceso a estos sistemas de armas.

Además de esta “democratización” de los UAS militares, durante esa época también comienza a vislumbrarse un cambio de tendencia en los protagonistas de estas innovaciones industriales.

Ya no son los gigantes tecnológicos de la industria de defensa los que impulsan el mercado, sino que aparecen pequeñas o medianas empresas, con desarrollos novedosos, mayor flexibilidad para innovar y con unos costes fijos bastante menores, que empiezan a ofrecer productos competitivos a precios más bajos.

### 3.1. La década de 2010. La guerra civil en Siria

La década de 2010 ha sido testigo de importantes cambios en muchos países árabes mediterráneos. Esa época estuvo marcada por protestas populares multitudinarias y fue conocida como Primavera Árabe. El país donde se alcanzó los mayores estallidos de violencia, hasta tal punto de desembocar en una auténtica guerra civil, fue Siria.

La guerra civil siria ha sido una de las más largas, desde 2011 hasta la actualidad, aunque perdió intensidad a partir de la anunciada derrota del Estado Islámico<sup>10</sup> y la retirada de tropas de Estados Unidos y otras coaliciones en 2019.

Durante el conflicto hubo participación directa de diferentes países y alianzas internacionales, apoyando unos a los rebeldes, otros al gobierno sirio y la mayoría combatiendo también a terroristas del Estado Islámico de Irak y Siria (ISIS, Irak and Siria Islamic State), que se estableció en una parte de la región como un auténtico califato medieval.

En el comienzo de esta guerra se emplearon los sistemas UAS que se vieron en la primera edad, junto con pequeños UAS comerciales, un concepto cada vez más extendido desde entonces en todos los conflictos locales y globales.

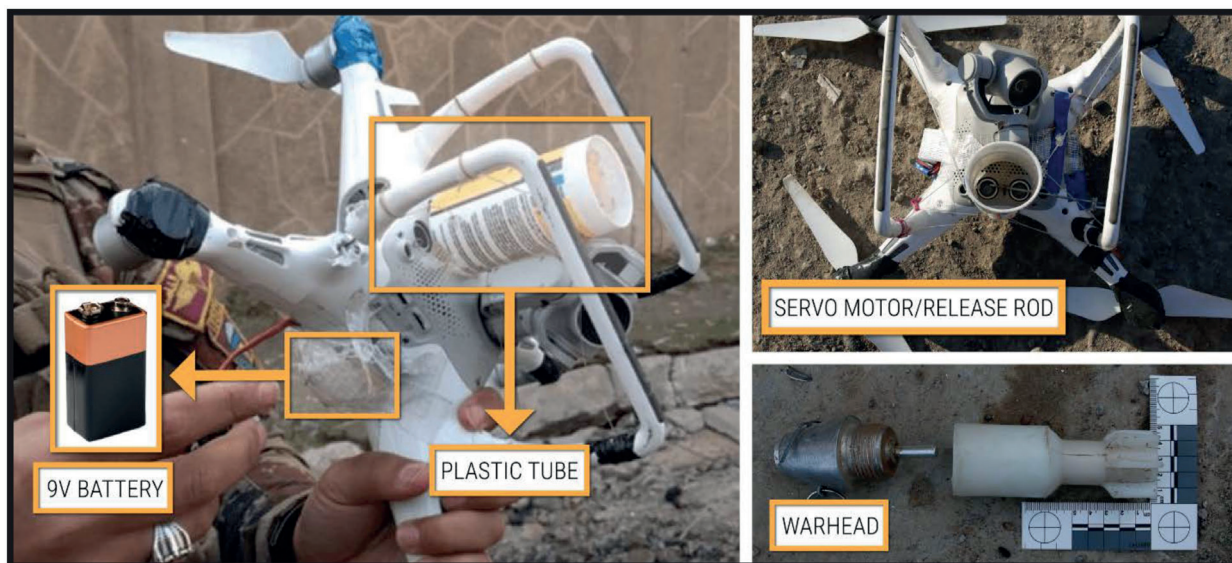


Imagen 9. Ejemplo de UAS comercial DJI Phantom 3, letalizado con componentes artesanales. Fuente: esquema a partir de imágenes del Col Mitch Utterback publicado en West Point Combating Terrorism Center y Conflict Armament Research. Don Rassler. The Islamic State and Drones. 2018

10. El autodenominado Estado Islámico (IS), conocido también como Estado Islámico de Irak y Siria (ISIS), o de forma recomendada como Dáesh o Daish, es un grupo terrorista paramilitar de naturaleza fundamentalista yihadista wahabita (takfirista) que sigue una doctrina heterodoxa del islam suní integrado por radicales fieles a Abu Bakr al-Baghdadi, que en junio de 2014 autoproclamó su califato desde la ciudad iraquí de Mosul, pidiendo lealtad a todos los musulmanes.



Las fuerzas regulares de la coalición aliada (Estados Unidos y países del Golfo Pérsico) usaron sobre todo UAS clase III militares (MQ-9 Reaper o Predator B en su mayoría) para misiones ISR y para ataque a tierra selectivo, mientras que las fuerzas insurgentes y, en mayor medida, los terroristas del ISIS, se especializaron en transformar drones comerciales de pequeño tamaño (sobre todo del fabricante chino DJI, y también sistemas de ala fija) en armas letales, añadiéndoles de forma artesanal dispositivos de enganche y lanzamientos de cargas explosivas, que eran apuntadas con la cámara en posición vertical, enfocada al suelo y con el dron en estático.

Así consiguieron lanzar con precisión granadas de mortero y explosivos improvisados sobre vehículos, edificios o instalaciones.

Todo ello mezclado con una elaborada y extensa campaña de difusión en las redes sociales, donde se publicaban las grabaciones de las cámaras de los drones durante los ataques que lograban su objetivo, junto con las imágenes de centros de fabricación y el entrenamiento de decenas de operadores.

Esos fueron los primeros usos conocidos en un conflicto de los sistemas denominados “drones comerciales letalizados”<sup>11</sup> por actores no estatales, los cuales los emplearon de manera intensiva durante algunas fases del combate, utilizándolos para llevar a cabo operaciones militares contra sus oponentes, a la vez que publicitaban y mostraban su uso como una inmensa campaña de propaganda.



Imagen 10. Taller de fabricación de drones letalizados. ISIS. Fuente: MEMRI TVResearch. Don Ressler. *The Islamic State and Drones*. 2018

También los han utilizado para realizar labores ISTAR, lo que les permitió recopilar información crucial para planificar y ejecutar ofensivas contra las fuerzas enemigas.

El grupo terrorista Estado Islámico desarrolló una nueva manera de fabricar estas armas, a partir de los mencionados drones comerciales, mediante procesos similares a la

fabricación de los dispositivos explosivos improvisados (IED, *Improvised Explosive Devices*).

Para ello, sustituían artesanalmente algunos de los componentes originales por otros disponibles en el mercado, con un coste extremadamente bajo.

A eso se le añadía la creciente disponibilidad de las piezas y elementos necesarios que, a partir de dicha época, existía en el mercado comercial, incluso a través de plataformas de compra online. En parte porque la demanda de consumo civil de estos sistemas aumentó significativamente.

El sistema, una vez modificado, se utilizaba para el lanzamiento de cargas explosivas (granadas de mano o de mortero) sobre vehículos, tropa o incluso carros de combate.

Algunos expertos ya pronosticaron el terrible uso que a estos sistemas se les podía dar por parte de actores no gubernamentales, y que equivalía prácticamente a que grupos terroristas dispusieran de la capacidad de bombardeo aire-tierra, algo totalmente impensable unos años atrás y que se anticipó que sería un enorme problema para la seguridad a medio plazo, cuando poco a poco esos avances y capacidades llegaran a grupos terroristas, organizaciones de delincuentes, narcotraficantes, etc., que operaran en los países occidentales.

Se recopila a continuación un resumen de los principales usos de los drones comerciales letalizados por parte del ISIS en la guerra de Siria:

**Propaganda:** se usaron para la grabación de imágenes propagandísticas de las acciones sobre todo suicidas y de ataques de sus miembros, difundiéndolas posteriormente por las redes sociales, con el efecto de reclutar nuevos combatientes y de infundir terror en la población no afín.

**Reconocimiento del terreno previo a un ataque:** en un número importante de acciones del ISIS, estas vinieron precedidas por el vuelo de UAS comerciales para vigilancia y observación. Como ejemplo cabe citar la toma del aeropuerto militar de Tabqa en agosto de 2014.

**Mando y control:** se han usado para tener información en tiempo real del desarrollo de las batallas y choques, proporcionando una valiosa información para la toma de decisiones de mando y control operacional. Ejemplo: asalto a la refinería de Baji, en Irak, 2016.

11. El término dron comercial letalizado ha sido acuñado por el Dr. Juan Luis Chulilla y se publicó por primera vez en «Letalización de drones comerciales». Estrategia podcast 49, <https://youtu.be/7MyeFE-j9W8>, y en el artículo “Presente y futuro de los drones comerciales letalizados”, publicado por la Revista General de Marina en mayo de 2023. <https://armada.defensa.gob.es/archivo/rgm/2023/05/RGMMayo2023Parte05.pdf>

**Guiado de coches suicida:** usados sobre todo en la batalla de Mosul en 2014, en la que los operadores de UAS guiaban a los conductores de los vehículos suicidas aumentando sensiblemente las probabilidades de éxito al evitar barricadas, vías cortadas, o presencia de tropas.

**Observación y corrección de tiro:** los operadores de los UAS observaban los impactos de artillería y transmitían las correcciones necesarias para batir los objetivos.

**Lanzamiento de pequeñas cargas explosivas,** sobre grupos de personas, vehículos o edificios. Durante la fase más cruenta, en 2017, médicos de Mosul estimaban en 10 ingresos diarios de pacientes con heridas provocadas por munición lanzada desde UAVs. Eran acciones con un gran impacto psicológico sobre la población, que les hacía sentir totalmente vulnerables a los ataques del ISIS.

**Ataques múltiples:** los operadores del ISIS se especializaron también en controlar simultáneamente varios UAS y realizar ataques múltiples coordinados. Ejemplo, el ataque simultáneo con 13 UAVs sobre la base aérea rusa de Hmeymin y el puesto de apoyo logístico de la flota rusa en Tartus (Siria), en enero de 2018.

**Ataque directo:** durante este conflicto se vieron los primeros intentos de usar el propio UAV como proyectil, generando daños al impactar debido a la velocidad e incluso incorporando cargas explosivas. Se trató incluso de intentar el derribo de aviones o helicópteros impactando contra las turbinas de estos.

Tabla 1. Resumen de usos de drones comerciales letalizados en la guerra de Siria. Elaboración propia a partir de fuentes abiertas

### 3.2. Conflicto ruso-ucraniano en el Donbás y Crimea (2014)

Otra de las consecuencias de la caída de la Unión Soviética en 1991 fue, como se ha comentado, la independencia de gran cantidad de repúblicas históricas, periféricas al estado federal ruso. Bielorrusia, Ucrania y Moldavia, junto con las repúblicas bálticas de Estonia, Letonia y Lituania, fueron algunas de ellas.

En el año 2014 se produjo un cambio político y social en Ucrania, que supuso un giro prooccidental. Como respuesta a ese cambio político contrario a sus intereses, la Federación Rusa se anexionó la región ucraniana de la península de Crimea<sup>12</sup>, donde se encuentra su principal base naval en el Mar Negro, Sebastopol, y al mismo tiempo se iniciaron violentos levantamientos de grupos prorrusos en las regiones ucranianas fronterizas con Rusia, Lugansk y Donetsk.

12. [https://www.bbc.com/mundo/noticias/2014/03/140311\\_ukrania\\_rusia\\_soldados\\_crimea\\_jgc](https://www.bbc.com/mundo/noticias/2014/03/140311_ukrania_rusia_soldados_crimea_jgc)

A partir de entonces se desarrolló un enfrentamiento entre el ejército regular ucraniano, milicias nacionalistas ucranianas y las fuerzas insurgentes prorrusas apoyadas por el propio ejército ruso, con una línea de contacto que varió muy poco hasta 2022. Meses después del inicio del conflicto se firmaron los acuerdos de Minsk, que establecían una línea de contacto desmilitarizada vigilada por la OSCE (*Organization for Security and Cooperation in Europe*, Organización para la Seguridad y Cooperación en Europa). Dichos acuerdos de paz no fueron efectivos en la práctica y se continuaron los enfrentamientos hasta que en 2022 se produjo la invasión a gran escala de Ucrania por parte de la Federación Rusa.

Inicialmente el empleo de los UAS no resultó significativo, pero poco a poco las fuerzas ucranianas ampliaron su arsenal y los operaban como elementos de observación.

La OSCE empleó UAS en sus labores de vigilancia, en concreto sistemas CAMCOPTER S-100, del fabricante austriaco SHIEBEL, operados desde una pequeña base en Manhush, a las afueras de Mariupol, en el Óblast de Donetsk.



Imagen 11. UAS SHIEBEL CAMCOPTER S-100 en labores de observación de los acuerdos de paz de Minsk, 2018. Fuente: Getty

### 3.3. Década de 2020. Conflicto de Nagorno Karabaj

La década de 2020 se inicia con el resurgimiento de otro conflicto enquistado entre los países de Armenia y Azerbaiyán, por el control de la región de Nagorno Karabaj.

Dicho territorio, de población mayoritariamente armenia, pero que desde el año 1927 pertenece a la república de Azerbaiyán, ha sido objeto de disputa desde la citada disolución de la Unión Soviética.

En septiembre de 2020 volvió a estallar el conflicto a gran escala entre los dos países por este motivo. Azerbaiyán inició una ofensiva militar con el objetivo de recuperar el territorio en disputa, empleando tanto fuerzas terrestres como una



destacada presencia de drones en el campo de batalla. Esta estrategia militar, respaldada por el asesoramiento de Turquía e Israel, sorprendió a muchos analistas por su eficacia y letalidad.

Se produjo el enfrentamiento entre dos ejércitos de muy distinta concepción, uno de los cuales (Azerbaiyán) había apostado de forma clara y directa por la modernidad y por el uso de los UAS militares para compensar su menor tamaño y capacidad de combate, y el otro (Armenia) había confiado en su mayor tamaño y capacidad de armamento convencional, en parte obsoleto, haciendo un uso menos intensivo de los UAS y de las tecnologías modernas.

Las primeras fases de la guerra estuvieron marcadas por intensos combates en los que Azerbaiyán logró avances significativos, capturando territorios clave y poniendo en aprietos a las fuerzas armenias, a priori muy superiores en número y equipamiento.

El empleo masivo de UAS, tanto para labores de reconocimiento como de ataque, resultó ser una herramienta crucial en la estrategia militar de Azerbaiyán, permitiendo golpear objetivos con precisión y debilitar las defensas armenias.

En medio de este conflicto, se manifestaron diferencias notables en la capacidad de adaptación y respuesta de ambas partes. Azerbaiyán demostró una notable integración de los drones en sus operaciones militares, aprovechando al máximo el potencial de estas plataformas aéreas no tripuladas.

Quizás haya sido una de las primeras demostraciones del concepto doctrinal de "Campo de Batalla Transparente"<sup>13</sup> (Frias Sánchez, 2024) en un enfrentamiento entre ejércitos convencionales, al menos en determinadas zonas limitadas del frente.

Por otro lado, Armenia se vio desafiada por la superioridad tecnológica de su oponente y se enfrentó a muchas dificultades para contrarrestar eficazmente el uso de UAS en su contra.

Las implicaciones de este conflicto en términos de estrategia militar, adaptación doctrinal y tecnología bélica son temas de gran relevancia que merecen un análisis detallado y una reflexión cuidadosa, como se verá con más detalle en el capítulo 6.

A partir de este punto los expertos ya hablan de una tercera edad de los UAS militares, que ha tenido su máxima

expresión en la invasión rusa de Ucrania iniciada en 2022 y en los conflictos de Oriente Medio que comenzaron en 2023.

## 4. TERCERA EDAD DE LOS UAS. GUERRA DE UCRANIA Y CONFLICTOS EN ORIENTE MEDIO

### 4.1. La invasión rusa de Ucrania. Febrero de 2022

El 24 de febrero de 2022, el ejército de la Federación Rusa inició una invasión terrestre por varios puntos de la frontera de Ucrania con Rusia y con Bielorrusia.

A partir de dicha invasión se inició abiertamente un enfrentamiento entre Rusia y Ucrania. Desde el primer momento se empezaron a usar sistemas UAS militares por ambas partes, aunque mucho más y de manera más efectiva por parte de Ucrania, y que fue en aumento a medida que avanzaban los días.

Las fuerzas ucranianas usaron todo el material que disponían y además adquirieron mediante compra o donaciones, miles de sistemas comerciales que emplearon de manera continuada como fuente de información y reconocimiento y como elementos ofensivos.

#### Evolución del empleo de sistemas aéreos no tripulados en la guerra de Ucrania.

En los primeros compases de la invasión tomaron protagonismo los sistemas de tamaño grande y uso táctico, como el Bayraktar TB-2 ucraniano, aunque poco a poco, y al mejorar las defensas antiaéreas de ambos contendientes, estos sistemas a la vez que, en general, la aviación, perdieron protagonismo en el conflicto.

A partir de entonces se empezaron a utilizar más sistemas UAS de menor tamaño, de categoría MINI (aprox. entre 3 y 25 kg de peso) y SMALL (entre 25 y 150 kg de peso) en misiones de vigilancia ISR e ISTAR.

#### Drones comerciales letalizados y el empleo del guiado en primera persona (FPV).

Por primera vez en un conflicto, la población civil se volcó en ayuda técnica para dotar a sus fuerzas armadas de pequeños drones comerciales modificados y en algunos casos letalizados, haciendo uso de tecnologías y capacidades hasta entonces civiles, como el vuelo en Vista de Primera Persona (FPV, *First Person View*), que permite controlar de manera ágil y hábil el dron mediante unas gafas que proyectan la imagen

13. Campo de Batalla Transparente significa que prácticamente todos los elementos presentes en el teatro de operaciones pueden ser detectados y localizados en un plazo de tiempo muy breve y, gracias al empleo de vectores de fuegos de largo alcance, también pueden batirse (Frias Sánchez, 2024).

de la cámara de navegación, y que posibilitan, junto con una transmisión de video analógica, mantener un mínimo control en la fase terminal, aún en presencia de guerra electrónica y perturbaciones electromagnéticas intensas.

Con el paso de los meses, las fuerzas de la Federación Rusa también comenzaron a mejorar sus sistemas UAS y pasaron a disponer también de pequeños drones letalizados, capaces de dejar fuera de servicio vehículos blindados y ocasionar graves daños a vehículos logísticos.

Sin embargo, a diferencia de las tropas ucranianas, el uso de estos drones letalizados por parte de las fuerzas rusas fue más centralizado y menos adaptado a cada frente en particular, consiguiendo en general menos éxitos que sus contrapartes ucranianas.

En un intento de compensar sus grandes carencias tecnológicas e industriales, la Federación Rusa negoció la compra de sistemas de drones de un solo uso (también denominados drones suicidas) a la República Islámica de Irán, en su mayoría sistemas del modelo Shahed-136, lanzados en grandes cantidades desde camiones ligeros, y está haciendo un uso muy extenso de ellos, sobre todo, después de reducir sus reservas de misiles de crucero Iskander y Kalibr, e incluso emplear para ataque al suelo misiles aire-aire como el S-300. Con ellos se atacan de un modo continuo instalaciones eléctricas y centros fabriles o logísticos de Ucrania.

Asimismo, por parte de Ucrania se desarrollaron sistemas UAS de largo alcance (varios cientos de kilómetros) y de un solo uso, para atacar instalaciones logísticas (como por ejemplo depósitos de municiones) o industriales ligadas a la guerra y bases aéreas del enemigo, probablemente con UAS controlados por satélite.

Los primeros éxitos del uso de pequeños UAS en el campo de batalla se vieron pronto contrarrestados por la fuerte presencia de guerra electrónica en el lado ruso.

La inhibición de la señal GPS afectó a los sistemas más sencillos, derivados de los comerciales, que usaban esa información para su posicionamiento y para la navegación.



Imagen 12. UAS OWA iraníes SHAHED 136, Fuente: Wikimedia. Crédito: Tasnim News Agency.

Fue para tratar de contrarrestar la falta de dicha señal, que los equipos de fabricación de UAS derivados de los comerciales incorporaron los conceptos de “vuelo en primera persona” o FPV por sus siglas en inglés (*First Person View*).



Imagen 13. UAS FPV y operador con las gafas de control, sin carga útil instalada. Fuente: Facebook General Staff of the Armed Forces of Ukraine. Permisos solicitados.

En estos sistemas, el guiado se realiza mediante la imagen que le llega al operador, generalmente a través de unas gafas especiales, y ya no dependen de las señales de los satélites GNSS (*Global Navigation Satellite System* – Sistema de Navegación Global por Satélite), que son fácilmente interferibles.

Con esa información y un mínimo conocimiento del terreno, el operador puede controlar el UAS guiándolo visualmente, sin necesidad, como se ha dicho, de disponer de cobertura GPS.

Además, la transmisión de la señal se hace de forma analógica, de tal manera que las posibles interferencias en la señal de video sólo afectan incrementando los niveles de ruido en la pantalla (la conocida nieve de las antiguas televisiones analógicas), aunque según se vayan acercando al inhibidor, la señal de video acaba degradándose completamente.



Imagen 14. UAS comercial letalizado FPV, con cabeza de RPG y batería extragrande. Nótese la espoleta protegida por un plástico para permitir su manipulación. Fuente: Facebook General Staff of the Armed Forces of Ukraine. Permisos solicitados.

En el caso de los FPV, ya no se lanzaba una granada desde el UAV y se recuperaba, sino que se incorporaba un detonador con un sencillo mecanismo que funciona al impacto y la cabeza de guerra (habitualmente una granada de mortero o la cabeza de un RPG, *Rocket-Propelled Grenade*), todo ello unido a la estructura y se le hace chocar contra el objetivo, con la consiguiente pérdida del sistema.

Son los conocidos como drones OWA (*One Way Attack*) o drones de un solo ataque. Una evolución mucho más sencilla y barata de las municiones merodeadoras que se usa desde la pasada década.

Ambos bandos se encuentran ahora inmersos en la tarea de fabricar ingentes cantidades de estos sistemas FPV OWA, llegando a emplear miles de ellos al día.

La siguiente etapa en la evolución de estos OWA es la inclusión de capacidades de proceso a bordo, que faciliten el guiado terminal hacia el objetivo, en caso de pérdida total de la señal de video y/o de control, y el uso de fibra óptica en los enlaces.

Se verán con más detalle en los capítulos dedicados a las misiones y a los retos del futuro.

## **4.2. Israel vs milicias proiraníes. El Conflicto de Gaza (2023) y Líbano (2024)**

El actual conflicto armado entre el ejército de Israel y las diferentes milicias palestinas y proiraníes es el último episodio de un largo enfrentamiento y conflicto que se ha ido extendiendo a lo largo de los últimos años.

La invasión israelí de la franja de Gaza fue la respuesta al ataque terrorista del grupo Hamas del 7 de octubre de 2023. Ese día, al amanecer, los milicianos de Hamas bombardearon las torres de observación equipadas con sofisticadas cámaras visuales e infrarrojas, las costosas estaciones de armas automáticas y los modernos sensores, usando para ello pequeños drones comerciales modificados para el lanzamiento de cargas explosivas.

Esto ocasionó, por un lado, el que los terroristas tuvieran vía libre al territorio de Israel una vez derribaron las verjas y alambradas, y por otro que la respuesta del ejército israelí no fuera lo suficientemente rápida ya que no dispusieron de esa alerta temprana.

El empleo de dichos drones tuvo unas consecuencias muy negativas para la costosa y sofisticada seguridad israelí en torno a la franja.

Los terroristas atravesaron la valla en al menos 80 puntos diferentes, dispersándose a continuación hacia poblaciones cercanas donde sembraron el terror, asesinando y tomando rehenes de la población civil en los asentamientos y también a algunos soldados en los pequeños emplazamientos militares de la frontera.

El uso de drones comerciales modificados permitió en gran medida en éxito del ataque, donde se añadieron otra serie de cuestiones como la escasa presencia de soldados y medios militares israelíes sobre el terreno y la quizás excesiva confianza en sofisticados sistemas automatizados de vigilancia.

A partir de ese ataque, la respuesta israelí desembocó en la invasión de la franja de Gaza a gran escala y propició un enfrentamiento en entorno urbano en el que ambos bandos continuaron empleando UAS. El ejército israelí con sus sofisticados UAS de vigilancia y ataque y los milicianos de Hamas usando derivados comerciales para vigilancia, lanzamiento de explosivos y como drones de ataque por impacto OWA.

En los primeros compases de combates urbanos se llegaron a ver carros de combate israelíes con las torres protegidas con jaulas metálicas y redes, al estilo de lo que se está viendo en la guerra de Ucrania, dado que en gran medida Hamas está copiando tácticas de dicho enfrentamiento, especialmente en lo relativo al empleo de los drones OWA.

Al año siguiente, en 2024, y en respuesta al creciente hostigamiento por parte de la milicia Hizbola desde el sur del Líbano, Israel inició una invasión de esta parte del país, enfrentándose a otra guerra urbana, en la que se continuó empleando UAS por ambas partes. Hizbola siguió atacando con cohetes y con drones de fabricación iraní las ciudades del norte de Israel y el ejército hebreo los empleó para ataques de precisión, vigilancia y designación de objetivos, utilizando sistemas de pequeño tamaño para el apoyo del combate urbano, casa por casa, permitiendo explorar edificios y túneles antes de que entraran las tropas.

Se ha visto de esta manera como esta nueva edad de los UAS, caracterizada por el empleo masivo de pequeños sistemas (masa distribuida) y sus enormes consecuencias, ya forma parte de la estrategia y planificación de la fuerza en los conflictos presentes y futuros.

## 5. LOS UAS MILITARES EN ESPAÑA

Después de hacer un repaso histórico a cómo se han ido desarrollando y empleando los UAS en los conflictos bélicos a lo largo de los últimos tiempos, se trata ahora de resumir que papel han tenido en las Fuerzas Armadas españolas y cómo se las ha ido dotando de estos medios.

En España, las Fuerzas Armadas han ido tomando conciencia de la importancia de los sistemas aéreos no tripulados a lo largo de estas últimas décadas, con diferentes aproximaciones. Los compromisos nacionales en las operaciones en el exterior, en territorio afgano, iraquí, maliense o en el Océano Índico, en el marco de la ONU, la OTAN y la Unión Europea, obligaron a disponer de los primeros sistemas tácticos, que fueron complementándose posteriormente con sistemas de pequeño tamaño, de apoyo al combatiente y ya recientemente con grandes sistemas de carácter más estratégico.

En paralelo a estos primeros programas de adquisición para el apoyo a los despliegues, se iniciaron en Territorio Nacional programas de I+D y experimentación, liderados por la DGAM (Dirección General de Armamento y Material) del Ministerio de Defensa, de los que se hablará más en detalle en el capítulo dedicado a la industria.

### 5.1. Adquisición de Sistemas UAS para el Ejército de Tierra

Desde 2002 y hasta 2021 las FF. AA. españolas han participado en Afganistán, junto con otras fuerzas internacionales, en las misiones Libertad Duradera y Apoyo Decidido. El objetivo de la participación de las naciones aliadas era la lucha contra la insurgencia y la ayuda a la reconstrucción del país.

Como herramienta de apoyo a estas labores, se inició el procedimiento de adquisición por parte del Ejército de Tierra de varios sistemas UAS de diversos tamaños y misiones.

#### 5.1.1. Sistema PASI

El primero de ellos, un sistema para vigilancia ISTAR táctica, denominado Plataforma Autónoma Sensorizada de Inteligencia (PASI).



Imagen 15. Vehículo aéreo del sistema UAS PASI, Ejército de Tierra. Fotografía del autor

|                  |                       |
|------------------|-----------------------|
| FABRICANTE       | IAI (ISRAEL)          |
| MODELO           | SEARCHER MkIII (PASI) |
| CLASE/TIPO       | CLASE II / TACTICO    |
|                  | UAV ALA FIJA          |
| MTOW (kg)        | 427                   |
| AUTONOMÍA (h)    | 12                    |
| ALCANCE (Km)     | 250                   |
| TECHO (pies)     | 23000                 |
| CARGA ÚTIL       | CÁMARA EO/IR (120 kg) |
| MODO DESPEGUE    | PISTA                 |
| MODO ATERRIZAJE  | PISTA                 |
| PROPULSIÓN       | MOTOR TÉRMICO         |
| ENTRADA SERVICIO | 2008                  |

Tabla 2. Ficha técnica sistema PASI. Elaboración propia a partir de fuentes abiertas

El Ministerio de Defensa adjudicó el contrato a la UTE (Unión Temporal de Empresas) formada por INDRA y EADS-CASA (actual AIRBUS Defence and Space) para la adquisición del PASI, basado en el sistema SEARCHER MkIII de Israel Aerospace Industries (IAI).

En 2008 se produce el despliegue y comienzo de operaciones del sistema PASI en Afganistán. La principal misión otorgada es el apoyo al despliegue terrestre de las tropas multinacionales de la ISAF (*International Security Assistance Force*) y sobre todo de las españolas destacadas en la provincia de Baghdis.

Se llevaron a cabo 943 misiones ISR y se completaron 5394 horas de vuelo por parte de las diferentes tripulaciones del Ejército de Tierra, hasta su repatriación a Territorio Nacional, teniendo lugar la última misión realiza el 18 de junio de 2014.

Una vez en España, concluida la misión en Afganistán, el PASI comenzó a probar sus capacidades lejos de un entorno bélico. Se inició entonces un proceso de certificación con el INTA<sup>14</sup> (Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial) mediante

14. El INTA es un órgano técnico competente para el Consejo de Aeronavegabilidad y por ello se encarga de evaluar los procesos de solicitud de certificaciones de aeronavegabilidad en el ámbito de la defensa.



el cual se obtuvo el primer certificado de aeronavegabilidad experimental (CAE) en 2012. Posteriormente, a propuesta del MALE (Mando del Apoyo Logístico) del Ejército de Tierra, el INTA dio el visto bueno al proceso de obtención del certificado de Aeronavegabilidad por Prueba Equivalente al Certificado de Tipo, que fue aceptado finalmente el 22 de marzo de 2022.

Desde el 1 de octubre de 2015, el Grupo de Obtención por Sistemas Aéreos (GROSA) es el encargado de operar el PASI.

En su despliegue en Territorio Nacional, además del uso para vuelos de prueba y validación o de instrucción, el sistema PASI ha sido usado en diversas actuaciones, como su despliegue en Galicia entre el 1 de agosto y el 1 de octubre de 2022, en la “Operación Centinela Gallego 2022” para luchar contra los incendios forestales.

En la actualidad (finales de 2024) el PASI se encuentra próximo al final de su dilatada vida operativa, habiendo recibido actualizaciones de equipos y de software para evitar la obsolescencia a lo largo de estos últimos años. Está previsto que a partir del año 2026 comience su sustitución por el sistema español SIRTAP, de AIRBUS Defence and Space, tras la firma del contrato a finales del año 2023.

5.1.2. Sistema RAVEN

Otro sistema UAS adquirido para el apoyo en los despliegues fue el sistema RAVEN, fabricado por la estadounidense Aerovironment.

El RAVEN B RQ-11, fue en su época, el sistema UAS militar más vendido en todo el mundo occidental. Este sistema se diseñó para misiones de ISR, a baja altitud, las cuales exigen un despliegue rápido y alta movilidad, así como para la adquisición de objetivos, protección de fuerzas, seguridad de convoyes, evaluación de daños y operaciones militares en zonas urbanas (MOUT, *Military Operations in Urban Terrain*).



Imagen 16. Lanzamiento de un UAS Mini RAVEN en las maniobras Quick Lion 22 en San Gregorio, Zaragoza. Fuente: FLICKR Ejército de Tierra. Jose Hontiyuelo. DECET

|                  |                                |
|------------------|--------------------------------|
| FABRICANTE       | AEROVIRONMENT (EE. UU.)        |
| MODELO           | RAVEN                          |
| CLASE/TIPO       | CLASE I / MINI<br>UAV ALA FIJA |
| MTOW (kg)        | 2,2                            |
| AUTONOMÍA (h)    | 1,25                           |
| ALCANCE (Km)     | 10                             |
| TECHO (pies)     | 1000                           |
| CARGA ÚTIL       | CÁMARA EO/IR                   |
| MODO DESPEGUE    | LANZAMIENTO MANUAL             |
| MODO ATERRIZAJE  | PÉRDIDA Y TOMA DURA.           |
| PROPULSIÓN       | ELÉCTRICA                      |
| ENTRADA SERVICIO | 2008                           |

Tabla 3. Ficha técnica sistema RAVEN. Elaboración propia a partir de fuentes abiertas

Debido a sus características, se trata de un UAV ligero y fácil de manejar, siendo transportable en una mochila. El sistema se despliega en pocos minutos, sin necesidad de equipos especiales, y en cualquier terreno, ya que su lanzamiento es manual y la recogida es mediante aterrizaje por entrada en perdida, con “toma dura” dónde el UAV se desmonta, siendo todas sus partes recuperables.

Las Fuerzas Armadas han dispuesto de cerca de 80 modelos de RAVEN, habiendo sido el Ejército de Tierra su principal usuario con 72 aeronaves (24 sistemas) y el Ejército del Aire y del Espacio con nueve aeronaves (tres sistemas).

Fue a principios de 2008 cuando empezaron a llegar las primeras unidades al Ejército de Tierra, en concreto catorce sistemas, que enseguida fueron desplegados en Afganistán dónde se constituyeron como un sistema imprescindible.

Posteriormente se adquirieron otros diez sistemas esta vez de la versión digital RAVEN RQ-11B DDL (*Digital Data Link – Enlace de Datos Digital*) a la que también se modernizaron los ejemplares adquiridos inicialmente de la versión analógica. Del nuevo sistema se destacan las comunicaciones encriptadas y el uso como relé, con el que dos aeronaves posibilitan doblar el alcance, así como la nueva cámara Gimbal orientable, con lo que se puede realizar el vuelo loiter, o de tipo tracking, en el que el sensor Gimbal establece el seguimiento constante de un objetivo designado por el operador (manteniendo altitud, posición y grados).

El sistema RAVEN se encuentra en servicio actualmente en diferentes unidades del ET, siendo la Brigada Paracaidista “Almogávares” VI (BRIPAC) junto con la Legión, las

principales. Entre las misiones en las que ha participado destacan Afganistán, Irak, Presencia Avanzada Reforzada en Letonia y la misión EUTM (*European Union Training Mission*) en Mali.

5.1.3. Sistema ORBITER 3

El Ministerio de Defensa, a finales de 2018, seleccionó el UAS ORBITER 3B como la nueva herramienta de protección para las tropas desplegadas en el exterior, ante la necesidad de disponer de un sistema mayor que el RAVEN, con mejores prestaciones en autonomía y alcance, sobre todo para la protección de convoyes y la vigilancia a mayor distancia y tiempo.

Este sistema es parte de la familia de UAS ORBITER, del fabricante israelí Aeronautics.



Imagen 17. Sistemas UAS Orbiter 3. Fuente: Mando de Operaciones Especiales.

|                  |                                    |
|------------------|------------------------------------|
| FABRICANTE       | AERONAUTICS (ISRAEL)               |
| MODELO           | ORBITER 3                          |
| CLASE/TIPO       | CLASE I / SMALL<br>UAV ALA VOLANTE |
| MTOW (kg)        | 32                                 |
| AUTONOMÍA (h)    | 6                                  |
| ALCANCE (Km)     | 100                                |
| TECHO MAX (pies) | 18000                              |
| CARGA ÚTIL       | CÁMARA EO/IR (5,5 kg)              |
| MODO DESPEGUE    | CATAPULTA                          |
| MODO ATERRIZAJE  | PARACAIDAS                         |
| PROPULSIÓN       | ELÉCTRICA                          |
| ENTRADA SERVICIO | 2018                               |

Tabla 4. Ficha técnica sistema Orbiter 3. Elaboración propia a partir de fuentes abiertas



Imagen 18. UAS Orbiter 3 en servicio en ET. Expuesto en feria militar. Fuente: Ministerio de Defensa

Tras cuatro años de operación del sistema ORBITER 3B, el Ejército de Tierra aumentó la flota adquiriendo tres aeronaves más equipadas con cámaras T-Stamp.

La adquisición de estas aeronaves de la versión 3B se incluyó en un contrato más amplio, de suministro de repuestos, componentes y accesorios para la flota de UAS de este modelo ya en servicio.

La carga útil del sistema se compone de un sensor triple estabilizado, diurno y nocturno con designación láser. Posee unas cámaras de gran resolución, con seguimiento automático de objetivos, detección de movimiento en video, composición de mosaico de video, *D-Roll* y estabilización de imagen, etc.

5.1.4. Sistema BLACK HORNET 3

Para terminar de enumerar las adquisiciones más relevantes de UAS por parte del Ejército de Tierra, hay que mencionar el sistema de categoría MICRO, Black Hornet 3, de la empresa FLIR, aunque fabricado en Noruega por su filial PROX Dynamics AS.



Imagen 19. UAS micro Black Hornet, en las maniobras Quick Lion 22. San Gregorio, Zaragoza. Fuente Ministerio de Defensa

En los últimos años, varias unidades de las Fuerzas Armadas, encuadradas en el Ejército de Tierra (Mando de Operaciones Especiales), en el Ejército del Aire y del Espacio (EZAPAC, Escuadrón de Zapadores Paracaidistas y EADA, Escuadrón de Apoyo al Despliegue Aéreo) y en la Armada (Infantería de Marina) han recibido un número importante estos sistemas Black Hornet, en sus versiones 2 y 3.

Debido a su extremadamente pequeño tamaño y bajo nivel de ruido, es una herramienta de vigilancia y reconocimiento única, prácticamente indetectable a pocos metros, pudiendo volar incluso con rachas de viento y lluvia ligera.

|                     |                                |
|---------------------|--------------------------------|
| FABRICANTE          | PROX DYNAMICS AS (NORUEGA)     |
| MODELO              | BLACK HORNET 3                 |
| CLASE/TIPO          | CLASE I / MICRO<br>NANOCÓPTERO |
| MTOW (kg)           | 0.030                          |
| AUTONOMÍA (minutos) | 25                             |
| ALCANCE (Km)        | 2                              |
| TECHO MAX (pies)    | 1000                           |
| CARGA ÚTIL          | CÁMARA EO ó IR                 |
| MODO DESPEGUE       | MANUAL                         |
| MODO ATERRIZAJE     | MANUAL                         |
| PROPULSIÓN          | ELÉCTRICA                      |
| ENTRADA SERVICIO    | 2016 (BH 2)                    |

Tabla 5. Ficha técnica sistema Black Hornet 3.  
Elaboración propia a partir de fuentes abiertas

Dispone de cámaras visuales y/o térmicas, capaces de leer una matrícula permaneciendo a 30 m de altura, y es capaz de volar en el interior de edificios, sin cobertura GNSS, haciendo uso de navegación por referencias visuales.

5.2. Adquisición de Sistemas UAS para la Armada

La Armada española dispone de sistemas UAS, destinados en la 11ª escuadrilla de aeronaves.

Estos sistemas son el blanco aéreo español SCR SCRAB II<sup>15</sup>, el sistema UAS Boeing Insitu ScanEagle<sup>16</sup> y recientemente ha adquirido también el sistema español M5D Airfox, instalado en el BAN Audaz.

5.2.1. INSITU ScanEagle



Imagen 20. UAS Insitu ScanEagle en vuelo. Fuente: Wikipedia. Crédito: navair.navy.mil. 2016

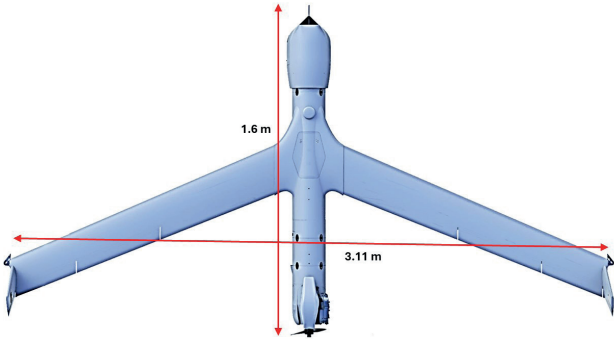


Imagen 21. UAS ScanEagle. Fotografía y esquema. Fuente: elaboración propia.

|                  |                                 |
|------------------|---------------------------------|
| FABRICANTE       | INSITU (BOEING) (EE. UU.)       |
| MODELO           | SCAN EAGLE                      |
| CLASE/TIPO       | CLASE I / SMALL<br>UAV ALA FIJA |
| MTOW (kg)        | 26,5                            |
| AUTONOMÍA (h)    | 18                              |
| ALCANCE (Km)     | 88                              |
| TECHO MAX (pies) | 19000                           |
| CARGA ÚTIL       | CÁMARA EO/IR (5 kg)             |
| MODO DESPEGUE    | CATAPULTA                       |
| MODO ATERRIZAJE  | GANCHO                          |
| PROPULSIÓN       | MOTOR TÉRMICO                   |
| ENTRADA SERVICIO | 2015                            |

Tabla 6. Ficha técnica sistema Scan Eagle. Elaboración propia a partir de fuentes abiertas

15. <https://scrdrone.com/producto-item/scrab-ii/>  
16. <https://www.insitu.com/products/scaneagle>



El 10 de Julio de 2014 se promulgó la Resolución para la creación y entrada en servicio de la 11ª Escuadrilla de Aeronaves, a la cual se ordenó su integración con la antigua Agrupación de Blancos de Tiro Naval ubicada en Torregorda (Cádiz).

El 7 de enero de 2015 se recibió el primer sistema junto con todo el material logístico necesario para realizar su instalación a bordo del buque “Galicia” para dar comienzo a las pruebas.

Tras el éxito de las pruebas la unidad desplegó el 20 de abril de 2015 a su primera misión real: la Operación Atalanta. La Undécima escuadrilla volvió a participar en dicha operación en 2016, a bordo de la Fragata Santa María, y en 2017 a bordo una vez más del buque de asalto anfibio BAA Galicia. A finales de 2017 la escuadrilla desplegó por primera vez por tierra como UNADEST (Unidad Aérea Destacada), dentro de la operación A/I como unidad perteneciente al SOTG (*Special Operations Task Group* – Grupo de Acción de Operaciones Especiales) 431 de Operaciones Especiales en Irak. En verano de 2019 finalizó dicha operación en territorio iraquí.

A partir de febrero de 2020 volvió a embarcar en los buques de la Flota, desplegados en aguas de Somalia, en el marco de la Operación Atalanta.

5.2.2. AIRFOX M5D

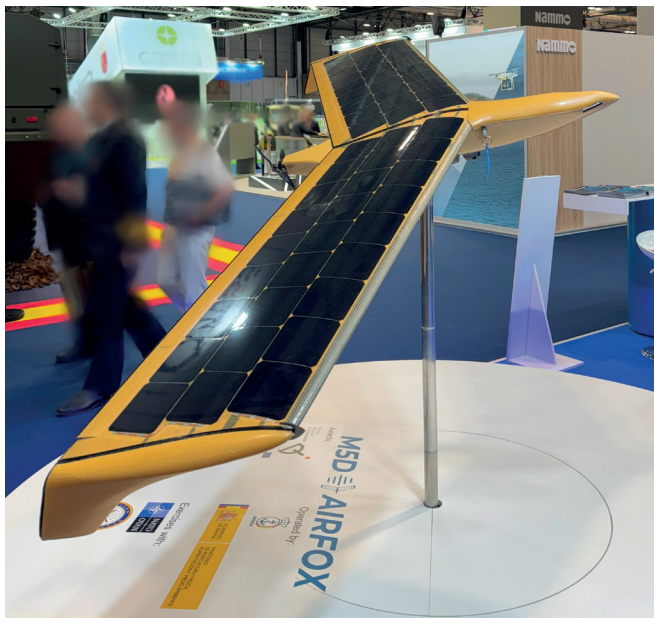


Imagen 22. UAS Airfox M5D. Fotografía del autor, en FEINDEF25

|                  |                                   |
|------------------|-----------------------------------|
| FABRICANTE       | MARINE INSTRUMENTS                |
| MODELO           | AIRFOX M5D                        |
| CLASE/TIPO       | CLASE I / MINI<br>UAV ALA VOLANTE |
| MTOW (kg)        | 4                                 |
| AUTONOMÍA (h)    | 1,5 – 10 (placas solares)         |
| ALCANCE (Km)     | 33                                |
| TECHO MAX (pies) | ---                               |
| CARGA ÚTIL       | CÁMARA EO                         |
| MODO DESPEGUE    | CATAPULTA                         |
| MODO ATERRIZAJE  | RED                               |
| PROPULSIÓN       | ELÉCTRICO                         |
| ENTRADA SERVICIO | 2022                              |

Tabla 7. Ficha técnica sistema Airfox M5D. Elaboración propia a partir de fuentes abiertas

A finales del año 2022, la Armada adquirió tres unidades del sistema Marine Instruments AIRFOX M5D, para la Fuerza de Medidas Contra Minas.

La Fuerza de Infantería de Marina, por su parte, dispone también de sistemas UAS de pequeño tamaño, estando operativos los dos modelos siguientes:

5.2.3. Skywatch Huggin X-1

Cuadricóptero de categoría MICRO, de pequeño tamaño de la empresa danesa Skywatch.

El Ejército de Tierra también lo opera en su versión mejorada V3.

|                  |                                  |
|------------------|----------------------------------|
| FABRICANTE       | SKYWATCH                         |
| MODELO           | HUGGIN X1                        |
| CLASE/TIPO       | CLASE I / MICRO<br>CUADRICÓPTERO |
| MTOW (kg)        | 0,94                             |
| AUTONOMÍA        | 25 min                           |
| ALCANCE (Km)     | 5                                |
| TECHO MAX (pies) | ---                              |
| CARGA ÚTIL       | CÁMARA EO/IR                     |
| MODO DESPEGUE    | VTOL                             |
| MODO ATERRIZAJE  | VTOL                             |
| PROPULSIÓN       | ELÉCTRICO                        |
| ENTRADA SERVICIO | 2016                             |

Tabla 8. Ficha técnica sistema Huggin X1. Elaboración propia a partir de fuentes abiertas





Imagen 23. UAS Hugin X-1. Fuente: web Skywatch

### 5.2.4. Aerovironment Wasp AE

El Aerovironment Wasp AE, o RQ-12A en denominación americana, es un sistema UAS micro de ala fija, lanzable con la mano. Dispone también de cámara EO/IR (Electro-óptica, Infrarroja) de prestaciones de acuerdo con su tamaño.

Esta versión AE (*All Environment* - Todo Clima) es resistente al agua y permite recuperarlo del mar en caso de amerizaje.



Imagen 24. UAS Aerovironment Wasp. Fuente: web Aerovironment

|                  |                                 |
|------------------|---------------------------------|
| FABRICANTE       | AEROVIRONMENT                   |
| MODELO           | WASP AE (RQ-12A)                |
| CLASE/TIPO       | CLASE I / MICRO<br>UAV ALA FIJA |
| MTOW (kg)        | 1,3                             |
| AUTONOMÍA        | 50 min                          |
| ALCANCE (Km)     | 5                               |
| TECHO MAX (pies) | ---                             |
| CARGA ÚTIL       | CÁMARA EO/IR                    |
| MODOS DESPEGUE   | MANUAL                          |
| MODOS ATERRIZAJE | PÉRDIDA/TOMA DURA               |
| PROPULSIÓN       | ELÉCTRICO                       |
| ENTRADA SERVICIO | 2016                            |

Tabla 9. Ficha técnica sistema Wasp AE. Elaboración propia a partir de fuentes abiertas

### 5.3. Adquisición de Sistemas UAS para el Ejército del Aire y del Espacio

En el caso del Ejército del Aire y del Espacio, varias de sus unidades disponen desde 2009 de sistemas UAS, usados en operaciones en el exterior.

Los sistemas RAVEN en el EA entraron en servicio en diciembre de 2009, como elemento de vigilancia aérea de protección a la fuerza, siendo el EADA y el EZAPAC, los operadores del sistema.

Entre sus misiones, en el marco de la operación ISAF (Afganistán), destacan los vuelos de reconocimiento en el aeródromo de Qala-e-Naw y zonas adyacentes.

El 6 de abril de 2013 el RAVEN alcanzó las 1.000 horas de vuelo en uso por el EADA.

Otro sistema en uso, como ya se ha comentado, es el BLACK HORNET, cuyas primeras unidades se adquirieron a través del programa RAPAZ de la DGAM y recientemente a través de la Agencia de Compras Conjuntas de la OTAN, NSPA (*NATO Support and Procurement Agency* – Agencia OTAN de Apoyo y Adquisición).

Como se verá en otros capítulos, el principal centro de enseñanza militar para operadores de UAS pertenece al Ejército del Aire y del Espacio y está ubicado en la Base Aérea de Matacán, en Salamanca. Se trata de la Escuela de Sistemas Aéreos no Tripulados.

En dicho centro se encuentran operativos diversos sistemas UAS dedicados a la enseñanza, destacando entre otros los españoles FULMAR, de la empresa WAKE/SYSTEM, ALPHA 900 de la empresa ALPHA UNMANNED SYSTEMS y TUCAN de la empresa SCR, habiendo sido adquiridos a través del programa RAPAZ.

Pero sin duda el sistema UAS de referencia para el Ejército del Aire y del Espacio es actualmente el sistema PREDATOR B, que además es el más grande de los que prestan servicio en nuestras Fuerzas Armadas.

El día 17 de febrero de 2021 tuvo lugar la entrega por parte de la DGAM al Ejército del Aire y del Espacio del sistema UAS MQ-9 PREDATOR B (NR.05 según la denominación nacional).



Imagen 25. UAS MQ-9 PREDATOR B español.  
Fuente: web Ejército del Aire y del Espacio

|                  |                                  |
|------------------|----------------------------------|
| FABRICANTE       | GENERAL ATOMICS (EE.UU.)         |
| MODELO           | MQ-9 PREDATOR B                  |
| CLASE/TIPO       | CLASE III / MALE<br>UAV ALA FIJA |
| MTOW (kg)        | 4760                             |
| AUTONOMÍA (h)    | 34                               |
| ALCANCE (Km)     | >3000                            |
| TECHO MAX (pies) | 52000                            |
| CARGA ÚTIL       | CÁMARA EO/IR / SAR               |
| MODO DESPEGUE    | PISTA                            |
| MODO ATERRIZAJE  | PISTA                            |
| PROPULSIÓN       | MOTOR TÉRMICO                    |
| ENTRADA SERVICIO | 2022                             |

Tabla 10. Ficha técnica sistema PREDATOR B.  
Elaboración propia a partir de fuentes abiertas

Es un sistema que se corresponde con la categoría MALE por su persistencia de misión y altitud de vuelo.

Se encuentra desplegado en el 233 Escuadrón del Ala 23, en la Base Aérea de Talavera La Real y dispone de una Base de Operaciones Avanzada, desde la que podría también desplegarse y operar, localizada en el Aeródromo de Lanzarote, en las Islas Canarias.

En la actualidad no está armado, pero existe la intención de que pueda serlo en un futuro, sobre todo en aplicaciones de vigilancia marítima, con la inclusión del lanzamiento de sonoboyas y torpedos.

También podría tener la capacidad de ser armado con misiles aire tierra AGM-114 Hellfire y bombas guiadas de 230 kg, GBU-12 Paveway II y GBU-38 JDAM (*Joint Direct Attack Munition* – Munición Conjunta de Ataque Directo).

La entrada en servicio del MQ-9 supuso un gran incremento en las capacidades ISR del Ejército del Aire, que no contaba con una plataforma específica de reconocimiento desde la retirada de los RF-4C Phantom II en el año 2002, tras culminar 13 años de misiones de reconocimiento en el 123 Escuadrón del Ala 12 de la Base Aérea de Torrejón de Ardoz.

Estas misiones, además, cuentan con el importante valor añadido de no exponer tripulaciones al riesgo de la operación, al ser plataformas tripuladas remotamente.



Imagen 26. Celebración del primer vuelo del MQ-9 Predator B en España (B.A. Talavera) 30 enero de 2020. Fuente: web Ejército del Aire y del Espacio

5.4. Nuevos programas de adquisición. Programas MINI/MICRO/SMALL y Programas SIRTAP y EURODRONE

En la actualidad (septiembre de 2024) se encuentran en marcha varios programas de adquisición de nuevos sistemas UAS para las Fuerzas Armadas.

Los programas de adquisición conjunto de sistemas más pequeños, para protección de la Fuerza, de categoría NANO, MICRO ala rotatoria y MINI ala fija, han sido delegados por la DGAM a la Dirección de Adquisiciones del Mando Logístico del Ejército (MALE). Los sistemas MICRO ala fija serán comprados por la Armada y el EA.

Se espera que en el año 2025 se incorporen las primeras unidades de estos nuevos sistemas, repartidas también conjuntamente entre los ejércitos, según sus necesidades y la planificación del Estado Mayor Conjunto.

De ellos, ya se han realizado las adquisiciones de los sistemas NANO (modelo Black Hornet 3), a través de la Agencia NSPA, con recepciones de material a lo largo de 2024 a 2026. Al ser adquisición conjunta, estarán repartidos entre los tres ejércitos.

Los sistemas MICRO serán para satisfacer las necesidades operativas de apoyo a la Fuerza, en las unidades tipo Compañía o Subgrupo Táctico del ET, EA y Armada. Mientras que los sistemas MINI lo serán para las unidades tipo Batallón o Grupo Táctico, del ET y de la Armada.

Los programas de adquisición que permanecen en la Oficina de Programa de DGAM son los correspondientes a los sistemas SMALL (entre 25 y 150 kg), el programa SIRTAP y el programa EURODRONE, además del sistema conjunto C-UAS (Contra UAS).

El programa de adquisición de sistemas SMALL está en fase de RFI (*Request for Information*), es decir, de solicitud de información a las posibles empresas fabricantes o suministradoras, para conocer y comparar sus capacidades y posibilidades de mejora en el corto plazo y así poder establecer un pliego de prescripciones técnicas realista.

Durante esta fase se elaborará también el Estudio de Viabilidad, que muestre qué nivel de prestaciones sería realista requerir y cómo ha de ser el proceso de adquisición, tanto de los sistemas, como de las necesidades auxiliares que vengan asociadas al mismo.

En este apartado, cabe destacar que España lidera un programa europeo de desarrollo de un prototipo de nueva generación de este tipo de sistemas, financiados con fondos del programa EDF (*European Defense Funds – Fondos Europeos de Defensa*) de la Comisión Europea y denominado: EDF-2024-DA-C4ISR-SEEU-STEP: *Small enhanced European UAS*<sup>17</sup>.

El objetivo es obtener un prototipo de sistema UAS SMALL de nueva generación, con capacidades y prestaciones superiores a los que ahora están disponibles y que se espera esté disponible para el año 2028.

El siguiente programa de adquisición, por orden de tamaño y coste, es el correspondiente al sistema UAS táctico SIRTAP que está siendo desarrollado por Airbus Defence and Space, con la colaboración de otras empresas españolas y la colombiana CIAC.

Se trata de un UAS táctico, de unos 750 kg de peso máximo al despegue, 7 m de largo y una envergadura de 12 m. Podrá llevar una carga útil de hasta 150 kg, repartidos en varias bahías de carga. Dispondrá de 20 h de autonomía de vuelo y un alcance estimado con el enlace satélite de hasta 2.000 km. Tiene previsto un techo de vuelo máximo de 21.000 pies.



Imagen 27. AIRBUS SIRTAP. Infografía publicada en 2024. © AIRBUS 2024. Fuente: web AIRBUS. Publicada con permiso.

Está basado en unos diseños previos, iniciados en 2012, conocido como Atlante, y que a su vez derivaba del UAS SIVA del INTA (cuyo programa se inició en 1988).

De ese prototipo inicial, derivó el Atlante 2, que fue el origen del actual programa SIRTAP.

|                  |                         |
|------------------|-------------------------|
| FABRICANTE       | AIRBUS                  |
| MODELO           | SIRTAP                  |
| CLASE/TIPO       | CLASE II TÁCTICO        |
| MTOW (kg)        | <750                    |
| AUTONOMÍA (h)    | 20                      |
| ALCANCE (Km)     | 200 (radio) 2000 (SAT)  |
| TECHO (pies)     | 21000                   |
| CARGA ÚTIL       | 1500 kg                 |
| MODO DESPEGUE    | PISTA                   |
| MODO ATERRIZAJE  | PISTA                   |
| PROPULSIÓN       | MOTOR TÉRMICO / HÍBRIDO |
| ENTRADA SERVICIO | 2026/2027               |

Tabla 11. Ficha técnica sistema SIRTAP. Elaboración propia a partir de fuentes abiertas

Actualmente está en vigor un contrato de adquisición, firmado en noviembre de 2023<sup>18</sup>, de nueve sistemas completos, con tres aeronaves cada uno, para el Ejército de Tierra (cinco sistemas) y el Ejército del Aire y del Espacio (cuatro sistemas).

Se espera que las primeras unidades se entreguen en 2027, una vez realizado el proceso de certificación aeronáutica con el INTA, y que los primeros prototipos vuelen a finales de 2025.

El programa ha pasado la fase de diseño, cerrando la CDR (*Critical Design Review* - Revisión Crítica de Diseño) el

17. [https://defence-industry-space.ec.europa.eu/document/download/77afc5d2-30b2-4f3f-917c-2c4368eb18e3\\_en?filename=EDF%202024%20Call%20Topic%20Descriptions.pdf](https://defence-industry-space.ec.europa.eu/document/download/77afc5d2-30b2-4f3f-917c-2c4368eb18e3_en?filename=EDF%202024%20Call%20Topic%20Descriptions.pdf) página 84.

18. <https://www.infodron.es/texto-diario/mostrar/4632743/espana-firma-airbus-compra-27-drones-sirtap>

pasado mes de junio de 2024<sup>19</sup>, y por tanto se encuentra en fase de fabricación.

Por último, la iniciativa más grande y ambiciosa para la obtención de UAS militares en España, el programa internacional EURODRONE. Este programa, que se inició en 2014, está liderado por Francia, Alemania e Italia, a la que posteriormente se unió España. Cuenta también con Japón como país observador.

El objetivo es reducir la dependencia europea en medios aéreos ISR estratégicos de altas prestaciones, unificando en un gran consorcio a fabricantes de primer nivel europeo para desarrollar el sistema.

Desde noviembre de 2015 la gestión y coordinación se lleva desde la agencia OTAN OCCAR (*Organisation for Joint Armament Cooperation* – Organización para la Cooperación Conjunta en Armamento), en colaboración con las oficinas de programa de cada país.

Oficialmente se lanzó en 2016 y ha ido cumpliendo los sucesivos hitos de desarrollo, con una primera fase de definición de requisitos comunes, consensuada entre los países participantes, y que finalizó en 2018 con los hitos SRR (*System Requirement Review* - Revisión de Requisitos del Sistema) y SPDR (*System Preliminary Design Review* - Revisión Preliminar de Diseño del Sistema).

Durante los dos siguientes años, la agencia de coordinación y gestión negoció con las empresas del consorcio y se concluyó con la firma del contrato el 24 de febrero de 2022, inicialmente para la compra de 20 sistemas (60 aeronaves y 40 estaciones de control), siendo AIRBUS Alemania el contratista principal, y como mayores subcontratistas AIRBUS Defence and Space, Leonardo y Dassault.

La firma del contrato se retrasó debido a las críticas del senado francés a lo que consideraban un diseño demasiado caro, grande y difícil de exportar, y que además se hizo siguiendo requisitos alemanes.

En la actualidad (2024) se encuentra en fase de diseño, esperándose iniciar la producción en tanto se apruebe el hito CDR. El primer vuelo del prototipo se espera para 2026/2027 y las primeras entregas se prevén para 2028/2029. La entrada en servicio será por tanto para la próxima década de 2030, cuando sistemas similares en prestaciones y capacidades hayan sido fabricados por americanos e israelíes desde los años 90 del siglo pasado.

El Sistema EURODRONE en la actualidad tiene previstas las siguientes características, aunque aún no se ha cerrado el diseño, como se ha comentado:

|                  |                      |
|------------------|----------------------|
| FABRICANTE       | AIRBUS               |
| MODELO           | EURODRONE            |
| CLASE/TIPO       | CLASE III/ MALE-HALE |
| MTOW (kg)        | 12000                |
| AUTONOMÍA (h)    | >24                  |
| ALCANCE (Km)     | >1000                |
| TECHO (pies)     | 44000                |
| CARGA ÚTIL       | 2300 kg              |
| MODO DESPEGUE    | PISTA                |
| MODO ATERRIZAJE  | PISTA                |
| PROPULSIÓN       | 2 MOTORES TÉRMICOS   |
| ENTRADA SERVICIO | 2030?                |

Tabla 12. Ficha técnica sistema EURODRONE.  
Elaboración propia a partir de fuentes abiertas

Será un sistema multimisión, con capacidad de armamento aire-tierra, vigilancia ISTAR, guerra electrónica, inteligencia de señales, alerta temprana, guerra antisubmarina y guerra antisuperficie, entre otros.

En principio se pretende que esté certificado para su operación en espacio aéreo no segregado, es decir, compartiendo aerovías con aeronaves civiles tripuladas.

En vista de lo que estamos viendo en los últimos conflictos, el protagonismo de estos sistemas ha ido disminuyendo en favor de sistemas más pequeños y tácticos, pero aun así, constituyen una necesaria plataforma de inteligencia estratégica y los únicos puntos negativos que se pueden destacar han sido los retrasos, industriales y políticos, que no han permitido que dicho sistema pudiera estar en servicio y contribuyera lo antes posible a la independencia tecnológica europea en cuanto a grandes sistemas no tripulados de inteligencia estratégica.



Imagen 28. Maqueta del Sistema EURODRONE presentada por AIRBUS en la feria ILA de 2018. Fuente: web AIRBUS. Publicada con permiso.

19. <https://www.infodron.es/texto-diario/mostrar/4894012/sirtap-supera-revision-critica-diseno-fijando-arquitectura-final-sistema>



## CONCLUSIONES

Sirva este capítulo para poner en contexto al lector y para hacer ver que, aunque esta tecnología inició su desarrollo hace tiempo, desde los albores de la tecnología aeronáutica de los vuelos tripulados, la evolución ha sido lenta hasta que las innovaciones tecnológicas la han capacitado hasta lo que puede ofrecer en la actualidad.

Ya a comienzos del presente siglo empieza la auténtica revolución tecnológica, industrial y social en torno a los sistemas no tripulados, tanto desde el punto de vista civil como desde el punto de vista militar.

La guerra entre Rusia y Ucrania ha supuesto un cambio de paradigma, el número de sistemas no tripulados que se están fabricando en dicho frente en estos momentos de la invasión alcanza los varios millones anuales, cifras que hasta ahora sólo se alcanzaban en la fabricación de munición básica, en ningún caso en la fabricación de aeronaves, misiles de crucero o bombas inteligentes.

En Ucrania, la necesidad de innovar con rapidez ha llevado a numerosas iniciativas, trabajo en equipo de pequeñas empresas junto con la universidad y el ejército, cambios en el diseño cada seis semanas, uso de arquitecturas abiertas para hacer más fácil las modificaciones, sistemas compactos e incluso el empleo de fibra óptica para los enlaces de los UAS de ataque cercano, eliminando el riesgo de contramedidas en el enlace de radiofrecuencia.

Desde esa vertiente militar estamos asistiendo, además, al cambio de protagonismo desde los sistemas grandes y complejos, aunque se siguen utilizando los de ataque de un solo uso, hacia sistemas más pequeños, provenientes del mundo comercial civil o incluso artesanal.

En España, se han ido incorporando los UAS militares en nuestras Fuerzas Armadas en buena medida para cubrir necesidades operativas en los despliegues en zona de operaciones.

Además, su empleo a lo largo de estos últimos años en dichas misiones en el exterior, o en las operaciones y ejercicios con nuestros aliados, han ido aportando una experiencia muy importante y necesaria para dar respuesta a estos nuevos desafíos en el complejo mundo actual de la defensa.

Los nuevos programas de adquisición lanzados por la DGAM y el Ejército de Tierra confirman ese interés y aseguran que las capacidades adquiridas por el uso de estos sistemas irán aumentando en un futuro.

# REFERENCIAS

1. Rejado, C. C., Hernandez, L. G., Carmona, A. S., Fernandez, A. C., Lopez, J. L. S., & Cervera, P. C. (2015). *Evolución histórica de los vehículos aéreos no tripulados hasta la actualidad*. DYNA, 91(1), 282-288. <https://doi.org/10.6036/7781>
2. McKinnon, G. (2014). *The Birth of a Drone Nation: American Unmanned Aerial Vehicles Since 1917*. Louisiana State University and Agricultural & Mechanical College. [https://doi.org/10.31390/gradschool\\_theses.403](https://doi.org/10.31390/gradschool_theses.403)
3. Blom, J. D. (2010). *Unmanned Aerial Systems: A Historical Perspective*(Occasional Paper 37). Combat Studies Institute Press. <https://www.armyupress.army.mil/Portals/7/combat-studies-institute/csi-books/OP37.pdf>
4. P. Ehrhard, T. (2010). *Air Force UAVs: the Secret History*. Mitchell Institute Press [https://mitchellaerospacepower.org/wp-content/uploads/2022/08/MS\\_UAV\\_0710.pdf](https://mitchellaerospacepower.org/wp-content/uploads/2022/08/MS_UAV_0710.pdf)
5. Newcome, L. R. (2004). *Unmanned aviation: A Brief History of Unmanned Aerial Vehicles*. AIAA (American Institute of Aeronautics & Astronautics). <https://doi.org/10.2514/4.868894>
6. Jordán, J. (2012, 17 de mayo). *Drones en la guerra de Vietnam*. Global Strategy. <https://global-strategy.org/drones-guerra-vietnam/>
7. Jordán, J. (2012, 9 junio). *Drones israelíes en la batalla del valle de la Bekaa*. Global Strategy. <https://global-strategy.org/drones-israelies-batalla-valle-bekaa/>
8. Becker, E. (1999, 3 de junio). *Crisis in the Balkans: The drones; They're unmanned, they fly low, and they get the picture*. The New York Times. <https://www.nytimes.com/1999/06/03/world/crisis-balkans-drones-they-re-unmanned-they-fly-low-they-get-picture.html>
9. Roper, E. S. A. W. (2023, 28 de septiembre). *Ukraine shows how drones are changing warfare*. TIME. <https://time.com/6317661/eric-schmidt-drones-warfare-voices/>
10. Jankowicz, Mia. (2023, octubre). *Hamas drones take out comms towers, ambush Israel*. Business Insider. <https://www.businessinsider.com/hamas-drones-take-out-comms-towers-ambush-israel-2023-10>
11. Frías Sánchez, C. J. (2024). *Rusia, Ucrania y el campo de batalla "transparente"*. Documento de Opinión IEEE, (18/2024). [https://www.ieee.es/Galerias/fichero/docs\\_opinion/2024/DIEEO18\\_2024\\_CARFRI\\_Rusia.pdf](https://www.ieee.es/Galerias/fichero/docs_opinion/2024/DIEEO18_2024_CARFRI_Rusia.pdf)
12. DGAM (2015) *Plan Director de RPAS Remotely Piloted Aircraft System*. Ministerio de Defensa. <https://working.mde.es/Galerias/dgamdocs/plan-director-RPAS.pdf>
13. Infodron.es. (2023, 29 de noviembre). *Airbus desarrollará para España 27 drones Sirtap por 500 millones de euros*. Infodron.es. <https://www.infodron.es/texto-diario/mostrar/4632743/espana-firma-airbus-compra-27-drones-sirtap>
14. Rogers, J. P. (2024). *De Gruyter Handbook of Drone Warfare*. Walter de Gruyter GmbH & Co KG. <https://doi.org/10.1515/9783110742039>
15. Kunertova, D. (2024). *Learning from the Ukrainian battlefield: Tomorrow's drone warfare, today's innovation challenge* (CSS Study). Center for Security Studies (CSS), ETH Zürich. <https://doi.org/10.3929/ethz-b-000690448>
16. Ministerio de Defensa de España. (2016, diciembre). *Proyecto RAPAZ y tecnologías anti-RPAS. SOPT. Serie de Oportunidades Tecnológicas N.º 15*. Publicaciones Defensa. [https://publicaciones.defensa.gob.es/media/downloadable/files/links/m/o/monografia\\_sopt\\_15.pdf](https://publicaciones.defensa.gob.es/media/downloadable/files/links/m/o/monografia_sopt_15.pdf)

# BIOGRAFÍAS



## DIEGO BUENO PÉREZ

Ingeniero Aeronáutico por la Universidad Politécnica de Madrid, con estudios de grado en administración de empresas por la UNED. Certificado en ingeniería de sistemas por INCOSE y en gestión de proyectos PMP y PRINCE.



Ha trabajado en Isdefe desde 1997, siempre en el área de defensa.

Inicialmente dando asistencia técnica y consultoría en el Mando de Apoyo Logístico del Ejército del Aire, en el programa SIMCA de Mando y Control y en el programa OTAN ACCS, en proyectos de equipamiento de comunicaciones de centros de control de tráfico aéreo, compaginándolo con proyectos de despliegue de radio-ayudas y de actualización de equipamiento ATM y comunicaciones aeronáuticas para las torres de control de las bases aéreas.

Posteriormente, tras alguna colaboración con la Armada en sistemas de comunicaciones Link-11, y algunos meses en proyectos relativos al empleo de UAS por parte de la OSCE en Ucrania (2015), se incorporó en 2016 a la asistencia técnica al Mando del Apoyo Logístico del Ejército, en la Dirección de Ingeniería, dentro del área de plataformas aéreas y más concretamente en los sistemas aéreos no tripulados, donde desempeña su labor en la actualidad.

En el plano académico ha presentado varias publicaciones en los congresos DESEI+D y colabora como ponente en los módulos de Ingeniería de Sistemas para adquisiciones en el Máster de Sistemas Aéreos No Tripulados (MaSAnT) de la Universidad Politécnica de Madrid.





# Concepto, clasificación y arquitectura de UAS militares

Diego Bueno Pérez

"Vas a la guerra durante 12 horas, disparando a objetivos, causando bajas a combatientes enemigos. Luego te metes en el coche y vuelves a casa y en 20 minutos estás sentado a la mesa hablando con tus hijos sobre sus deberes. Así describía su experiencia un piloto de Predator participando en la guerra de Irak, sin salir nunca de Nevada."

P. W. Singer (Político y escritor estadounidense, especialista en Relaciones Internacionales y guerras del siglo XXI)

Después de haber repasado la historia de los sistemas aéreos no tripulados en el ámbito militar y su incorporación en nuestras Fuerzas Armadas, en este capítulo se va a tratar de definirlos y clasificarlos, teniendo en cuenta que el concepto ha ido evolucionando a lo largo del tiempo y su denominación se ha adaptado en cada momento a las diferentes consideraciones operativas, técnicas y sociales.

Se continúa describiendo brevemente la normativa que regula estos sistemas en España y que se basa, principalmente, en el reglamento de la circulación aérea operativa y en el reglamento de aeronavegabilidad de la defensa. También está regulado el uso del espectro electromagnético en las comunicaciones de los UAS.

Posteriormente se incluirá un epígrafe sobre cómo se ha organizado la formación de los operadores militares en España, ya que el factor humano es un elemento clave en estos sistemas.

La clasificación de los UAS siempre ha sido una labor compleja. En parte por la gran variedad de diferentes soluciones técnicas, en cuanto a sus dimensiones y pesos, y también por las variadas funcionalidades y empleos que tienen.

En el ámbito OTAN se adoptó una clasificación que data del año 2009. En la actualidad, la mejora de las prestaciones y, sobre todo, el incremento exponencial del número y variedad de sistemas y sus diferentes funciones y capacidades, la han dejado desfasada y con un uso limitado.

Se proponen diferentes enfoques nuevos para clasificar estos sistemas, siguiendo el ejemplo del sector civil, donde se distinguen según el riesgo de la operación, o categorizándolos según la unidad militar a la que presten servicio.

La arquitectura de los UAS es un tema importante que se trata a continuación y que tiende a ser común en un primer nivel. Se basa principalmente en sus tres componentes, el terrestre, el aéreo y las comunicaciones entre ambos.

Partiendo de esta base, se introduce una arquitectura extendida, incluyendo sistemas externos y agentes que influyen en la operación del sistema. Es un enfoque holístico, es decir, el sistema se analiza en su interrelación con su entorno y no sólo como la suma de sus componentes. De esta forma, se estudian los riesgos internos y externos de una forma más completa, que permite encontrar y aplicar medidas de mitigación tanto a nivel de componentes como en procedimientos, agentes externos, reguladores, etc.



# 1. CONCEPTO Y MARCO NORMATIVO DE LOS UAS MILITARES

## 1.1. Concepto de UAS militar

El Reglamento de la Circulación Aérea Operativa (RCAO)<sup>20</sup>, establecido por el Real Decreto 601/2016, de 2 de diciembre, define los conceptos de UAV y UAS de la siguiente manera:

**Vehículo aéreo no tripulado (UAV).** Vehículo aéreo propulsado que no lleva personal como operador a bordo. Los vehículos aéreos no tripulados incluyen sólo aquellos vehículos controlables en los tres ejes.

Además, un UAV:

- Es capaz de mantenerse en vuelo por medios aerodinámicos.
- Es pilotado de forma remota o incluye un programa de vuelo automático.
- Es reutilizable.
- No está clasificado como un blanco aéreo, un arma guiada o un dispositivo similar de un solo uso diseñado para el lanzamiento de armas.

A efectos de RCAO se considera que son sinónimos de UAV, las palabras «dron» y «vehículo aéreo pilotado remotamente» (RPA, *Remotely Pilot Aircraft*).

**Sistema aéreo no tripulado (UAS).** Aeronave y sus elementos asociados, la cual es operada sin piloto a bordo. Comprende los elementos individuales del UAS, que incluyen el vehículo aéreo no tripulado (UAV), la estación de control y cualquier otro elemento necesario para permitir el vuelo, tales como el enlace de comunicaciones o el sistema de lanzamiento y recuperación.

Por lo tanto, se entiende que en un sistema UAS hay varias partes o subsistemas principales diferenciados. Un componente aéreo, la aeronave sin operador a bordo, un componente terrestre, con los elementos de control y monitorización, y normalmente con un operador humano responsable, y un enlace de comunicaciones, que conecta los componentes aéreo y terrestre y así permite el control del vuelo y la misión por parte del operador.

Se pueden usar diferentes términos para hablar de estos sistemas, aunque no todos ellos son equivalentes.

El término UAV se empezó a usar a partir de 1990, para sustituir el término RPV (*Remote Piloted Vehicle*), que se usó durante y después de la Guerra de Vietnam.

Actualmente, UAV se emplea para referirnos únicamente al componente aéreo, aunque se ha ido sustituyendo por la denominación UA (*Unmanned Aircraft* - Aeronave no tripulada), para enfatizar el hecho de que es más que un simple vehículo, y que puede tener la complejidad de una aeronave convencional.

También se puede emplear RPAS cuando se quiere incidir en el hecho o limitar a que existe siempre un operador humano controlando el sistema desde tierra, y no hay lugar a vuelos autónomos en este caso.

Por último, el término DRON, que tiene diferentes orígenes, según las fuentes consultadas.

Para muchos autores, la palabra deriva del inglés *dron* y se refiere a zángano o macho de la abeja, asimilándolo así a los pequeños UAS, por su característico ruido parecido al rápido batir de alas de estos insectos.

La Real Academia Española de la Lengua lo acepta en su diccionario, a partir de su 23ª edición<sup>21</sup>, con la definición:

**dron:** (del ingl. drone)

1. **m.** Aeronave no tripulada

Otras fuentes sitúan el origen del empleo del término dron en el acrónimo D.R.O.N.E. (*Dynamic Remotely Operated Navigation Equipment*, o Equipo de Navegación Dinámico Pilotado Remotamente), acuñado en el año 1933, cuando se desarrolló el avión radiocontrolado De Havilland DH82B Queen Bee (Abeja Reina).

En cualquier caso, fue un término inicialmente empleado para los aviones blanco no tripulados, fabricados para el entrenamiento de sistemas antiaéreos, y que en la actualidad se aplica en el mundo civil, sobre todo para nombrar cualquier tipo de UAS de pequeño tamaño, en especial multicópteros. También se emplea para todo tipo de vehículos no tripulados, incluidos terrestres, marinos y submarinos.

Uno de los primeros organismos internacionales en incluir formalmente en su ámbito de responsabilidad los conceptos de los sistemas aéreos no tripulados, fue la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI).

20. Reglamento de la Circulación Aérea Operativa (RCAO): <https://www.boe.es/boe/dias/2016/12/03/pdfs/BOE-A-2016-11481.pdf>

21. REAL ACADEMIA ESPAÑOLA: Diccionario de la lengua española, 23.ª ed., [versión 23.8 en línea]. <<https://dle.rae.es>> [mayo 2025]. <https://dle.rae.es/dron?m=form>



OACI define estos sistemas de una forma extensa, incluyendo además sistemas de aeromodelismo radiocontrolados y globos no tripulados, como se puede ver en el siguiente diagrama:

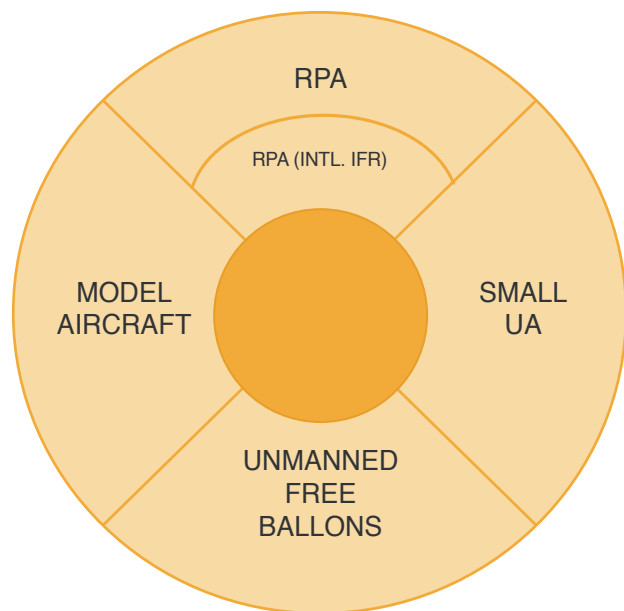


Figura 1. Concepto de UAS según OACI. Fuente: elaboración propia a partir de datos de OACI Unmanned Aviation Bulletin 1/2020<sup>22</sup>

OACI, además, establece dos categorías de aeronaves en su ámbito de actuación. Las aeronaves civiles, a las cuales aplica su normativa o sus regulaciones, y las aeronaves de estado, que tienen un carácter público y son operadas por gobiernos.

Estas últimas no están sujetas a todo el cuerpo normativo civil y pueden ser reguladas independientemente por cada Estado en un proceso de autocertificación, por parte de sus autoridades aeronáuticas.

## 1.2. Normativa aplicable a los UAS militares en España

La normativa más relevante de aplicación a los UAS militares en nuestro país es la siguiente:

**Reglamento de Circulación Aérea Operativa**, que entró en vigor en diciembre de 2016, y establece la reglamentación de los vuelos militares en la Circulación Aérea Operativa.

Una aeronave militar puede volar en dos tipos de circulación aérea, o, dicho de otro modo, bajo dos tipos de normativa aérea aplicable:

1. **La Circulación Aérea General (CAG)**, que engloba a la aviación general y que se regula mediante el Reglamento de Circulación Aérea (RCA)<sup>23</sup> y la reglamentación emanada de la Unión Europea en esta materia.
2. **La Circulación Aérea Operativa (CAO)**, que son los tránsitos aéreos militares, pilotados o no, que por la naturaleza de su misión no operan de acuerdo con el RCA, sino de acuerdo con el Reglamento de la Circulación Aérea Operativa (RCAO). Pueden ser tránsitos aéreos de la CAO los tránsitos de aeronaves de estado o civiles, pilotadas o no, cuando lo autorice la Autoridad Aeronáutica Competente Militar, que por el carácter de su misión (tales como reabastecimiento en vuelo, patrulla y reconocimiento, vuelos de prueba, etc.) no puedan ajustarse al RCA y la normativa europea aplicable.

**Reglamento de Aeronavegabilidad de la Defensa (RAD)**<sup>24</sup>, que entró en vigor en octubre de 2015, y establece, define y regula los diversos certificados que garantizan la seguridad en vuelo de aeronaves y sistemas aéreos militares pilotados por control remoto. Establece también los procedimientos para su expedición, los requisitos que deben cumplir los solicitantes de los certificados, y las normas que han de seguir sus titulares y depositarios para mantener su vigencia y conseguir su renovación.

Los dos certificados más importantes son el Certificado de Tipo y el Certificado de Aeronavegabilidad.

El **Certificado de Tipo** es el documento por el que la Autoridad hace constar que un tipo de producto ha sido diseñado y ensayado siguiendo las normas y procedimientos aprobados y que, por lo tanto, se considera seguro para el vuelo. Se refiere a todas las aeronaves o sistemas UAS fabricados según ese diseño aprobado.

El **Certificado de Aeronavegabilidad** es el documento que sirve para identificar técnicamente una aeronave o sistema UAS militar, definir sus características y expresar la calificación que merece para su utilización, deducida de la inspección en tierra y de las correspondientes pruebas en tierra y en vuelo. Es, por tanto, otorgado a una aeronave en concreto. Para mantenerlo, el usuario ha de realizar las labores de mantenimiento establecidas por el fabricante y aprobadas por la Autoridad (Aeronavegabilidad Continuada).

**Normas del Jefe de Estado Mayor del Ejército del Aire y del Espacio**, como Autoridad Aeronáutica Competente

22. <https://www.icao.int/safety/UA/Documents/ICAO%20UA%20Bulletin%202020%201a.pdf>  
 23. Reglamento de la Circulación Aérea (RCA): <https://www.boe.es/buscar/pdf/2002/BOE-A-2002-1097-consolidado.pdf>  
 24. Reglamento de Aeronavegabilidad de la Defensa (RAD): <https://www.boe.es/boe/dias/2015/10/24/pdfs/BOE-A-2015-11426.pdf>

Militar, para la Operación de Sistemas Aéreos No Tripulados (UAS) Militares (febrero 2021).

Donde se establecen las autorizaciones, requisitos y competencias necesarias del personal y de los equipos necesarios para la operación segura de estos sistemas, y tienen por finalidad proporcionar a los UAS militares la libertad de acción necesaria para el cumplimiento de sus misiones, teniendo en cuenta el concepto “Uso Flexible del Espacio Aéreo” (*Flexible Use of Airspace* - FUA) y considerando como primer principio, en tiempo de paz, la seguridad, tanto militar como de los demás usuarios del espacio aéreo, protegiendo la integridad de las personas y los bienes sobrevolados.

**Normativa de Aeronavegabilidad**, parten de la base de los STANAG (*Standard Agreement*, acuerdos de estandarización de la OTAN) 4671, 4703, 4702 y 4746, aunque para cada sistema en particular se pueden fijar unas bases de certificación específicas.

Se desarrolla con más detalle en el epígrafe siguiente.

### 1.3. Aeronavegabilidad de los UAS militares

La aeronavegabilidad es un concepto muy amplio y complejo, que engloba básicamente la capacidad que tiene una aeronave para operar en condiciones seguras.

La autoridad militar de certificación en España corresponde a la DGAM (Dirección General de Armamento y Material), según establece el RAD.

El director general de Armamento y Material es la Autoridad de Aeronavegabilidad de la Defensa (AAD), y está asesorado por el Consejo de Aeronavegabilidad, del cual forman parte como vocales, ingenieros aeronáuticos representantes de todos los ejércitos, así como de la Guardia Civil, el INTA y la Subdirección General de Inspección y Regulación de la DGAM, que está a cargo de la secretaria del Consejo.

En el RAD se establece que cualquier sistema UAS militar en España debe disponer de un Certificado de Aeronavegabilidad en vigor. La emisión del Certificado de Aeronavegabilidad, excepto los de Experimentación y de Exportación, requiere disponer de un Certificado de Tipo o de Tipo Provisional.

Asimismo, el RAD indica que el Certificado de Tipo para los

UAS se refiere al sistema completo; es decir, la aeronave o conjunto de aeronaves, estación o estaciones de control, el enlace de datos y los elementos de lanzamiento y recuperación, si dispone de ellos, y cualquier otro elemento del sistema necesario para el vuelo seguro.

Teniendo en cuenta la gran dificultad y complejidad del proceso de obtención de certificados de tipo aeronáuticos, pensados y diseñados para complejas aeronaves tripuladas, se ha hecho necesario simplificar el problema de la aeronavegabilidad para sistemas de pequeño tamaño y peso (i.e., de MTOM  $\leq$  25 kg).

El INTA puede establecer procedimientos de pruebas equivalentes para la obtención de certificados de aeronavegabilidad para sistemas con esa limitación de peso, en los cuales se evalúa una lista de documentación mínima a aportar por el fabricante que se pueden complementar con pruebas en vuelo adicionales como medios de cumplimiento.

Por otro lado, sistemas de similares características, en un entorno recreativo o profesional civil, no requieren de actividades de certificación y sí de estudios operativos para garantizar que el sistema, en dichas condiciones, es seguro, no afectando a terceras partes.

Para sistemas con aeronaves de peso superior, se establecen unas bases de certificación con la autoridad delegada por el Consejo de Aeronavegabilidad de la Defensa, que normalmente es el INTA o la SDG INREG/DGAM<sup>25</sup>, que ejercen como órganos técnicos competentes (OTCs).

Normalmente se parte de los requisitos contenidos en los acuerdos de estandarización STANAG OTAN, en función del tipo de aeronave, y se pueden ir proponiendo, negociando y flexibilizando algunos de ellos, en base a la documentación de diseño presentada por el fabricante/diseñador del sistema.

Los STANAG de referencia para la aeronavegabilidad de UAS militares en OTAN son los siguientes:

25. <https://www.defensa.gob.es/ministerio/organigrama/sedef/dgam/sdginspeccion/>

| STANAG<br>(Fecha de Aprobación)           | Nombre                                                                                                              | Aplicable a:                                                | Deriva de:                                                                                                                  | Nº de Requisitos                                                                     |
|-------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>STANAG 4671</b><br>Ed.3<br>(1/02/2022) | <b>UAV Systems Airworthiness Requirements (USAR) for NATO Military UAV Systems</b>                                  | ALA FIJA<br>$150 < \text{MTOW} \leq 20.000 \text{ kg}$      | CS-23, añadiendo anexos para sistema tierra, enlace de comunicaciones y transporte seguro del sistema.                      | 384 REQUISITOS a los que asignar un MEDIO DE CUMPLIMIENTO frente a los 393 de CS-23. |
| <b>STANAG 4703</b><br>Ed.1<br>(4/12/2014) | <b>Light UAV Systems Airworthiness Requirements (USAR-LIGHT) for NATO Military UAV Systems</b>                      | ALA FIJA<br>$\text{MTOW} \leq 150 \text{ kg}$               | ESSENTIAL REQUIREMENTS FOR CIVIL AVIATION AIRWORTHINESS Anexo I de la Reg.Europea (EC) nº 216/2008 de 20 de Febrero de 2008 | 69 MOCS (medios de cumplimiento)                                                     |
| <b>STANAG 4702</b><br>Ed.1<br>(4/12/2014) | <b>ROTARY WING UNMANNED AIRCRAFT SYSTEMS AIRWORTHINESS REQUIREMENTS (USAR-RW)</b>                                   | ALA ROTATORIA<br>$150 < \text{MTOW} \leq 20.000 \text{ kg}$ | CS-27 (FAR Part 27) añadiendo anexos para sistema tierra, enlace de comunicaciones y transporte seguro del sistema.         | 399 REQUISITOS a los que asignar un MEDIO DE CUMPLIMIENTO frente a los 368 de CS-27. |
| <b>STANAG 4746</b><br>(No aprobado)       | <b>UNMANNED AERIAL VEHICLE. SYSTEM AIRWORTHINESS REQUIREMENTS FOR. LIGHT VERTICAL TAKE OFF AND LANDING AIRCRAFT</b> | ALA ROTATORIA<br>$\text{MTOW} \leq 150 \text{ kg}$          | ESSENTIAL REQUIREMENTS FOR CIVIL AVIATION AIRWORTHINESS Anexo I de la Reg.Europea (EC) nº 216/2008 de 20 de Febrero de 2008 | 69 MOCS (medios de cumplimiento)                                                     |

Tabla 13. Tabla de Normativa OTAN para Aeronavegabilidad Sistemas Aéreos No tripulados. Fuente: elaboración propia.

Si se analizan dichos documentos se puede ver que, aplicando estrictamente los STANAG de aeronavegabilidad, el esfuerzo y la carga de trabajo en la certificación es del mismo orden que los requeridos para la aviación tripulada, o en algunos casos superior, al tener requisitos de estación de tierra y comunicaciones.

Incluso para el equipo de tierra informático y electrónico, estación de control y sistema de comunicaciones, se requieren calificaciones aeronáuticas, que para la mayoría de los sistemas de pequeño tamaño es impensable, si se valoran los costes y esfuerzos que esto supone.

Es necesario hacer una consideración final, expresada desde el punto de vista de los fabricantes y los usuarios de los sistemas de mediano y pequeño tamaño, en el sentido de poder reducir este nivel de exigencia. Sería conveniente en ese caso, elaborar normativa específica que tenga en cuenta el riesgo de la operación, o negociar unas bases de certificación no tan extensas, tratando de no limitarse a transponer los actuales requisitos de la aviación tripulada, pensada para sistemas mucho más grandes y capaces, con posibilidades de vuelo en los espacios aéreos no segregados.

#### 1.4. Formación y licencias de operación de UAS militares

Tras las primeras compras de UAS militares por nuestras Fuerzas Armadas, se vio la urgente necesidad de formar a operadores que pudieran manejarlos y a su vez pudieran formar a nuevos operadores.

Las primeras promociones de operadores se entrenaron en Israel o EE. UU., dependiendo de la procedencia de los primeros sistemas (PASI-Searcher en Israel y RAVEN en Estados Unidos), y al amparo de los contratos de adquisición correspondientes.

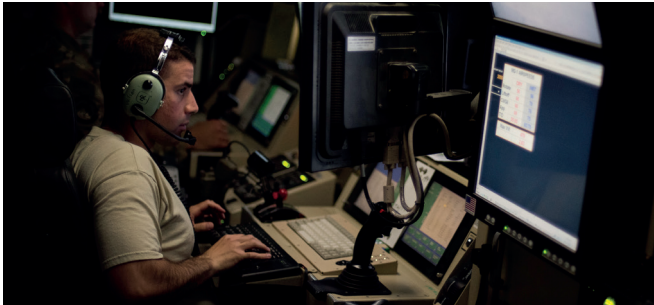


Imagen 29. Operador de carga útil de Predator en vuelo simulado. Fuente: U.S. Air Force photo/Senior Airman Damon Kasberg). Dominio público.

En paralelo, a partir de 2010, se inician los estudios y acciones conducentes a crear una escuela de operadores nacional, incluida dentro del Grupo de Escuelas de Matacán (GRUEMA, Salamanca), del Ejército del Aire y del Espacio.

En el 2012 se inaugura la Escuela UAS GRUEMA, creada oficialmente mediante la Orden Ministerial 18/2012<sup>26</sup>.

El objetivo del Centro es llevar a cabo la formación básica, teórica y práctica, de los operadores de UAS para las dos titulaciones que establece la citada Orden. Los planes de estudio asociados a la obtención y convalidación de las titulaciones aeronáuticas del personal militar español operador de UAS, se han desarrollado basándose en las recomendaciones establecidas en el STANAG 4670 sobre *Guidance for the training of Unmanned Aircraft Systems (UAS) Operators* – Guía para el entrenamiento de Operadores de UAS.

Desde entonces, los operadores de UAS militares españoles han pasado por dicho centro, ya sea mediante formación presencial o cursos online (con examen presencial) para los sistemas más pequeños.

El modelo de enseñanza adoptado por España para la formación de operadores de UAS es similar al de la formación de pilotos de aviación convencional.

Primero, los alumnos reciben una formación inicial que les permite obtener la licencia de operador de UAS (DUO – *Designated UAS Operator* – Operador UAS Designado)<sup>27</sup>, seguida de una formación específica en el modelo que operarán. Esta formación inicial, adaptada en 2019 según especificaciones de la OTAN, busca proporcionar conocimientos y habilidades genéricas para que los operadores puedan adaptarse a cualquier modelo de UAS.

Los cursos establecidos son los siguientes:

- Curso de operador de sistemas Clase I Micro: para sistemas multirrotor pequeños, dura 3 semanas y es completamente online.
- Curso de operador de sistemas Clase I Mini: para sistemas de hasta 15 kg, consta de 3 semanas online y 2 semanas presenciales.

- Curso de operador de sistemas Clase I Small: para sistemas de hasta 150 kg, incluye 5 semanas del curso Mini más 3 semanas presenciales adicionales.
- Curso de operador de sistemas Clase II Táctico: para sistemas de ala fija de 150 a 600 kg, requiere 7 semanas online y 11 semanas presenciales.
- Curso de operador de sistemas Clase III HALE-MALE: para sistemas que comparten espacio aéreo con aviones grandes y tienen un alcance ilimitado. Requiere un mes de formación presencial y está limitado a personal con licencia de piloto militar.

La Escuela Militar de UAS se diseñó con una capacidad para formar a 200 alumnos anualmente y cuenta con avanzados sistemas de simulación y vuelo real. Para el curso de Clase I Mini utiliza un simulador de la empresa Aegis que permite el entrenamiento simultáneo de 10 alumnos.

Por otra parte, y debido al gran número de sistemas UAS en uso o previstos, el ET dispone también de un centro de formación de UAS integrado en la ACAVIET (Academia de Aviación del Ejército de Tierra), situada en la Base coronel Maté en Colmenar Viejo (Madrid).

Por Real Decreto 595/2016, de 2 de diciembre, se crea la especialidad fundamental de «Aviación del Ejército de Tierra» (AVIET), dentro del Cuerpo General del Ejército de Tierra, para las escalas de oficiales y suboficiales, en sustitución, para estos últimos, de la de Helicópteros, creada 3 años antes.

Según artículo único del Real Decreto 894/2017, de 6 de octubre, se adopta la denominación actual de «Academia de Aviación del Ejército de Tierra» (ACAVIET), con competencia para impartir la enseñanza de formación de la citada especialidad fundamental, tanto para la escala de oficiales como la de suboficiales, así como la enseñanza de perfeccionamiento del campo de actividad de las FAMET y de los sistemas aéreos no tripulados del ET.

Por Resolución 561/01408/18, de 31 de enero, se incluye a la ACAVIET entre los Centros Docentes Militares (CDM) de formación, con los siguientes objetivos:

- Capacitar y mantener al personal del Ejército para desempeñar las misiones específicas de las Unidades de Helicópteros y UAV del ET.
- Gestionar y operar los sistemas de simulación de las aeronaves del E.T.

En cuanto a UAS militares, los cursos que se imparten incluyen cursos de mantenimiento de aviones no tripulados y cursos de operadores de aviones no tripulados.

26. <https://publicaciones.defensa.gob.es/media/downloadable/files/links/P/D/PDF421.pdf#page=240>

27. DUO (Según el Reglamento de Circulación Aérea Operativa. RCAO): el Operador de sistemas aéreos no tripulados (DUO) es aquella persona designada específicamente para operar remotamente los controles y mandos de vuelo de una aeronave no tripulada, ejecutando la misión programada con las adecuadas garantías de seguridad y eficacia operativa. Con la consideración de piloto al mando y comandante de aeronave se le atribuyen las responsabilidades inherentes y específicas para este puesto recogidas en el RCAO.



Esta formación es, en la mayoría de los casos, complementaria a la que se recibe en la Escuela UAS GRUEMA que es la encargada de otorgar las licencias correspondientes.

En ambas escuelas se dispone de medios humanos y materiales para facilitar la formación. Además de operadores de UAS, capacitados como formadores, se dispone de UAS específicos para todas las categorías de las cuales se proporciona licencia y medios de simulación avanzados.

## 1.5. Gestión del Espacio Radioeléctrico

Como se verá más adelante, uno de los componentes básicos de un sistema UAS es el enlace de comunicaciones o *data-link*, que enlaza el segmento terrestre de control con el segmento aéreo o aeronave.

En lo que se refiere a las frecuencias radioeléctricas de operación de estos sistemas, se plantea un problema adicional para operar, no solo en España, sino a nivel europeo, puesto que muchas de las frecuencias empleadas podrían interferir con otros sistemas que utilizan el espectro radioeléctrico.

Este asunto es competencia de la Agencia NARFA (*National Radio Frequency Agency* – Agencia Nacional de Radiofrecuencias) de OTAN a través del EMACON (Estado Mayor Conjunto), y de la Secretaría de Estado de Telecomunicaciones e Infraestructuras Digitales, dependiente del Ministerio de Transformación Digital.

Hasta el momento se han asignado frecuencias de manera puntual para operar determinados sistemas en zonas específicas de la geografía nacional.

La WRC-2012 (*World Radiocommunication Conference* – Conferencia Mundial de Radiocomunicación 2012) ha asignado la banda 5030-5091 MHz para C2 en línea de vista, LOS y tras las últimas solicitudes se permite la operación en condiciones de “no interferencia”.

# 2. CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS UAS MILITARES

## 2.1. Antecedentes. La clasificación OTAN (2009)

Sobre la clasificación o categorización de UAS militares, no existe un criterio único e internacionalmente aceptado, sino que se usan diferentes taxonomías en función de los diferentes parámetros o características usados para clasificar.

Tradicionalmente, se ha venido empleando una antigua y ya superada clasificación para UAS de uso militar, que en septiembre de 2009 propuso el grupo de trabajo JCGUAV (*Joint Capability Group on UAV* – Grupo Conjunto de Capacitación en UAV) de la OTAN.

La idea, por aquel entonces, era establecer una clasificación básica para comenzar a elaborar estándares, sobre todo de necesidades de formación para licencias de operadores, y de requisitos de certificación de aeronavegabilidad.

En ese contexto, se propuso una clasificación basada en el tamaño, concretamente en el peso máximo al despegue (MTOW, *Maximum Take-Off Weight*), y a la vez se daban referencias de las prestaciones y perfil de vuelo esperado en cada clase, así como ejemplos de sistemas.

Es importante entender que se diferenciaban las categorías por peso, pero se trataba de clasificar también por capacidades de misión, de las que era capaz cada tipo de UAS.

Se establecieron 3 categorías principales:

- **CLASE I**, los de peso menor de 150 kg, que se subdividió a su vez en otras tres subcategorías: MICRO, los más pequeños, hasta 2 kg de peso, MINI, entre 2 kg y 20 kg y SMALL entre 20 kg y 150 kg.
- **CLASE II**, también llamados TÁCTICOS, con un peso máximo al despegue comprendido entre 150 kg y 600 kg.
- **CLASE III**, con peso máximo al despegue superior a 600 kg, subdividida también en tres subcategorías, sin distinguir peso sino categorizados por la altitud de vuelo y por la capacidad de combate. Así se tienen los UCAV (*Unmanned Combat Air Vehicle*), o UAS de combate, los UAS HALE (*High Altitude, Long Endurance*, gran altitud, larga autonomía, por encima de los 45.000 pies, y larga duración de misión) y UAS MALE (*Medium Altitude, Long Endurance*, altitud media, alta autonomía, entre 10.000 y 45.000 pies, y larga duración de misión).

## 2.2. Actualización de la clasificación OTAN (2012). Energía Cinética

Posteriormente, a partir de 2012, la clasificación cambió ligeramente en las categorías inferiores, estableciéndose una distinción entre CLASE I MICRO y CLASE I MINI basada en la energía cinética desarrollada en el vuelo, es decir, el producto de la masa desplazada por el cuadrado de la velocidad. Así se estableció que la frontera entre MICRO y MINI se situara en los 66 Julios.

Esta energía supone, aplicando la fórmula:  $\frac{1}{2}m \cdot v^2$ , que un UAS de ala fija de un (1) kg de peso, se desplaza a una velocidad máxima de unos 41 km/h (11.4 m/s).

El valor de 66 julios está establecido cómo el límite inferior de la energía de un impacto en la cabeza que no ocasione lesiones fatales. Se basa en estudios realizados en lanzamiento de una pelota de baseball reglamentaria, por diversas categorías de personas y corresponde a la energía que alcanzaría la pelota tras el lanzamiento de la misma por parte de un adolescente (Sanchiz, 2014).

El cálculo de dicha energía cinética, por otra parte, no puede ser igual en el caso de UAS de ala fija que en el caso de ala rotatoria.

Según la normativa de AESA<sup>28</sup> (Agencia Estatal de Seguridad Aérea), en el primer caso se toma como velocidad de cálculo la máxima velocidad de vuelo, pero en el caso de ala rotatoria o multicópteros se establece arbitrariamente la velocidad de cálculo como la velocidad terminal, que depende de

parámetros como la densidad del aire, el área frontal de caída del sistema, la masa y una constante adimensional de rozamiento.

En el caso de llevar paracaídas, el cálculo de dicha velocidad se complica todavía más.

Esta tabla, desde su publicación, ha suscitado debates y dudas porque es, como mínimo, extraño, que para categorizar un sistema se empleen dos parámetros o atributos completamente diferentes, energía cinética en caso de ser de pequeño tamaño, y masa o peso en caso de tener un tamaño mayor, pero tiene sentido desde el punto de vista de la certificación.

Por otra parte, en la nueva clasificación de 2012 también cambió la frontera entre MINI y SMALL, que se redujo a 15 kg de peso máximo al despegue.

Esta versión, actualizada en 2012, de la clasificación se ha empleado en varias normativas nacionales, como el Reglamento de la Circulación Aérea Operativa.

| Clasificación de UAS                                                     |                                        |                                      |                         |                    |                                                      |
|--------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|--------------------|------------------------------------------------------|
| Se ha establecido la siguiente clasificación teniendo en cuenta el MTOW. |                                        |                                      |                         |                    |                                                      |
| Clase (MTOW)                                                             | Categoría                              | Empleo                               | Altitud Operacional AGL | Radio de Misión    | Ejemplo de Plataforma                                |
| CLASE I<br><150 Kg.                                                      | SMALL<br>> 15 Kg - < 150 kg.           | Unidad Táctica.                      | Hasta 5.000 ft.         | 50 km (LOS).       | Scan Eagle /Hermes 90/ ALO.                          |
|                                                                          | MINI <15 Kg.                           | Subunidad Táctica.                   | Hasta 3.000 ft.         | 25 km (LOS).       | Raven /Mantis.                                       |
|                                                                          | MICRO < 66J.                           | Táctico, Pelotón, Sección, personal. | Hasta 200 ft.           | 5 Km (LOS).        | Black Widow. WASP.                                   |
| CLASE II<br>150 kg- 600 Kg.                                              | TÁCTICO.                               | Formación Táctica.                   | Hasta 10.000 ft.        | 200 km (LOS).      | Searcher MK II-III. Ranger/ SIVA/ Atlante/ Pelicano. |
| CLASE III > 600 Kg.                                                      | Strike /Combat.                        | Estratégico.                         | Hasta 65.000 ft.        | Sin límite (BLOS). | Reaper/ Avenger.                                     |
|                                                                          | HALE (High Altitude Long Endurance).   | Estratégico.                         | Hasta 65.000 ft.        | Sin Limite (BLOS). | Global Hawk.                                         |
|                                                                          | MALE (Medium Altitude Long Endurance). | Operacional/de Teatro.               | Hasta 45.000 ft.        | Sin Limite (BLOS). | Predator A y B, Heron.                               |

Tabla 14. Clasificación de los UAS militares. Fuente: Anexo A Real Decreto 601/2016, de 2 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de la Circulación Aérea Operativa.

28. [https://www.seguridadaerea.gob.es/sites/default/files/apendice-s-v1-guia-estudio-seguridad-sora\\_0.pdf](https://www.seguridadaerea.gob.es/sites/default/files/apendice-s-v1-guia-estudio-seguridad-sora_0.pdf) Página 9/59

También aparece esta clasificación en el estándar *OTAN ATP 3.3.7: GUIDANCE FOR THE TRAINING OF UNMANNED AIRCRAFT SYSTEMS (UAS) OPERATORS*, que forma el cuerpo normativo del STANAG 4670, del mismo nombre.

En la actualidad la nueva edición de dicho STANAG está en fase de revisión por los países y todo parece indicar que en ella se abandonará esta clasificación basada en peso y se adaptarán clasificaciones por bloques, con puntuaciones según el riesgo de las operaciones.

### 2.3. Desfase actual de la clasificación OTAN basada en MTOW

Como se ha comentado al principio del capítulo, esta clasificación por capacidades asociadas a tamaños y pesos ha quedado desfasada en la actualidad según muchos expertos y usuarios.

Los motivos, básicamente, han sido la progresiva mejora de las prestaciones de los sistemas, debido, entre otros, al progreso tecnológico en su diseño y fabricación, a la miniaturización de los componentes, a las reducciones y optimización de consumo, a las mejoras en la eficiencia de las baterías, al desarrollo de nuevos sensores y a las cada vez mayores capacidades que ofrece la aplicación de la inteligencia artificial a bordo.

Esto hace que UAS que hoy se clasificarían como Clase I SMALL si únicamente se usa el peso, tengan en realidad prestaciones que, en algunos aspectos, se acercan a las de los sistemas Clase II Tácticos, o sistemas que por su peso entren en la categoría MICRO, puedan tener hoy unas prestaciones muy cercanas a los clasificados según la tabla como MINI.

Por este motivo principalmente, se ha ido abandonando esta clasificación estricta y se ha tendido a englobar las operaciones con UAS, más que a clasificar las plataformas.

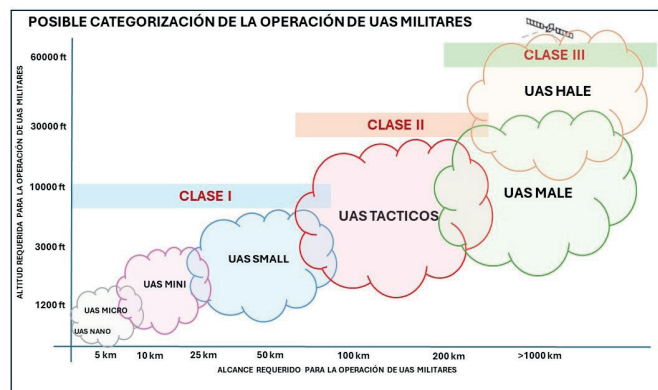


Figura 2. Esquema simplificado de solapamiento de las envolventes de vuelo de UAS, teniendo en cuenta sus prestaciones actuales, inicialmente clasificados mediante la tabla OTAN. Fuente: elaboración propia

Una forma de interpretar esa expansión en las prestaciones sería el siguiente esquema, donde se ve que las categorías se superponen en todo el espectro de posibles operaciones.

### 2.4. Clasificación por operaciones de UAS y niveles de riesgo

La tendencia actual, tanto a efectos de normativa de licencias de formación, como de estudios de seguridad, parece que lleva a focalizar la clasificación en las operaciones de los UAS y en el riesgo asociado, no sólo en las plataformas, y seguir los pasos de la legislación civil en este aspecto.

Se entiende que, en el riesgo de la operación de UAS influyen muchos más parámetros que el peso del componente aéreo. Aparentemente tendría menos riesgo un sistema MALE de tres toneladas volando sobre una zona desértica del Sahara, que un sistema MINI volando sobre un estadio de fútbol lleno de público.

Para tratar de superar esa clasificación basada en peso se está proponiendo usar una categorización<sup>29</sup> similar a la europea civil, elaborada por la Agencia Europea de la Seguridad Aérea (EASA)<sup>30</sup>, que establece tres categorías principales:

- La categoría **OPEN** se refiere a las operaciones de menor riesgo, en las que la seguridad está garantizada siempre que el operador del UAS civil cumpla los requisitos pertinentes para la operación prevista. Esta categoría se subdivide en tres subcategorías: A1, A2 y A3. Los riesgos operativos en la categoría **OPEN** se consideran bajos y, por tanto, no se requiere autorización operativa antes de iniciar un vuelo.
- La categoría **SPECIFIC** abarca las operaciones civiles con UAS con más riesgo, en las que el operador garantiza la seguridad obteniendo una autorización operativa de la autoridad nacional competente antes de iniciar la operación. Para obtener la autorización operativa, el operador debe realizar una evaluación de riesgos que determinará los requisitos necesarios para el funcionamiento seguro de los UAS civiles.
- En la categoría **CERTIFIED**, el riesgo para la seguridad puede ser alto; por lo tanto, la certificación del operador y del UAS, así como más requisitos para la obtención de las licencias, son siempre necesarias para garantizar la seguridad.

29. <https://www.easa.europa.eu/en/domains/drones-air-mobility/operating-drone>

30. <https://www.easa.europa.eu/en/domains/drones-air-mobility/drones-air-mobility-landscape/Understanding-European-Drone-Regulations-and-the-Aviation-Regulatory-System>

Una forma de trasladar esa categorización a las operaciones militares podría ser estableciendo un sistema de puntuación que evaluara el riesgo inherente a la misión junto con el de la plataforma, a la hora de establecer las operaciones en su categoría correspondiente.

Se podrían tener en cuenta los parámetros más críticos, básicamente la categoría de espacio aéreo, si el control se realiza más allá del alcance visual o si va armado o no. Todos esos parámetros irían conformando una puntuación que establecería, en base a unos criterios razonados, qué categoría de operación se establece para el conjunto plataforma/misión en particular, y, a su vez, qué requisitos se han de cumplir para ello, a nivel de licencias, estudios de seguridad, documentación técnica, limitaciones a la envolvente de vuelo, medidas de mitigación, etc.

Esta forma de clasificación plataforma/misión para los UAS militares se está implementando en la nueva edición del STANAG 4670 UAS *Minimum Training Requirements Operators and Pilots* (Requisitos mínimos para el entrenamiento de operadores y pilotos).

La nueva edición de este documento presenta la nueva metodología de entrenamiento de la OTAN para los UAS, que se detalla en la revisión del ATP 3.3.8.1. Entre los puntos clave de esta reforma se destaca:

1. Adaptar la clasificación civil de categorías *Open*, *Specific* y *Certified*, que se han explicado previamente.
2. Establecer un sistema de puntuación basado en parámetros de misión, tales como:
  - Masa/peso del UAS en la misión, no MTOW o MTOM.
  - Clase de Espacio aéreo.
  - Operación dentro o fuera del alcance visual.
  - Empleo de armamento.
  - Transporte de pasajeros.

La tabla correspondiente, con las puntuaciones según los parámetros de misión, sería la siguiente (Haider 2024):

| Plataforma/Parámetros de Misión |                                                     | Puntos    | Categoría mínima |
|---------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------|------------------|
| Peso                            | Más de 600 kg                                       | 5         | CERTIFIED        |
|                                 | 150 kg a 600 kg                                     | 4         | SPECIFIC         |
|                                 | 25 kg a 149.99 kg                                   | 3         | SPECIFIC         |
|                                 | 250 g a 24.99 kg                                    | 2         | OPEN             |
|                                 | Menos de 250g                                       | 1         | OPEN             |
| Clase de Espacio Aéreo          | Clase A/B                                           | 5         | CERTIFIED        |
|                                 | Clase C/D                                           | 4         | SPECIFIC         |
|                                 | Clase E                                             | 2         | SPECIFIC         |
|                                 | Clase G (por encima de 400 pies)                    | 2         | SPECIFIC         |
|                                 | Clase G (por debajo de 400 pies) o sobre el agua    | 1         | OPEN             |
|                                 | Militar/Restringido                                 | 1         | OPEN             |
| Línea de visión                 | BVLOS (más allá de la línea visual)                 | 3         | SPECIFIC         |
|                                 | VLOS (en la línea visual)                           | 1         | OPEN             |
| Carga útil                      | Armado o con armamento de caída libre (> 1Kg)       | 6         | SPECIFIC         |
|                                 | Armado o con armamento de caída libre (1Kg o menos) | 2         | OPEN             |
|                                 | Sin armar o sin carga                               | 1         | OPEN             |
| Pasajeros                       | Si                                                  | 7         | CERTIFIED        |
|                                 | No                                                  | 0         | OPEN             |
| Categoría                       |                                                     | Puntos    |                  |
| CERTIFIED                       |                                                     | 13 o más  |                  |
| SPECIFIC                        |                                                     | 7 a 12    |                  |
| OPEN                            |                                                     | 6 o menos |                  |

Figura 3. Clasificación plataforma/misión por puntuaciones. Fuente: elaboración propia a partir de datos de: <https://www.japcc.org/online-feature/mtcc/>

Esta nueva metodología representa un cambio significativo, alineando el entrenamiento militar de UAS con los estándares civiles, y adaptándolo a la complejidad y riesgo de las operaciones modernas.

Está previsto que esta nueva edición del STANAG 4670 se apruebe durante este año 2025 y sea enviado a los países para su ratificación.



2.5. Clasificación según la unidad militar asignada

Otra posible clasificación de los UAS militares que se podría plantear en la actualidad estaría basada en asociar los sistemas UAS a la unidad militar a la que sirvan o den apoyo, teniendo en cuenta sobre todo las zonas de responsabilidad, su capacidad de transporte y sus necesidades operativas.

El término “unidad militar” puede entenderse como una agrupación de fuerzas con una misión específica de combate o apoyo, encuadrada en una organización militar más amplia.

En la siguiente tabla, a modo de referencia únicamente, se realiza esa posible asignación de clases y categorías

| Nombre                      | Despliegue aprox. (Km) | Clase UAS asociada    | Efectivos       | Unidades subordinadas          |
|-----------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------|--------------------------------|
| Cuerpo de ejército          | 1000                   | C-3                   | 20 000 - 40 000 | 2+ divisiones                  |
| División                    | 300 - 400              | C-3<br>C-2 Táctico    | 10 000 - 18 000 | 2+ brigadas o 3+ regimientos   |
| Brigada                     | 90 – 150               | C-1 Small             | 1500 - 5000     | 2+ regimientos o 3+ batallones |
| Regimiento                  | 50 - 80                | C-1 Small<br>C-1 Mini | 800 - 2000      | 1+ batallones o grupos         |
| Batallón o grupo táctico    | 30 - 60                | C-1 Mini              | 300 - 1000      | 2+ compañías o subgrupos       |
| Compañía o subgrupo táctico | 3 - 5                  | C-1 Micro             | 45 - 200        | 2+ secciones                   |
| Sección                     | 1 - 3                  | C-1 Micro<br>C-1 Nano | 16 - 44         | 2+ pelotones o patrullas       |

Tabla 15. Tabla ejemplo, de una posible asignación de clases y categorías de UAS en base a los alcances y autonomía de cada sistema, alineado con las distancias de responsabilidad de las unidades militares. Fuente: elaboración propia a partir de datos de Fuerza 35 ET.

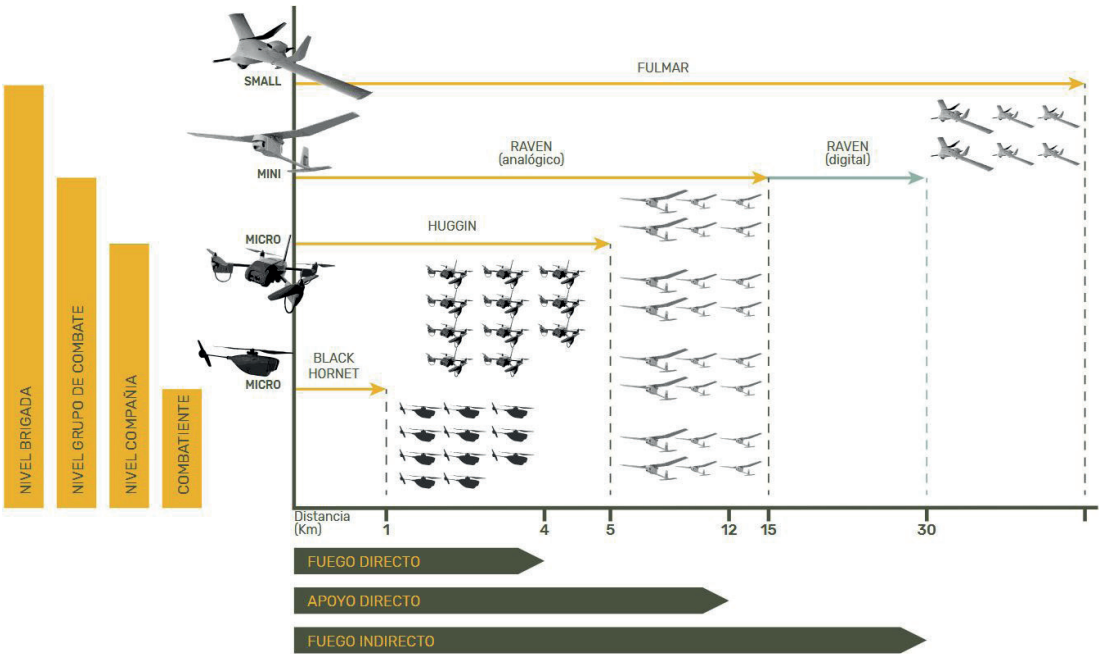


Figura 4. Distribución actual de sistemas UAS en Unidades Militares. Fuente: Ejército de Tierra. Resumen FUERZA 35.

## 2.6. Reflexiones sobre el problema de la clasificación

Como se ha ido exponiendo anteriormente, en la actualidad gran parte de la normativa de licencias de operación, de seguridad y de aeronavegabilidad está establecida en base a la clasificación OTAN que data del año 2009.

Además del enorme cambio tecnológico del sector en estos 15 años, se han producido incrementos exponenciales del uso de estos sistemas, tanto a nivel civil como a nivel militar.

En paralelo, se ha visto que se ha desarrollado una normativa civil, que ha ido abandonando la clasificación exclusiva por pesos de las plataformas hacia categorías de la operación y, además, teniendo en cuenta los múltiples factores y condicionantes que influyen en ella.

Es lógico pensar que la regulación militar debería de llevar un camino parecido, puesto que se está enfrentando a los mismos retos, carencias y desalineamientos entre normativa y técnica, que se han estado dando en el mundo civil.

Por último, se ha comentado una clasificación basada en la operatividad de estos sistemas para las unidades militares, en función del alcance y área de responsabilidad de las mismas, y sus posibilidades de transporte.

Quizás la adaptación de la clasificación por operaciones y riesgo asociado, al estilo civil, juntamente con la basada en las distancias de responsabilidad de las unidades militares, sea una manera de abordar este problema de clasificar adecuadamente estos sistemas.

## 3. ARQUITECTURA GENÉRICA DE UN SISTEMA UAS MILITAR

### 3.1. Primer nivel de arquitectura

Un sistema UAS genérico, independientemente de su clasificación, tamaño, peso o capacidades, se puede descomponer en una serie de subsistemas y componentes comunes.

En un primer nivel de desglose encontramos las siguientes tres categorías:

**SEGMENTO AÉREO**, o Aeronave No Tripulada (UA). Es la parte del sistema que despegue, vuela, realiza la misión y aterriza.

**SEGMENTO TERRESTRE**, o estación de control. Parte del sistema donde se encuentra el subsistema de control y operación del UA y desde donde el operador recibe información del mismo y envía las órdenes de control.

**ENLACE de COMUNICACIONES**. Es la parte del sistema, con componentes a bordo del segmento aéreo e instalados en el segmento terrestre, que se encarga de comunicar ambos y de transmitir las órdenes de control y los datos de monitorización del UA y de la misión, así como recibir dichos datos.

Esto es válido para todo sistema genérico, como se ha comentado.

En el caso de sistemas totalmente autónomos, el enlace entre la estación de control (o de programación del vuelo) y la aeronave no tiene por qué ser permanente, sino que únicamente sería necesario al cargar o programar los datos del vuelo autónomo.

En los UAS militares en nuestro país, y al considerarse que, por doctrina y por requisitos de seguridad y aeronavegabilidad, siempre ha de haber un operador controlando todas las fases de vuelo, la arquitectura que se considerará será la del enlace de datos permanente entre la estación de tierra y la aeronave no tripulada. No obstante, determinadas misiones pueden requerir silencio radio y entonces dicho enlace estaría en *stand-by activable* solo en caso de emergencia.

### 3.2. Detalle de la arquitectura básica. UA-Comunicaciones-GCS

#### COMPONENTE AÉREO o UA.

La aeronave o UA se puede descomponer en los siguientes subsistemas:

**Estructura mecánica (Airframe)**. Conjunto de elementos que le dan forma exterior y resistencia mecánica a la aeronave. En el caso de aeronaves convencionales de ala fija incluye el fuselaje o cuerpo principal, las alas, el tren de aterrizaje o patas y el empenaje de cola. En el caso de ala rotatoria consiste en el fuselaje, tren de aterrizaje y cola. Por último, en el caso de multicóptero incluye la estructura de los brazos que soportan los motores, las patas y el cuerpo central, que alberga baterías, electrónica y sensores.

**Propulsión/motor/motores**. Los motores son responsables de proporcionar la potencia necesaria para mover la aeronave a través del aire. En la mayoría de los sistemas UAS se suelen emplear motores de hélice, eléctricos para

sistemas de pequeño tamaño (hasta 30 – 40 kg) y térmicos para sistemas de mayor peso.

Existen diseños que combinan ambos motores, eléctricos y térmicos, siendo los motores eléctricos responsables del despegue y aterrizaje vertical, y el térmico para el vuelo convencional. Son los denominados híbridos VTOL (*Vertical Take-off and Landing*).

Los UAS militares de clase I no suelen disponer de turbinas, debido a que, por su tamaño, las prestaciones se alcanzan sin problemas con motores de hélice.

Se emplean turbinas en blancos aéreos de tamaño mediano (por ejemplo, el español SCR SCRAB II) y en algunos sistemas de categoría III muy grandes, con vuelos a gran altitud (HALE), como, por ejemplo, el Northrop Grumman RQ-4 Global Hawk<sup>31</sup>.



Imagen 30. Blanco aéreo Scrab II, fabricado por la empresa española SCR, en servicio en las FF.AA. Fuente: web SCR - SENER.

También se prevé el uso de turbinas en sistemas denominados “Loyal Wingman”<sup>32</sup> Remote Carrier” o CCA (*Collaborative Combat Aircraft*)<sup>33</sup>, cuya misión principal es el acompañamiento de aviones de caza tripulados de altas prestaciones, y, por lo tanto, deben tener prestaciones equivalentes, sólo permitidas por motores de turbina.

**Combustible/baterías.** Dependiendo del tipo de motorización, se componen de baterías, cargadores y conectores, o depósitos de combustible, bombas, filtros y conducciones.

**Subsistema eléctrico.** Consistente en la generación y distribución de la energía eléctrica en el sistema aéreo. Generalmente los requisitos de aeronavegabilidad requieren que a partir de un determinado tamaño todos los componentes estén redundados, a efectos de mejorar

la seguridad operacional. Se incluyen generadores, rectificadores, cableado, almacenamiento, etc.

**Navegación y Guiado.** Constituyen gran parte del equipamiento electrónico del sistema, incluyendo el ordenador de vuelo, los sensores de posición y actitud, las antenas GNSS, el sistema inercial, si lo lleva y sistemas de navegación alternativos al GNSS.

**Carga Útil.** También denominada carga de pago. Se incluye aquí el equipamiento para la realización de la misión, que como mínimo suele constar de una cámara visual e infrarroja (EO/IR). También se pueden llevar otras cargas como sensores NBQ (Nuclear, Bacteriológico y Químico), equipos de guerra electrónica, LIDAR (*Laser Imaging Detection and Ranging* – Detección y Localización por Imagen Laser), cámaras multiespectrales, radar SAR (*Synthetic Aperture Radar* – Radar de Apertura Sintética) de pequeño tamaño, munición, etc. Se verán con más detalle en otros capítulos.

**Sistema de comunicaciones a bordo** (Incluido en el componente comunicaciones).

## COMPONENTE TERRESTRE.

La parte terrestre del sistema comprende principalmente la estación de control o GCS (*Ground Control Station* – Estación de Control Terrestre), el subsistema de energía, subsistemas auxiliares para el transporte y lanzamiento y la parte terrestre del sistema de comunicaciones.



Imagen 31. Componente terrestre del sistema PASI, en primer plano, subsistema de energía, en medio la estación GCS y al fondo el subsistema GDT de comunicaciones en tierra. Fuente: fotografía del autor. Despliegue PASI en Base Aérea de Virgen del Camino (León) 2019.

**Estación de Control o GCS:** donde se encuentran los puestos de control tanto de la aeronave como de la carga

31 <https://www.northropgrumman.com/what-we-do/air/global-hawk>

32 <https://www.airforce-technology.com/features/uncrewed-ambitions-of-the-loyal-wingman/?cf-view>

33. <https://www.airforce-technology.com/projects/collaborative-combat-aircraft-cca-usa/?cf-view>

útil o de misión. En sistemas de menor entidad hay un único operador que controla una pantalla tipo *tablet* u ordenador portátil asociado a un sistema de transmisión. En sistemas más complejos está integrado en un shelter o vehículo y cuenta con al menos dos puestos con pantallas y controles redundados.

**Subsistema de energía:** responsable del suministro de energía a los componentes del GCS, pudiendo ser tan sencillo como una batería en el caso de una *tablet* u ordenador, o disponer de varios componentes como generadores, cuadro eléctrico, baterías de continuidad, cuadro de automatismos, etc., en el caso de GCS de sistemas más complejos.

**Subsistema de equipos auxiliares.** Conjunto de elementos auxiliares para el transporte, despliegue, lanzamiento, operación, recogida y repliegue del sistema, en caso de ser necesarios. También se incluye lotes de repuestos, manuales, herramientas, etc.

**Sistema de comunicaciones en tierra** (GDT, *Ground Data Terminal* – Terminal de Datos Terrestres), incluido en el componente comunicaciones.

## ENLACE DE COMUNICACIONES O DATA-LINK.

El enlace de comunicaciones permite la transmisión de datos entre el componente terrestre y el componente aéreo.

Esos datos incluyen información del vuelo y del estado de la aeronave (telemetría), comandos de control desde el operador en la estación terrestre, alertas, avisos, etc., y en el caso de misiones de relé, flujo de comunicaciones para ser retransmitido desde la aeronave y lograr una extensión de cobertura.

Consiste, básicamente, en un componente incluido en la aeronave con transmisor, receptor y antena, y un componente colateral en la estación terrestre.

En el componente terrestre la energía normalmente es compartida con la GCS, con conexiones al cuadro eléctrico común, que puede recibir suministro comercial o disponer de generadores.

La mayoría de los sistemas de pequeño tamaño, menores de 15 kg, sobre todo, disponen de *tablets* robustecidas u ordenadores portátiles para su control, que incluyen como elemento interno o externo el sistema de comunicaciones, transmisor y antenas.

En estos casos las frecuencias de operación varían, según sean sistemas muy pequeños, con transmisiones basadas en WIFI o WIMAX, transmisores de radiofrecuencia, normalmente a partir de los 400 MHz, y hasta los 5 GHz, en bandas permitidas.

Estas transmisiones tienen como principal limitación el alcance restringido a la línea directa, mal llamada de visión (LOS. *Line Of Sight*) porque no se trata de que el operador sea capaz de ver el UAV, sino de que continúe habiendo una línea directa sin obstáculos entre la GCS/GDT y el UAV aunque se encuentren a muchos kilómetros de distancia.

En determinadas circunstancias se puede extender o mejorar el alcance LOS mediante el empleo de diferentes modos y tecnologías de transmisión.

A continuación, se explican algunas de estas tecnologías, teniendo en cuenta que en algunos casos funcionan en diferentes capas de transmisión, por lo que pueden ser no excluyentes y emplearse combinadas para mejorar sus resultados.

**MIMO** (*Multiple Input- Multiple Output* – Entradas Múltiples-Salidas Múltiples):

Tecnología de la capa física de transmisión, que se basa en el uso de múltiples antenas para transmitir y recibir simultáneamente, mejorando la eficiencia espectral y la capacidad del canal.

En UHF/VHF, se implementa mediante esquemas de multiplexación espacial.

Las bases teóricas son la **Multiplexación Espacial** (división de los flujos independientes transmitidos por antenas separadas) y la **Adaptación de Modos**, evaluación en tiempo real de parámetros de transmisión, indicadores de calidad del canal, demanda de flujos de transmisión, etc.

Las ventajas que ofrece son: mayor capacidad de datos sin incrementar el ancho de banda, reducción de las interferencias y optimización energética.

Aplicadas a los enlaces de UAS, se optimiza la tasa de datos en el enlace UAV-GCS mediante el empleo de múltiples *streams* para vídeo EO/IR de alta resolución y *Beamforming* (conformado de lóbulos en el patrón de transmisión de la antena) adaptativo para contrarrestar el *jamming*, pudiendo “dirigir” la transmisión en direcciones en las que haya menos interferencias.



**MANET** (*Mobile Ad Hoc Network* – Redes Móviles Ad Hoc):

Redes descentralizadas y autoorganizadas donde los nodos actúan como enrutadores. No requieren infraestructura fija, ideal para entornos dinámicos como las operaciones militares.

El uso de las redes celulares de comunicaciones móviles (especialmente con la llegada del 5G) y el de la tecnología IP (*Internet Protocol* – Protocolo de Internet) abre otras posibilidades a las ya conocidas de comunicación por radiofrecuencia y por enlace satelital.

Se basan en los **protocolos de enrutamiento** y en los **modelos matemáticos de movilidad** como el *Random Waypoint* para predecir cambios en la topología de red.

Las ventajas que proporciona son una mayor resistencia a fallos de transmisión (al existir múltiples rutas), una gran escalabilidad con los nodos móviles (otros UAVs en vuelo), y un relativo bajo coste de despliegue al no necesitar infraestructura fija en el lugar de operación.

**MESH o Red Mallada:**

Redes con topología de malla donde algunos nodos son fijos (formando un backbone, nodos primarios o principales que forman una red troncal) y otros son móviles.

Usadas en entornos semi-estáticos como una operación UAS con un nodo fijo, estación de control o puesto de mando, y varios nodos móviles, UAVs del sistema en vuelo.

Las bases teóricas son también los algoritmos de enrutamiento y los protocolos de autoorganización de los nodos con detección de caminos óptimos.

La principal ventaja es que se extiende el alcance en el caso de disponer de más de dos nodos, ya sea en tierra o en el aire, una mayor tolerancia a fallos y una baja latencia, al transmitirse siempre por el camino óptimo.

**MESH-IP:**

Estas redes son una extensión de las redes MESH donde se integra el protocolo de internet IP para interoperar con redes externas.

Se pueden emplear algoritmos de seguridad y cifrado de redes IP, son fáciles de integrar en infraestructuras existentes, por ejemplo para la transmisión de la imagen a dispositivos

portátiles en la zona de vuelo, y son más escalables debido a la ventaja de usar protocolos más extendidos.

Un esquema resumen de estos modos avanzados de transmisión para redes de radiofrecuencia en enlaces para UAS, sería el siguiente:

| Parámetro                              | MIMO                       | MANET                           | MESH                     | MESH-IP                                    |
|----------------------------------------|----------------------------|---------------------------------|--------------------------|--------------------------------------------|
| Capa OSI                               | Física (PHY)               | Red/Enlace                      | Red/Enlace               | Red/Aplicación                             |
| Movilidad                              | No aplica                  | Alta (UAVs dinámicos)           | Moderada (backbone fijo) | Variable (integración con infraestructura) |
| Contribución a la Seguridad del enlace | Modulación adaptable       | AES-256 + FHSS                  | AES-256 estático         | IPSec + TLS 1.3                            |
| Tipos de Datos                         | Vídeo ISR (Full HD/FLIR)   | Comando-control táctico         | Telemetría multisensor   | Streaming IP (C4ISR integrado)             |
| Caso de Uso                            | Enlace aire-tierra directo | Misiones dinámicas (swarm UAVs) | Vigilancia persistente   | Integración con redes SATCOM terrestres    |

Tabla 16. Esquema resumen de tecnologías de transmisión en enlaces de UAS. Fuente: elaboración propia

En el caso de enlaces más allá de la línea de visión, o como redundancia del enlace principal, se pueden emplear enlaces satelitales (SATCOM, *Satellital Communication*).

Las bandas de frecuencia utilizadas para estos enlaces varían según la misión y las disponibilidades de espacio y peso de los equipos embarcados, siendo las más comunes:

- **Banda L (1.7-2.2 GHz).**
- **Banda Ku (12-18 GHz).**
- **Banda Ka (26.5-40 GHz).**

Las ventajas principales de este medio de transmisión son:

**Cobertura global.** Permite operaciones más allá de la línea directa (BLoS, *Beyond Line of Sight*) en cualquier parte del mundo, incluso en zonas remotas sin infraestructura terrestre.

**Alta capacidad de datos.** Soporta la transmisión simultánea de vídeo, telemetría y comandos de control.

**Seguridad.** Cifrado AES-256 y protocolos anti-jamming garantizan la integridad de las comunicaciones.

**Escalabilidad.** Puede integrarse con otros sistemas C4ISR (*Command, Control, Communications, Computers, Intelligence, Surveillance, and Reconnaissance* – Mando, Control, Comunicaciones, Ordenadores, Vigilancia y Reconocimiento).

**3.3. Esquema simplificado de la arquitectura básica de un sistema UAS militar.**

Un posible esquema simplificado, hasta cuatro niveles, de la arquitectura de un sistema UAS genérico estaría representada por el siguiente diagrama:

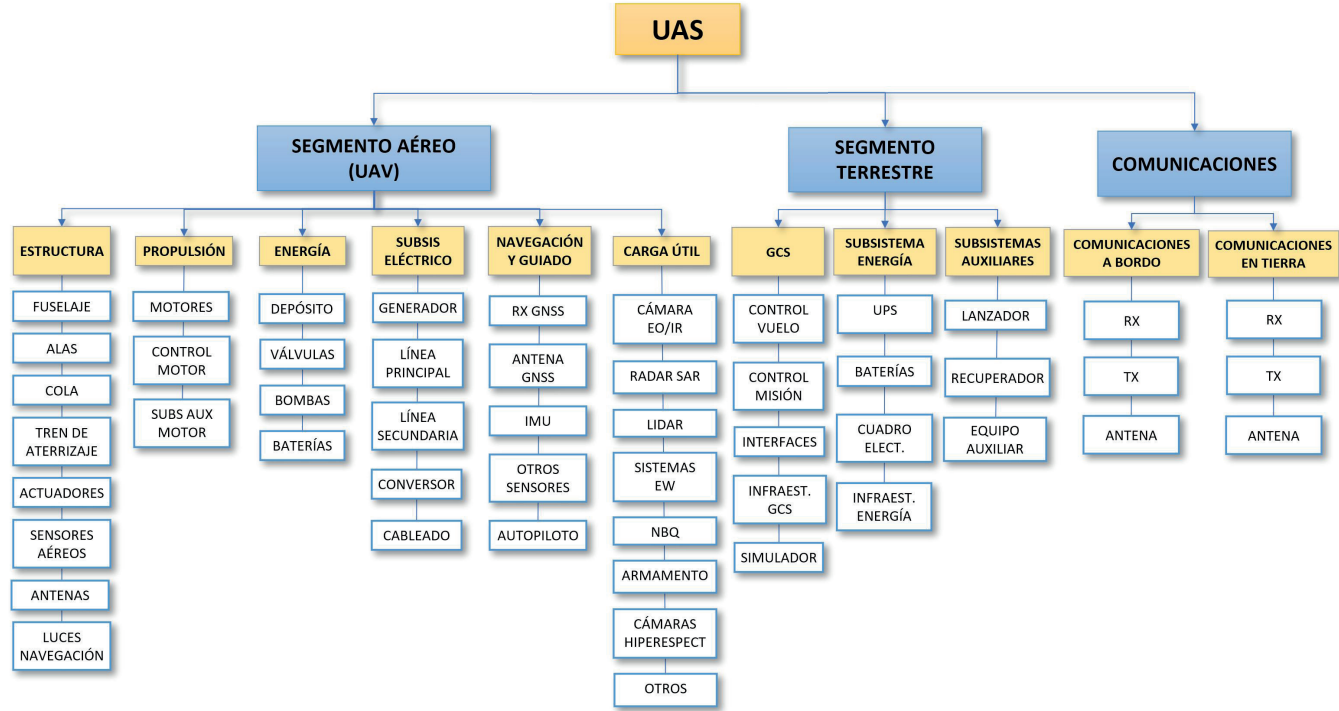


Figura 5. Esquema simplificado de arquitectura de sistema UAS genérico. Válido únicamente como referencia. Fuente: elaboración propia

**3.4. Arquitectura extendida de la operación de UAS militar**

Hasta ahora se ha visto la arquitectura física de un sistema UAS genérico, sin tener en cuenta nada más que sus componentes físicos.

Si analizamos todos los componentes y actores que forman parte de una operación de un UAS militar, el resultado es más complejo que la arquitectura del sistema, dando lugar a una combinación de entidades, partes interesadas y condiciones externas que componen lo que denominaremos arquitectura extendida de una operación de UAS militar.

Como núcleo central de dicha arquitectura tenemos el propio sistema UAS, tal y como se ha descrito en el epígrafe anterior, compuesto por sus componentes en tierra, el enlace de comunicaciones y su componente aérea.

El primer nivel de interacción con el sistema se realiza por parte del usuario, unidad operativa, combatiente, etc. El usuario no sólo se responsabiliza de su operación y uso, sino de su mantenimiento en un primer nivel o escalón, su transporte y su despliegue.

En un nivel más elevado están la entidad que le ordena la operación (misión) y que genéricamente denominaremos Mando, y las entidades o actores que le permiten operar, que certifican la seguridad del sistema y de la operación.

En este caso tenemos la Autoridad Nacional de Aeronavegabilidad, y su cabecera técnica, ya sea el INTA, INREG o cualquier otro organismo que se designe. También está la sección correspondiente del Estado Mayor del Aire encargada de regular el Espacio Aéreo para defensa (EMA/SESPA) y otras agencias y entidades como NARFA, que regulan el uso de las frecuencias radioeléctricas a emplear.

En otros niveles se tiene a la empresa fabricante, con su apoyo al mantenimiento y a los procesos de certificación, que publica, si es necesario, actualizaciones de documentación o boletines de servicio para realizar mejoras al hardware y al software del sistema; el control de tráfico aéreo, ya sea militar (ECAO) o civil (ATC); las oficinas meteorológicas, que

informan de las previsiones de clima para la operación, para que el usuario pueda asegurar que las condiciones previstas están dentro de la envolvente de vuelo certificada, y otros actores y partes interesadas, como las infraestructuras necesarias (aeródromos, pistas, etc.), otros usuarios del espacio aéreo, el propio objetivo de la misión, etc.

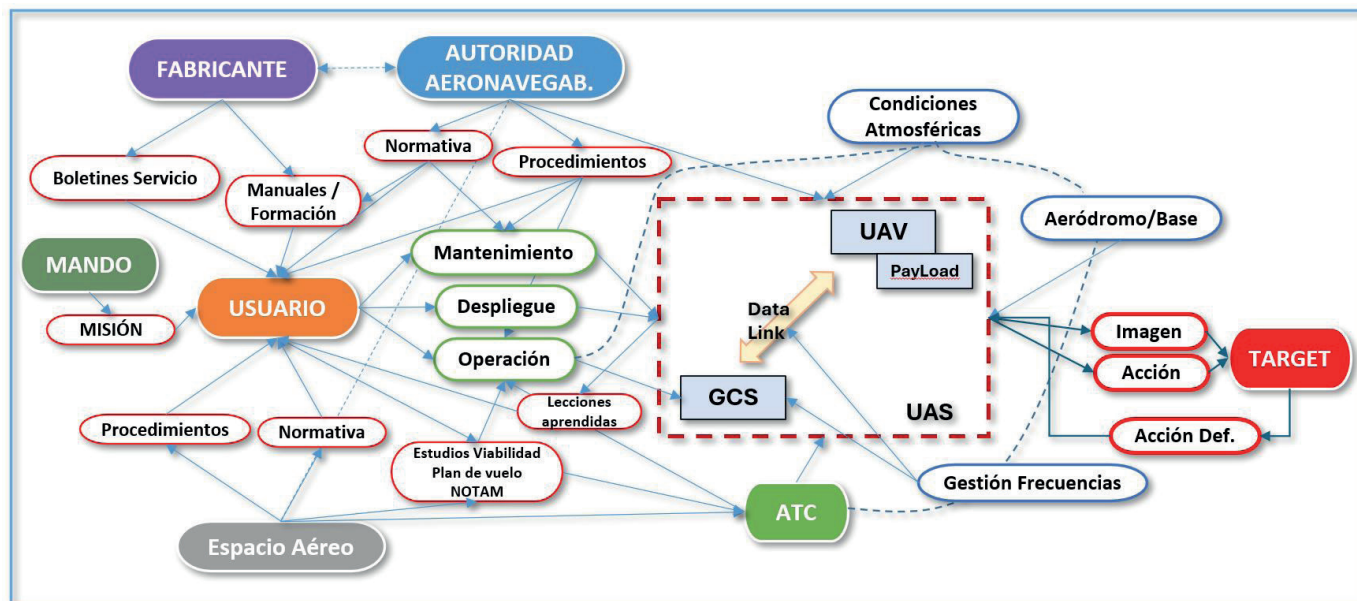


Figura 6. Esquema simplificado de arquitectura extendida de la operación de un UAS militar. Fuente: elaboración propia.

Esta arquitectura extendida de la operación de un UAS militar da una idea más clara de la complejidad que conlleva la interacción de todos esos actores.

Es por ello por lo que, en cualquier proceso de certificación o de análisis de riesgos, se ha de tener en cuenta este entorno operacional, donde en muchos casos se presentan medidas de mitigación y control de riesgos en agentes o procedimiento externos y no intrínsecamente en el sistema aislado.

En este análisis del entorno y de la arquitectura extendida de la operación se basan los análisis de riesgos en el mundo civil, en concreto en los análisis de riesgos usando la metodología SORA<sup>34</sup> (*Specific Operations Risk Assessment* – Estudio Operacional Específico de Riesgos) de JARUS (*Joint Authorities for Rulemaking on Unmanned Systems* – Autoridades Conjuntas para la elaboración de Normativa para UAS) y su traslación al mundo militar, liderada por la EDA (*European Defence Agency* – Agencia Europea de Defensa) y su grupo de trabajo MUSRA<sup>35</sup> (*Military Specific UAS Risk Assessment* – Estudio Específico Militar de Riesgos de UAS).

La metodología SORA se basa en un Modelo de Riesgo Holístico (HRM, *Hollistic Risk Model*) para evaluar los riesgos asociados a una determinada operación.

El modelo considera todas las posibles amenazas asociadas a un determinado peligro y propone mitigaciones para la operación específica.

Todo ello, constituye un modelo integrado en el que se tienen en cuenta todos los factores de forma conjunta, considerando también los riesgos asociados a la interacción de las diferentes partes entre ellas (de ahí que sea holístico).

Las partes de que se compone son las siguientes:

- Identificar amenazas.
- Determinar los peligros y establecer consecuencias y daños.

34. [http://jarus-rpas.org/wp-content/uploads/2023/07/jar\\_doc\\_06\\_jjarus\\_sora\\_executive\\_summary.pdf](http://jarus-rpas.org/wp-content/uploads/2023/07/jar_doc_06_jjarus_sora_executive_summary.pdf)

35. <https://eda.europa.eu/mil-uas-specific-study>

- Asignar probabilidades de ocurrencias y determinar la severidad en caso de que ocurran.
- Establecer el riesgo.
- Determinar cuándo se considera un nivel de riesgo aceptable.
- Establecer mitigaciones, en caso de que el riesgo no sea aceptable.

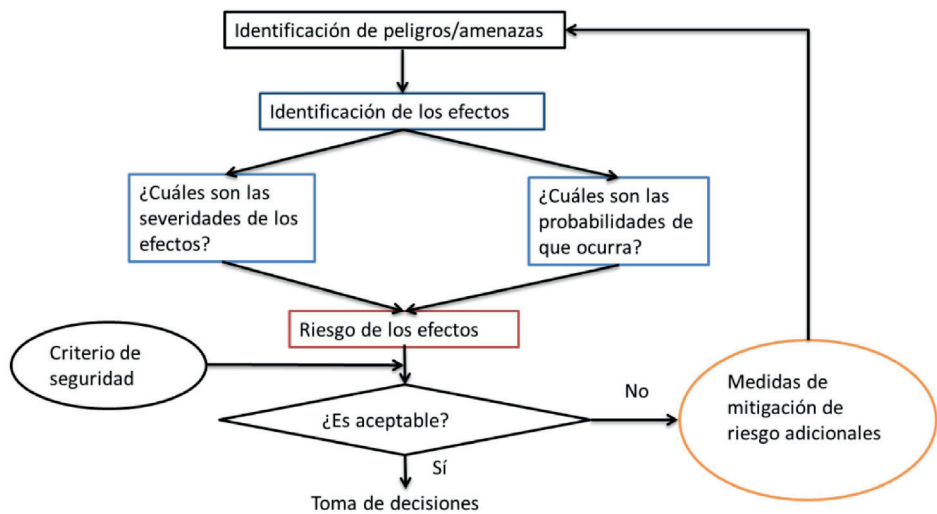


Figura 7. Esquema básico de decisiones sobre riesgos. SORA. Fuente: AESA. Guía para la elaboración del estudio de seguridad SORA

Para la identificación y evaluación de riesgos, peligros y amenazas se usan unos modelos específicos que establecen puntuaciones.

También se definen unos volúmenes operacionales donde se desarrollará la operación del UAS y unos volúmenes de contingencia, que se usan como márgenes de seguridad.

Se distingue entre riesgos en tierra, por caída sobre personas o infraestructuras, o riesgos en el aire, por impactos con otros sistemas aéreos.

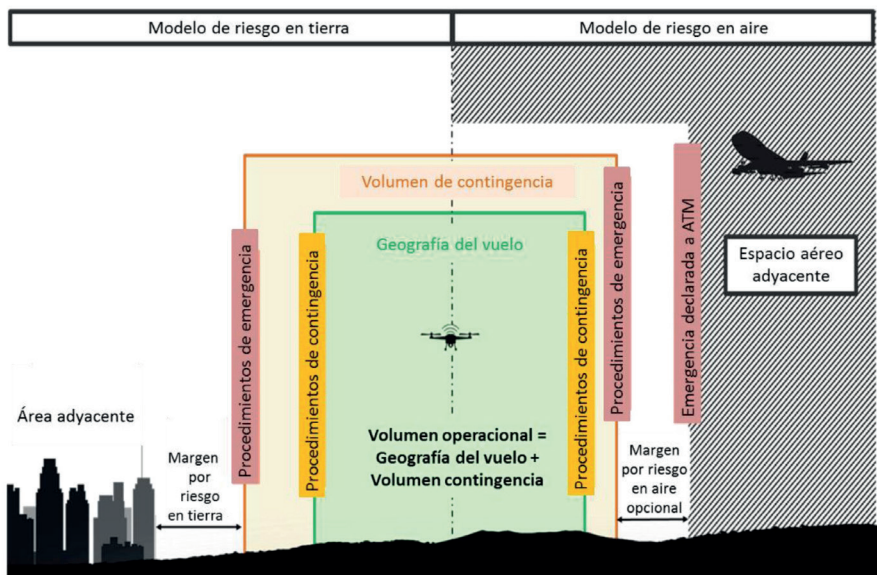


Figura 8. Esquema básico de decisiones sobre riesgos. SORA. Fuente: AESA. Guía para la elaboración del estudio de seguridad SORA



En resumen, la metodología SORA tiene el siguiente diagrama de flujo de trabajo:

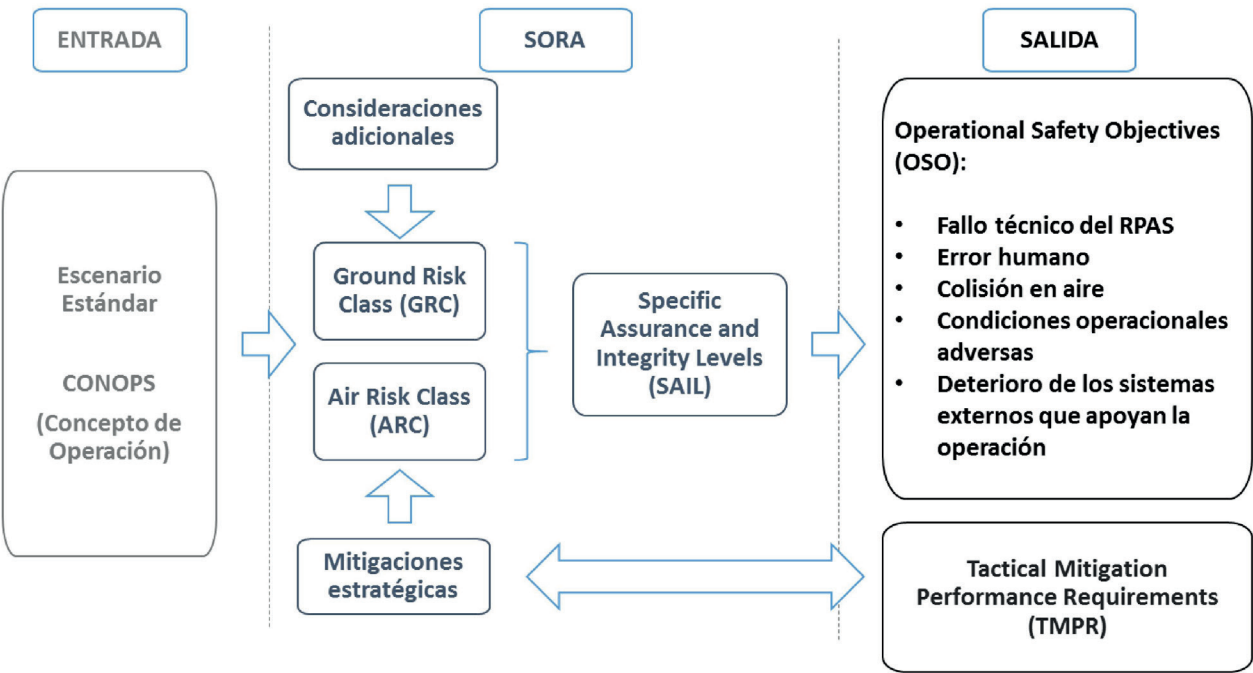


Figura 9. Diagrama de flujo de trabajo. Metodología SORA. Fuente: AESA. Guía para la realización del estudio de seguridad SORA

Al final del proceso se obtienen unos Objetivos de Seguridad Operacional (OSO, *Operational Safety Objectives*), en base a unos niveles específicos de integridad y seguridad (SAIL, *Specific Assurance and Integrity Levels*), y unos requisitos

de mitigación táctica (TMPR, *Tactical Mitigation Performance Requirements*) que son los que se deben implementar para considerar segura la operación analizada.

## CONCLUSIONES

En este capítulo se ha expuesto el concepto y la descripción de los sistemas aéreos no tripulados con un análisis de la normativa que regula estos sistemas en España, que incluyen el reglamento de la circulación aérea operativa, el reglamento de aeronavegabilidad de la defensa y la regulación del uso del espectro electromagnético en las comunicaciones. Se ha tratado también la formación de los operadores militares, la clasificación y la arquitectura de los sistemas.

El concepto, la definición y la propia denominación de los sistemas aéreos no tripulados ha ido cambiando y evolucionando según sus capacidades y usos a lo largo de su historia, pero no sólo en su componente operativo, sino también para tratar de reflejar una imagen más positiva de cara a la sociedad. Se trata de adaptarlos a las nuevas inquietudes sociales y por ello se incide en enfatizar el hecho de que hay un operador humano detrás, es decir, que no son “no-tripulados”, y que, por ahora, los sistemas no toman decisiones por sí mismos.

A la hora de clasificarlos ya se ha indicado que lo que parece más razonable es adaptar la categorización en base a la operación, al escenario y a los riesgos, como se ve en la ilustración 4, más que focalizando únicamente en características físicas o determinadas prestaciones de la plataforma.

Se ha introducido una arquitectura extendida, incluyendo sistemas externos y agentes que influyen en la operación. Este enfoque holístico, es decir, el considerar todo lo que rodea al sistema y las relaciones con sus usuarios/operadores, sus reguladores, sus fabricantes, las autoridades de certificación, las de control aéreo, las infraestructuras, hasta la climatología, etc., ayuda no sólo a clasificar mejor el binomio sistema/operación, sino que facilita y mejora el estudio de seguridad a realizar y las medidas de mitigación que se puedan aplicar para llegar a un grado mayor de seguridad operacional (*safety*) del sistema.

Esta nueva aproximación debería influir también en una mayor facilidad para determinar y demostrar su aeronavegabilidad, por lo que la normativa aplicable debería de hacerse más específica de estos sistemas no tripulados y considerando esa arquitectura extendida.

Se está observando que las normas y requisitos documentales actuales para certificar la aeronavegabilidad de los UAS podrían ajustarse mejor según el tamaño y la misión de cada sistema. En particular, se considera conveniente reducir la carga de trabajo requerida en el proceso de certificación para los UAS de pequeño tamaño. Esto implicaría flexibilizar los estándares exigidos, adaptándolos de forma más proporcional a las características y usos específicos de cada tipo de UAS.

Facilitando el acceso a la certificación de aeronavegabilidad, aunque sin reducir los estándares de seguridad por ello, se conseguirá que tanto fabricantes como usuarios tengan menos dificultades y barreras para desarrollar su trabajo y el sector de los sistemas aéreos no tripulados militares en España se expanda y pueda competir con éxito en los mercados internacionales, tal y como la calidad de los productos lo merece.

Por ello se propone avanzar más en ese enfoque de la normativa y no limitarla a transponer lo requerido para la aviación tripulada, que en muchos casos opera de forma muy diferente.

En el mundo civil se ha visto ya que, tanto la clasificación como la metodología para el análisis de seguridad operacional, se hace empleando este marco de referencia más basado en la operación específica y los riesgos asociados que en la plataforma, y considerando esa arquitectura extendida.

También estos avances deberían llegar al ámbito de la formación y los requisitos para obtener licencias de operador de UAS militar (DUO). Sería lógico que los requisitos para obtener licencias de sistemas de clase I MICRO y MINI (hasta 15 kg) fueran más sencillos que para operar sistemas más grandes tipo I de hasta 150 kg o de clase II, hasta 600 kg.

# REFERENCIAS

1. Infodefensa. (2024, 10 de diciembre). *RPAS: Una realidad en defensa y seguridad*. Infodefensa. <https://www.infodefensa.com/file/view/24603>
2. Sandoval Albares, L. (2024, 8 de diciembre). *La Escuela Militar de UAS del GRUEMA del Ejército del Aire: una apuesta por la formación del futuro*. Defensa.com. <https://www.defensa.com/espana/escuela-militar-uas-gruema-ejercito-aire-apuesta-formacion>
3. Sanchiz, E. (2014, octubre). *La certificación militar de UAS/RPAS en España*. Presentación en el Seminario RPAS del COPAC: El gran reto evolutivo de la Aviación Civil. Marco regulatorio operativo, Madrid, España <https://es.slideshare.net/slideshow/certificacion-militar-de-uas-rpas-en-espa-a-eduardo-sanchiz-inta/40057143>
4. Mayer, J. E. (2017). *State of the Art of Airworthiness Certification*. NATO Science and Technology Organization. <https://www.sto.nato.int/publications/STO%20Meeting%20Proceedings/STO-MP-AVT-273/MP-AVT-273-08.pdf>
5. Garg, P. K. (2021). *Unmanned aerial vehicles: An Introduction*. Mercury Learning and Information. <https://doi.org/10.1515/9781683927082>
6. Joint Air Power Competence Centre. (2010). *Strategic concept of employment for unmanned aircraft systems in NATO*. [https://www.japcc.org/wp-content/uploads/UAS\\_CONEMP.pdf](https://www.japcc.org/wp-content/uploads/UAS_CONEMP.pdf)
7. Haider, A. (2024, noviembre). *Introducing NATO's new UAS training methodology*. Joint Air Power Competence Centre. <https://www.japcc.org/online-feature/mtcc/>
8. Sloggett, D. (2015). *Drone warfare: The Development of Unmanned Aerial Conflict*. Simon and Schuster.
9. DGAM (2009). *UAS "Unmanned Aircraft System". sobre su integración en el espacio aéreo no segregado*. Sistema de Observación y Prospectiva Tecnológica. [https://www.tecnologiaeinnovacion.defensa.gob.es/Lists/Publicaciones/Attachments/18/monografia\\_sopt\\_1.pdf](https://www.tecnologiaeinnovacion.defensa.gob.es/Lists/Publicaciones/Attachments/18/monografia_sopt_1.pdf)
10. AESA (2019). *Guía Evaluación de Riesgo Operacional (Art. 11 Reglamento de Ejecución (UE) 2019/947 de la Comisión, de 24 de mayo de 2019)*. Agencia Estatal de Seguridad Aérea. [https://www.seguridadaerea.gob.es/sites/default/files/UAS-OPR-P01-DT07\\_Ed.02\\_Guia\\_evaluaci%C3%B3n.riesgo.pdf](https://www.seguridadaerea.gob.es/sites/default/files/UAS-OPR-P01-DT07_Ed.02_Guia_evaluaci%C3%B3n.riesgo.pdf)
11. NATO. (2019). *ATP-3.3.8.1: Minimum training requirements for unmanned aircraft systems (UAS) operators and pilots*. Edition B, Version 1. NATO Standardization Office.
12. Ejército de Tierra (2019). *FUERZA 35*. [https://ejercito.defensa.gob.es/Galerias/Descarga\\_pdf/EjercitoTierra/Publicaciones/fuerza\\_35.pdf](https://ejercito.defensa.gob.es/Galerias/Descarga_pdf/EjercitoTierra/Publicaciones/fuerza_35.pdf)
13. JARUS (2023). *Guidelines on Specific Operations Risk Assessment (SORA)*. [http://jarus-rpas.org/wp-content/uploads/2023/07/jar\\_doc\\_06\\_jjarus\\_sora\\_executive\\_summary.pdf](http://jarus-rpas.org/wp-content/uploads/2023/07/jar_doc_06_jjarus_sora_executive_summary.pdf)
14. EASA (2024, julio) *Easy Access Rules for Unmanned Aircraft*
15. European Union (s.f.) *Systems (IR + AMC&GM)*. <https://www.easa.europa.eu/en/downloads/110913/en>
16. Jenaro de Mencos, G y Bueno Pérez, D. (2019). *Aplicación de la metodología SORA al análisis de seguridad de operaciones de RPAS militares*. DESEI+D 2019. VII Congreso Nacional de I+D en Defensa y Seguridad.

# BIOGRAFÍAS

## DIEGO BUENO PÉREZ

Biografía en capítulo 1.









# Operaciones con UAS militares

## Misiones y Carga útil

Enrique Cuenca-Romero Jimenez  
Humberto Briones Valero  
Diego Bueno Pérez

“What happens in Vegas, stays in Vegas - except the drone...”  
(Lo que ocurre en Las Vegas, se queda en Las Vegas, excepto el dron...)

Mort Sahl (actor y escritor canadiense)

En este capítulo se van a revisar las misiones más comunes que se llevan a cabo con UAS en servicio en las Fuerzas Armadas de distintos países, tanto en ejercicios de entrenamiento y experimentación como en operaciones reales.

Como se ha podido comprobar en el primer capítulo, los UAS militares iniciaron sus operaciones en dos ámbitos concretos, en acciones ofensivas, y en el papel de blancos para la artillería antiaérea.

Posteriormente, con el perfeccionamiento de los sistemas de control vía radio y las primeras cámaras fotográficas embarcadas, se empezaron a emplear con intensidad como vectores de observación, sustituyendo poco a poco a las aeronaves tripuladas empleadas hasta entonces.

Desde los primeros empleos operativos significativos, hasta la actualidad, los UAS han evolucionado en formas, tamaños y capacidades, a la vez que lo hacía la tecnología necesaria para su diseño, fabricación y equipamiento.

Su empleo ha revolucionado también el análisis de la inteligencia que proporcionan, pasando de la clásica interpretación de imágenes fotográficas, a la inmediatez del vídeo en tiempo real, que requiere una toma de decisiones operativas más rápida y precisa.

Otro de los logros más destacados ha sido el incrementar el alcance del control remoto mediante el empleo de la comunicación vía satélite, que ha permitido poder realizar misiones a miles de kilómetros de donde se ubicaban sus sistemas de control y operadores.

Además, la miniaturización de componentes y sensores ha dotado a sistemas de pequeño tamaño, incluso de solo unas pocas decenas de gramos, de la capacidad para llevar a cabo complejas tareas de observación e inteligencia, tanto en exteriores como en entornos confinados, por ejemplo, en el interior de edificios o dentro de túneles.

El auge actual de los sistemas micro y mini UAS de ataque y las municiones merodeadoras, controladas vía radio, por visión en primera persona o autónomamente por GNSS, ha transformado las tácticas, técnicas y procedimientos del combate.

En el apartado de logística, los UAS están llamados a tener un papel muy importante, ya que disminuyen el riesgo de perder tripulaciones cuando se trata de misiones de abastecimiento cerca del frente.

Se dejará para los siguientes capítulos tratar de pronosticar el salto de capacidades que se podrá lograr en el corto o medio plazo, con la integración de tecnologías como la inteligencia artificial y el procesamiento a bordo, las cuales proporcionarán una mayor autonomía y funcionalidad a estos sistemas.



# 1. MISIONES DE RECONOCIMIENTO Y VIGILANCIA

Se inicia la revisión de las principales misiones realizadas por UAS con las de reconocimiento, que fueron las primeras donde se emplearon con mayor efectividad a partir de la Guerra de Vietnam.

## 1.1. Tipos de misiones de reconocimiento y vigilancia

Las misiones de reconocimiento y vigilancia que pueden efectuar los UAS militares se pueden clasificar del siguiente modo:

1. Los vuelos para recabar inteligencia, realizar vigilancia y reconocer las áreas hostiles, denominadas por el acrónimo ISR.
2. Las misiones ISTAR, que añaden a las anteriores el acrónimo TA de *Target Adquisition* (asignación de objetivos). Es decir, estos sistemas disponen de la capacidad de designar las coordenadas o la ubicación del objetivo identificado. En algunos casos se puede utilizar además un dispositivo de iluminación con pulsos de láser, denominado designador láser.
3. Misiones VIGMA (vigilancia marítima). Vuelos de reconocimiento en entorno marino, para control del tráfico marítimo.
4. Otras misiones de reconocimiento, como la generación de mapas y modelos del terreno, la detección de elementos tóxicos o radiación, la exploración de interiores de edificios, túneles o cuevas, detección de minas o IED's, modo *perching* (observación en estático desde ubicaciones elevadas), búsqueda de personas, evaluación de daños en emergencias, etc.

## 1.2. Características de las misiones ISR/ISTAR

El apoyo de las capacidades ISR/ISTAR de los UAS militares en todo el rango de misiones que desempeñan las FAS es indudable, pero concretando, se podría decir que estas operaciones juegan un papel fundamental en apoyo al C2 (Mando y Control), a la inteligencia, a las misiones ofensivas y a las de recuperación de personal.

El uso de medios no tripulados, y en concreto de UAS de ISR, tiene las ventajas de reducir el riesgo de las tripulaciones, proporcionar mayor tiempo de misión en el caso de sistemas de gran tamaño con elevada persistencia (MALE), y una reducción de costes respecto a las aeronaves tripuladas, en su adquisición y mantenimiento

Un sistema UAS está especializado en tareas ISR cuando está dotado de unos sensores adecuados, que cubren todo tipo de tecnologías para su misión específica o en apoyo de otras misiones. Entre otros, los más usados son:

- Cámaras Electro-Ópticas e infrarrojas.
- Radar de apertura sintética (SAR, *Synthetic Aperture Radar*<sup>36</sup>).
- Cámaras para imágenes multiespectrales e hiperespectrales.
- LiDAR(*Light Detection and Ranging* - Detección y Localización por Luz).
- Sensores químicos, biológicos, radiológicos y nucleares (CBRN, *Chemical, Biological, Radiological and Nuclear* – Químico, Biológico, Radiológico y Nuclear).

Todos estos sensores proporcionan un gran flujo de información que hay que procesar. Gracias a los avances tecnológicos como la IA (Inteligencia Artificial), en especial *Machine Learning*, y el *Big Data*, se están desarrollando medios para procesarla de manera automatizada, clasificando la información, descubriendo patrones y estableciendo semejanzas, de manera que se puede extraer informes de inteligencia de una forma más rápida que con el procesamiento humano. Se verá con más detalle en el capítulo 6.

La computación cuántica, que se encuentra todavía en un estado incipiente, se espera que en los próximos años dé un salto cualitativo y cuantitativo en la protección de estos flujos de información, con los nuevos criterios de encriptación y una capacidad exponencial de gestión de estos.

Con un ejemplo más práctico nos referimos a la comparación de imágenes y señales para identificar cambios en los patrones originales y, lo que es más importante, su valoración y análisis.

Esta tecnología se encuentra en la actualidad principalmente basada en equipos en tierra por lo que la comunicación de estos UAS ISR con determinados nodos de comunicación y su posterior procesado, explotación y diseminación demora su aprovechamiento en tiempo real.

36. <https://www.earthdata.nasa.gov/learn/earth-observation-data-basics/sar>



La integración de las nuevas tecnologías en los UAS (*Edge Computing* o procesamiento embarcado) o en la *Combat Cloud* (Nube de Combate), permitirá acelerar los procesos de toma de decisiones y su distribución a todos los combatientes que estén conectados con dicha nube.

Una de las limitaciones de los UAS para misiones ISR es la de su carga útil. Los pesos que estas aeronaves pueden integrar son limitados por lo que es fundamental la miniaturización de componentes, que permite mitigar esta restricción, si bien incrementa su coste y puede reducir sus alcances de detección. Hay que tener en cuenta que la electrónica y la mecánica se puede llegar a miniaturizar, pero reducir la óptica es más complicado porque los diámetros de las lentes influyen en la calidad de la imagen y en la cantidad de luz necesaria, y el peso del cristal es considerable y difícil de disminuir.

### 1.3. Carga útil para misiones ISR/ISTAR

#### 1.3.1. Cámaras EO/IR

##### Principios de Funcionamiento

El sensor EO/IR es un sistema de imagen que combina cámaras visuales y térmicas para capturar información en diferentes longitudes de onda: la cámara electro-óptica opera en el espectro visible, mientras que la infrarroja detecta las emisiones térmicas, es decir, presenta los objetos por sus diferencias de temperatura.

Su arquitectura básica consiste en los siguientes subsistemas:

1. **Cámara EO** (visible): captura imágenes en luz visible.
2. **Cámara IR** (térmica): detecta radiación infrarroja, pudiendo identificar una escala de temperaturas en el entorno. Se pueden seleccionar diferentes modos de visualización, oscuro para indicar calor o frío, o incluso con código de colores.
3. **Estabilizador o gimbal**: compensa el movimiento relativo de la plataforma permitiendo una visualización estable y ajustable en los tres ejes.
4. **Procesador de Imagen**: optimiza las imágenes capturadas y combina datos EO/IR cuando es necesario. Añade los metadatos, información que contiene referencias temporales y geográficas además de parámetros de vuelo, y que se incrusta en la información gráfica de la imagen.

Los parámetros que definen la calidad de estos sensores son, entre otros, los siguientes:

- Resolución espacial: varía según el sensor, y determina el nivel de detalle en las imágenes.
- Sensibilidad térmica: define la precisión en la detección de diferencias de temperatura.
- Campo de visión (FOV, *Field Of View*): determina la amplitud del área capturada.
- Rango de longitud de onda: define los espectros de detección (visible e infrarrojo).

Las cámaras EO/IR presentan las siguientes restricciones de uso:

- Limitación climática: en condiciones de niebla densa, presencia de humo, nubes bajas o lluvia intensa, la calidad de imagen puede disminuir e incluso desaparecer.
- Alcance limitado: la eficacia de la cámara IR depende de la distancia al objetivo y de la temperatura relativa del entorno.
- Dependencia de energía: requiere una considerable cantidad de energía para su operación estable y para mantener la precisión.

#### 1.3.2. Radar de apertura sintética SAR

Los sensores basados en radar de apertura sintética SAR permiten cubrir las limitaciones que impone la meteorología en el caso de las cámaras, ya que pueden reconstruir imágenes de alta resolución del terreno, aún en el caso de nubes, niebla o humo.

Es un tipo de radar exploratorio que utiliza el movimiento de la plataforma portadora (en este caso, el UAS), de manera que desde que se lanza el pulso hasta que se recibe su eco, la antena se ha desplazado y con ello se puede simular que es de un tamaño superior. Cuanto mayor es el tamaño de la antena, mayor resolución se obtendría, por ello, empleando este principio, se logra una resolución espacial muy superior a la de un radar estático convencional equivalente.

Los principales componentes de un sistema de radar SAR son:

1. **Antena**, de tamaño reducido, pero de apertura equivalente mayor. La apertura se crea por el desplazamiento lateral de la antena, debido a su colocación y al movimiento del UAS.

2. **Generador de pulsos.** Emite pulsos de radiofrecuencia (microondas) que rebotan en el terreno o en los objetos de interés y son recibidos de nuevo por la antena.
3. **Receptor.** Recibe los ecos de los pulsos reflejados y los registra para su procesamiento.
4. **Procesador de señales.** Realiza la síntesis de la apertura y transforma las señales recibidas en una imagen radar.
5. **Unidad de almacenamiento y transmisión.** Subsistema que almacena la imagen completa y la transmite a la estación de tierra GCS.

Al igual que otros sensores, se dispone de una serie de parámetros que establecen su calidad y sus prestaciones:

- Resolución espacial: depende de la longitud de onda y de la distancia a la que se obtiene la información. El SAR logra una resolución en el rango de centímetros, incluso a grandes distancias.
- Frecuencia: el SAR suele operar en las bandas L, S, C, o X, cada una con sus ventajas para penetrar vegetación o realizar imágenes de alta resolución en diferentes terrenos, distancias o condiciones de vuelo.

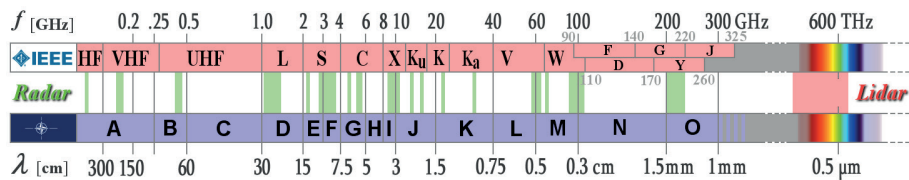


Figura 10. Frecuencias y bandas de trabajo. Notación IEEE y OTAN. Fuente: Christian Wolff. radartutorial.eu

- Relación señal-ruido (SNR, *Signal-Noise Ratio*): la capacidad del SAR para distinguir entre señales reflejadas y el ruido de fondo o clutter.
- Anchura de banda: cuanto mayor es la banda utilizada, mayor es la capacidad de resolución del sistema.

El SAR puede ser empleado para diversas funciones:

- Las misiones de reconocimiento y vigilancia: en drones militares, permite obtener imágenes detalladas del terreno, incluso en condiciones de nubes, lluvia o noche, donde las cámaras ópticas y de infrarrojo (EO/IR) no podrían.
- Detección de blancos móviles: los sistemas SAR pueden realizar detección de objetivos en movimiento terrestre (MTI, *Moving Target Indicator*).
- Análisis geoespacial: también se emplea en la creación de mapas topográficos de alta resolución.

Si lo comparamos con el empleo de una cámara EO/IR, el SAR presenta las siguientes ventajas:

1. **Capacidad todo tiempo:** el SAR no depende de la luz solar ni de condiciones atmosféricas óptimas para operar. Puede generar imágenes a través de nubes, lluvia o humo, ofreciendo una ventaja significativa en escenarios de combate o entornos adversos.
2. **Penetración de vegetación y estructuras:** en ciertas bandas, como la banda L, el SAR puede penetrar vegetación densa, lo que lo hace ideal para la detección de objetivos ocultos en selvas o bosques, donde los sensores ópticos o infrarrojos no podrían detectar dichos objetos ocultos.
3. **Resolución independiente de la distancia:** a diferencia de las cámaras, la resolución de las imágenes SAR no depende de la distancia al objetivo, lo que permite la vigilancia a gran altitud sin perder precisión. Este proceso permite obtener detalles que no son visibles en los videos EO/IR, como características geométricas finas del terreno, rodadas de vehículos o estructuras bajo los árboles de un bosque, por ejemplo.

Pero existe unas limitaciones debidas a las diferencias en la extracción de la información, ya que el SAR requiere un tiempo de proceso, que las cámaras EO/IR no necesitan, por ello, es capaz de producir una secuencia más o menos fluida de imágenes, pero con cierto retardo.



Imagen 32. RADAR SAR IMSAR NSP-3 en UAS Mini. Fuente: web IMSAR

Es, por tanto, una tecnología que complementa las misiones de vigilancia y reconocimiento en UAS militares que vuelan a alturas medias y altas y que pueden ser más vulnerables a presencia de nubes bajas, humo y niebla.

### 1.3.3. Cámaras multiespectrales e hiperspectrales

Las cámaras hiperspectrales y multiespectrales capturan información en múltiples bandas del espectro electromagnético, incluyendo longitudes de onda invisibles al ojo humano. Mientras que las cámaras hiperspectrales pueden capturar cientos de bandas espectrales estrechas y contiguas, las multiespectrales típicamente capturan entre tres y diez bandas más amplias.

Ventajas sobre cámaras visuales y térmicas

- Mayor rango espectral: a diferencia de las cámaras visuales que solo capturan luz visible, o las térmicas que se centran en el infrarrojo, estas cámaras abarcan un rango mucho más amplio del espectro electromagnético.
- Detección de materiales: pueden identificar y diferenciar materiales basándose en sus firmas espectrales únicas, algo imposible para las cámaras convencionales.
- Análisis químico no invasivo: permiten analizar la composición química de objetos sin contacto directo.
- Mayor sensibilidad: detectan variaciones sutiles en la reflectancia espectral que las cámaras visuales o térmicas no pueden captar. Útil para identificar movimientos de tierra recientes que indiquen presencia de minas o IED.

### 1.3.4. LiDAR

Un sensor LiDAR mide la distancia a un objetivo emitiendo pulsos láser y calculando el tiempo que tardan en reflejarse. Con cada pulso, se obtienen datos tridimensionales de los puntos donde incide, creando mapas que perfilan o dibujan el entorno con cierto nivel de detalle.

A diferencia de los sistemas EO/IR, el LiDAR no depende de la luz visible, operando bien en condiciones de baja visibilidad.

La arquitectura básica consta de los siguientes elementos:

1. Emisor láser: genera los pulsos.
2. Receptor: detecta los ecos de retorno.

3. Unidad de procesamiento: calcula las distancias para crear mapas 3D.
4. Escáner y óptica: controla la dirección y dispersión del láser.

El LIDAR capacita a los UAS de observación para realizar nuevas funcionalidades:

- **Reconocimiento y mapeo 3D:** detección de objetos y obstáculos en detalle.
- **Navegación autónoma:** facilita la evitación de obstáculos en terrenos complejos, con grandes limitaciones de velocidad y altura de vuelo.
- **Vigilancia en zonas ocultas:** puede penetrar parcialmente vegetación y obstáculos (redes miméticas), proporcionando vistas algo más precisas de estructuras ocultas.

Estos sensores tienen ventajas e inconvenientes. Como ventajas se pueden destacar las siguientes:

- **Resolución 3D detallada:** capacidad para crear modelos tridimensionales frente a las imágenes bidimensionales de las cámaras EO/IR.
- **Independencia de la luz:** operación continua en total oscuridad o en condiciones climáticas adversas.
- **Penetración parcial:** posible detección de objetivos parcialmente ocultos en vegetación o matorrales.

Y como inconvenientes, se pueden destacar:

- Coste y peso: el hardware LiDAR es más costoso y puede requerir más peso, afectando la carga útil en drones.
- Limitaciones en rango y clima: el rendimiento puede verse afectado por condiciones de niebla intensa o lluvia, reduciendo la precisión de los datos. Además, se requiere baja velocidad para permitir el procesamiento.
- Alto consumo energético: aumenta la demanda de energía, limitando la duración de las misiones.
- No generan imágenes sino nubes de puntos: no detectan cristal o ventanas. Funcionan mal con superficies refractantes como espejos, masas de agua, zonas encharcadas, etc.
- Desde el punto de vista táctico, es un **sensor activo**, que emite un láser de gran intensidad y por ello permite ser detectado fácilmente. La cámara EO/IR por el contrario es un sensor pasivo.

A pesar de estos inconvenientes, su capacidad de generar mapas tridimensionales hace del LiDAR una herramienta muy usada sobre todo en sistemas no tripulados terrestres (UGV, *Uncrewed Ground Vehicle* – Vehículo Terrestre No Tripulado), para elaborar un mapeado del terreno sobre la marcha y permitir la navegación SLAM (*Simultaneous Localization And Mapping* – Localización y Mapeado Simultáneo).

## 1.4. Misiones ISR/ISTAR en UAS Clase I

Para UAS de Clase I, en especial los más pequeños, nano y micro, que van desde unos cientos de gramos hasta los dos kilogramos de peso, las cámaras instaladas han dado un gran salto de calidad en los últimos años, pasando de tener una imagen diurna con poca resolución y poco estabilizada, a poder proporcionar en la actualidad unas resoluciones de 4K<sup>37</sup> y una estabilización de dos/tres ejes completa, que, junto con el uso de varias lentes de focal fija o con pequeñas lentes de focal variable que permiten tener niveles de zoom óptico y digital de hasta 50 aumentos combinados. Además, disponen también de sensores infrarrojos con resoluciones de hasta 720p o 1024p, en módulos de unos pocos cientos de gramos.

Estos UAS se especializan en misiones ISR de apoyo al combatiente, a baja altura y a unos pocos km del operador, en misiones de unos 30 minutos. Proporcionan la vista “detrás de la colina”, mientras la compañía a la que dan apoyo permanece oculta. En esta categoría y tamaño no se dispone de designador láser, aunque se puede realizar una función de marcación de objetivos limitada, mediante las coordenadas de puntos de interés en pantalla. Es posible también que los blancos marcados aparezcan en aplicaciones C2 tipo ATAK<sup>38</sup>.

Para sistemas algo más grandes, categoría MINI (de hasta 15 kg) las cámaras mejoran de nivel ya que pueden ser más grandes y pesadas. Las capacidades de zoom óptico continuo, tanto en diurno como en IR, alcanzan altos niveles y la estabilización también mejora. En algunos casos disponen de iluminadores láser que permiten el cálculo de distancias y la designación de objetivos (misión ISTAR). Son cámaras de entre uno y dos kg de peso y más necesidades de consumo y ancho de banda de datos.

Estos sistemas permiten distancias mayores, entre 15 y 30 km, y persistencias de misión de hasta tres horas o más, por lo que dan su apoyo a nivel batallón, en áreas de responsabilidad

más grande, y pueden acompañar a convoyes realizando un vuelo por delante para evitar posibles peligros en el camino.

Por último, en Clase I, la categoría SMALL, que puede llegar a los 150 kg ya incorpora cámaras de un nivel óptico más elevado, que permiten, gracias a su mayor autonomía y alcance, realizar misiones de reconocimiento a mayor altura y con menos posibilidad de ser detectados por el enemigo. También se dispone ya de designadores láser, sirviendo para misiones ISTAR que se verán en el punto siguiente.

Estos UAS están capacitados para dar cobertura ISR o ISTAR a nivel brigada, pudiendo volar más alto y a más de 100 km, durante ocho o diez horas al menos. Proporcionan un nivel de información más táctico y menos inmediato que los sistemas MINI o MICRO.

El Mando de Artillería de Campaña (MACA) ha estado usando UAS SMALL del programa RAPAZ de la DGAM para misiones ISTAR, de identificación de objetivos, adquisición de blancos y apoyo a la corrección de tiro, aportando coordenadas con una gran precisión y trasladando toda esta información al Puesto de Mando, vía sistema IRIS/TALOS, el sistema de Mando y Control de Artillería.

En concreto se han empleado modelos AERTEC TARSIS 75, además de algún modelo de INTA como el ALO o el SAIDEN. El gran inconveniente de las misiones ISR es la presencia de nubes, humo o niebla. En esos casos, estos sistemas SMALL podrían ser equipados con pequeños sistemas de radar de apertura sintética SAR, que, como se ha visto, posibilitan el obtener información del terreno en condiciones meteorológicas adversas.

## 1.5. Misiones ISR/ISTAR en UAS Clase II Tácticos

En este caso, cuanto mayor es el peso máximo al despegue, más capacidad de combustible y, por tanto, de autonomía, lo que le confiere mayor persistencia de misión, y altura de vuelo desde la que observar.

Estos sistemas están equipados con cámaras de altas prestaciones, destacando la familia WESCAM MX<sup>39</sup> del fabricante americano L3 Harris.

Son cámaras de entre 10 y 30 kg de peso, con altas capacidades ópticas, infrarrojas normal y de onda corta (SWIR, *Short Wave Infrared* – Infrarrojo de Onda Corta), y dotadas de designador láser. Disponen de sistemas de estabilización en los tres ejes que permiten una imagen nítida y sin vibraciones.

37. La resolución 4K se refiere a una calidad de imagen que cuenta con aproximadamente 4000 píxeles horizontales. En general 4096x2160 o 3840x2160 píxeles (horizontales x verticales), dependiendo de la relación de aspecto de la pantalla

38. <https://tak.gov/products>

39. <https://www.l3harris.com/all-capabilities/wescam-mx-series>



Otros ejemplos de este tipo de cámaras son las del fabricante israelí IAI, en su modelo MOSP (*Multi-Sensors Optronic Stabilized Payload* – Carga Útil de Multi Sensores Optrónicos Estabilizados) que en versiones antiguas equipan el sistema PASI (Plataforma Autónoma Sensorizada *Inteligente*) *Searcher II* táctico del Ejército de Tierra.

Un ejemplo de misiones de observación con el sistema PASI del Ejército de Tierra han sido las labores de vigilancia contraincendios en las campañas Centinela Gallego.

También en esta categoría los sistemas son capaces de portar pequeños radares SAR que le permiten complementar las capacidades de observación de las cámaras EO/IR.

### 1.6. Misiones ISR/ISTAR en UAS Clase III MALE

Estos grandes y complejos sistemas nacieron a finales del siglo pasado, precisamente con el objetivo de realizar estas misiones y sustituir las plataformas tripuladas de reconocimiento, cuyas operaciones sobre territorio enemigo suponían un gran riesgo.

Al disponer de gran capacidad de carga, sus sensores son de muy altas prestaciones. Destacan sistemas como los sensores de Collins Aerospace de la familia MS-177<sup>40</sup>, con un peso de casi 250 kg, que puede ser equipado en el Northrop-Grumman Global Hawk.

En esta clase de UAS de gran tamaño es común que se pueda portar, a la vez, sensores visuales EO/IR y radares SAR.

Un ejemplo de estos sistemas es el NAGS (NATO *Allied Ground Surveillance*, Vigilancia Aliada del Terreno) de la OTAN. Se trata de una plataforma avanzada de vigilancia y reconocimiento que utiliza el UAS RQ-4D Phoenix, una variante del Global Hawk.



Imagen 33. RQ-4D Phoenix, versión del Global Hawk, del sistema NAGS. Nótese el radar SAR como carga útil. Fuente: NATO / Northrop Grumman.

El NAGS opera mediante la recopilación de datos de radar SAR y sensores visuales-Infrarrojos EO/IR, para monitorear movimientos terrestres y actividades en áreas extensas, proporcionando inteligencia precisa.

El sistema NAGS proporciona información estratégica en tiempo real, apoyando la toma de decisiones operacionales en la OTAN y complementa los sistemas de vigilancia aérea AEW&C (*Airborne Early Warning and Control*, Control y Alerta Temprana Embarcada).

### 1.7. Misiones de Vigilancia Marítima VIGMA

La vigilancia marítima desde aeronaves ha sido una de las misiones que requieren el complemento de las capacidades de radares y sensores terrestres y marítimos para vigilar más allá de las aguas territoriales.

Sus aplicaciones van desde recopilar información sobre el tráfico marítimo conjugando los sistemas de detección radáricos y sensores ópticos/IR con el sistema de identificación automático AIS (*Automatic Identification System* – Sistema de Identificación Automática), el control de zonas de pesca o de vertidos de combustibles al mar, entre otros.

De nuevo la miniaturización de la tecnología de los sensores y el no ser requerido el empleo sonoboyas o armamento, ha permitido el empleo de UAS para este fin, con la ventaja de poder mantener una gran autonomía y poder utilizar desde superficie a los pilotos y operadores de sensores.

Su empleo en espacio segregado sigue siendo una limitación que requiere de un tiempo de planificación y reserva de espacio, restando flexibilidad para su empleo intensivo.

El Ejército del Aire y del Espacio actualmente conjuga esta misión con la del servicio de búsqueda y salvamento SAR (*Search And Rescue* - Búsqueda y Rescate) en sus aeronaves D4 CN-235. En esta misión es requerido el empleo de cadenas de balsas a lanzar desde la rampa trasera y la capacidad de botes de humo y bengalas, por lo que este empleo todavía no está diseñado para empleo por UAS.

No obstante, la incorporación del Airbus SIRTAP a partir del 2026, con los sensores adecuados, podría complementar el empleo de aeronaves de VIGMA con UAS, y de aeronaves con esa doble capacidad VIGMA y SAR sobre C-295.

40. [https://prd-sc102-cdn.rtx.com/raytheon/-/media/ca/product-assets/marketing/a/airborne-reconnaissance/19-1279-01\\_ms-177-ds.pdf](https://prd-sc102-cdn.rtx.com/raytheon/-/media/ca/product-assets/marketing/a/airborne-reconnaissance/19-1279-01_ms-177-ds.pdf)

Por parte de la Armada, los UAS se emplean desde los buques para ampliar la cobertura de los sensores a bordo y complementar las capacidades de los helicópteros en labores de vigilancia.

Se han desplegado en misiones contra la piratería desde los buques de acción marítima (BAM), empleándose para ello los UAS Marine Instruments MD5-AIRFOX, y en la operación Atalanta, desde fragatas mediante el UAS Boeing Insitu ScanEagle.

### 1.8. UAS durmientes. Modo “perching”

El empleo de UAS durmientes o en *stand-by*, también llamado modo *perching*, se está considerando principalmente para escenarios urbanos, donde se pueden posicionar estos drones, normalmente de pequeño tamaño, en las zonas altas de los edificios, de tal forma que se dificulta su identificación por patrullas terrestres, pudiendo pasar largo tiempo con un consumo mínimo de batería, esperando a ser activados.

Estas misiones son específicas de sistemas UAS Clase I de categoría nano y micro, que, por su tamaño, son los únicos que pueden posicionarse en lo alto de muros, edificios, y marquesinas, y permanecer sin ser detectados.

También pueden tener activa la cámara y llevar un micrófono y continuar la misión durante horas, enviando información y consumiendo un mínimo de batería, al no tener que realizar el vuelo.

### 1.9. Otras misiones de reconocimiento y vigilancia

Otras misiones de este tipo incluyen análisis de la calidad del aire, detección de presencia de gases tóxicos, agentes biológicos o radiación. Se pueden establecer perfiles de vuelo para cartografiar la presencia de estos elementos en un área extensa.

Las cargas útiles necesarias suelen ser sensores NBQ (Nuclear, Bacteriológico y Químico) que son capaces de detectar pequeñas proporciones de estos componentes en el aire. También es posible realizar esta operación de detección de contaminantes en el interior de edificios, túneles o instalaciones.

Otra variante de estas operaciones es la destinada al mapeado de un terreno, ya sea para el levantamiento topográfico o fotogramétrico, o para determinar las zonas de coberturas de puestos de vigilancia, sensores, cámaras, etc., y poder determinar trayectorias de acercamiento a zonas vigiladas.

En estos casos los sensores suelen ser cámaras fotográficas de gran resolución o cámaras hiperespectrales si es necesario tener información sobre la composición del terreno, zonas recientemente excavadas o rellenadas, etc.

Un caso particular de este tipo de operaciones puede ser las de detección de minas o IED's sobre el terreno o enterradas. Estas acciones son particularmente difíciles si los dispositivos están muy enterrados o son de un material plástico. Se requiere volar a baja altura y velocidad y es importante disponer de procesamiento de la imagen a bordo para tener una mayor velocidad de detección.

En este caso los sensores suelen ser sobre todo cámaras hiperespectrales, capaces de identificar pequeñas variaciones en la composición del terreno, que indican recientes movimientos de tierra, presencia de objetos extraños como cables, etc.

Se pueden utilizar detectores magnéticos si se buscan dispositivos realizados en metal o incluso georradars<sup>41</sup> para detectar objetos enterrados. Estas operaciones aún no están muy extendidas y los sistemas que hay proceden de la investigación y desarrollo tanto de universidades como de empresas privadas.

Al mismo tiempo, se ha desarrollado toda una industria del camuflaje y la ocultación para evitar la detección por parte de los UAS en las misiones de reconocimiento. Se tiende a enmascarar las formas y características de los posibles objetivos, con redes miméticas que ofrezcan protección multispectral.

Además, en la guerra de Ucrania donde ya se está empleando los algoritmos de identificación de imágenes por *Machine Learning*, se aplica con bastante éxito el camuflaje con objetos que dificulten la identificación a estos algoritmos.

Un ejemplo de ello es la colocación de neumáticos alrededor y encima de aviones aparcados en bases aéreas para engañar a los algoritmos de visión y evitar que los UAS con identificación autónoma puedan caracterizarlos y atacarlos

41. Un georradar es una herramienta que utiliza ondas de radar para explorar el subsuelo sin necesidad de excavaciones. Funciona enviando pulsos electromagnéticos que penetran en el terreno y registran las reflexiones que ocurren al encontrar distintos materiales o estructuras subterráneas. Esta técnica permite detectar objetos, cavidades, tuberías, y evaluar la composición del suelo con precisión y rapidez.

## 2. MISIONES DE C2 Y GUERRA ELECTRÓNICA

### 2.1. Misiones C2 (Command and Control, Mando y Control)

Las aeronaves de C2 deben de cumplir una serie de características que las diferencian del resto, entre las que se encuentran: gran tiempo de persistencia de misión, capacidad de albergar sensores de gran alcance de detección y por lo tanto de gran tamaño y que requieren de fuente potente de energía, así como de un elevado número de personas para gestionar los requerimientos de control aéreo.

Como ejemplos se pueden citar las misiones AEW (*Airborne Early Warning* – Alerta Temprana Embarcada) y misiones de gestión del campo de batalla (*Battlefield Management*) mediante aeronaves Joint-STAR (*Joint Surveillance Target Attack Radar System* – Sistema Conjunto de Radar de Vigilancia y Ataque de Objetivos).

Estas misiones se han estado desarrollando hasta ahora con plataformas específicas como los aviones Boeing E-3 AWACS (*Airborne Warning and Control System* – Sistema de Control y Alerta Embarcado) y el retirado Northrop Grumman E-8 JSTAR.

La OTAN ha establecido un programa de sustitución de los E-3 AWACS de alerta aérea y control denominado AFSC (*Alliance Future Surveillance and Control* – Futura Vigilancia y Control Aliado), que se definirá como un sistema-de-sistemas y que hasta ahora se han definido tres proyectos, siendo uno de ellos liderado por General Atomics sobre una plataforma UAS.



Figura 11. Representación conceptual del programa AFSC OTAN de vigilancia y control. Fuente: web OTAN



Imagen 34. Bombardero ruso en su aeródromo, cubierto de neumáticos para despistar a los sistemas autónomos de búsqueda de objetivos. Fuente: Telegram. Sin atribución.

Por último, indicar que, como variante de misiones de reconocimiento y vigilancia, en algunos casos éstas se pueden realizar en el denominado modo cautivo (en inglés *tethering*), que consiste en que el UAS está conectado a una fuente de alimentación en tierra a través de un cable de alimentación y a la vez con un cable de comunicaciones o fibra óptica. Para ello, el UAS debe estar capacitado para operar de este modo, con la compatibilidad de sus conexiones eléctricas con la estación de energía en tierra, y las bobinas de cable.

Las ventajas de este modo de observación son la mayor persistencia de misión, al no depender de baterías y el no ser necesario radiar señales ya que tanto las órdenes de mando, la telemetría y la señal de vídeo se pueden enviar mediante el cable de comunicaciones.

Los inconvenientes de este modo son la limitada altura de operación debido a la longitud de los cables, y a la escasa maniobrabilidad del UAS ya que está obligado a permanecer en la vertical.

En algunos casos se podría usar sobre vehículos, limitando mucho la velocidad de estos y ajustando la altura de vuelo y despliegue de cable. Siendo útil de este modo, por ejemplo, para proporcionar vista aérea y alerta temprana de emboscada a convoyes de vehículos.

El uso de UAS dentro del programa AFSC tiene como objetivos:

**Recopilación de datos:** los UAS pueden proporcionar capacidades de vigilancia adicionales, permitiendo la recopilación de datos en tiempo real desde diferentes ángulos y altitudes, lo que complementa las capacidades de los aviones tripulados como el Boeing E-7A Wedgetail. Este avión de alerta temprana y control aéreo (AEW&C) se considera una solución interina que permitirá a la Alianza mantener sus capacidades operativas mientras se desarrolla el sistema AFSC completo.

**Interoperabilidad:** la integración de UAS en el marco del AFSC permitirá a la OTAN operar de manera más efectiva en un entorno de múltiples dominios, donde la coordinación entre diferentes plataformas (aéreas, terrestres y marítimas) es esencial.

**Reducción de riesgos:** el uso de UAS puede ayudar a reducir el riesgo para el personal militar en situaciones de conflicto, permitiendo realizar misiones de reconocimiento y vigilancia sin poner en peligro al personal.

**Innovación tecnológica:** la incorporación de tecnologías emergentes, como la inteligencia artificial y el aprendizaje automático, en los UAS puede mejorar la capacidad de análisis de datos y la toma de decisiones en tiempo real.

En Estados Unidos, la sustitución de los E-8 JSTAR corre a cargo del programa ABMS (*Advanced Battle Management System* Sistema Avanzado de Gestión de la Batalla), que también aspira a sustituir parte de las misiones de los E-3 AWACS, y se plantea también como un sistema de sistemas, en el que un elemento indispensable es el uso de los UAS MALE y HALE, como portadores de sensores y nodo de comunicaciones.

## 2.2. Misiones de guerra electrónica o *electronic warfare (EW)*

En las misiones de EW, tanto las de apoyo, ataque y recopilación de información, como las de contramedidas y protección, los UAS se han convertido en valiosas herramientas para contribuir en las operaciones y disminuir el riesgo sobre las tripulaciones.

La capacidad de estos medios ha sido posible gracias a la miniaturización de los componentes electrónicos y la ventaja

de su larga permanencia en el aire, lo que permite una constante vigilancia del espectro electromagnético.

Además, normalmente los sistemas radioeléctricos en las bandas usadas para comunicaciones y radar, tienen cobertura de línea vista, es decir, no pueden propagarse detrás de obstáculos y esto hace que la altura sea un parámetro crítico.

El hecho de poder disponer de antenas transmisoras y receptoras a las alturas de vuelo supone una enorme ventaja en cuanto alcance comparada con los medios terrestres. La limitación en este caso viene dada por el tamaño de los equipos a bordo, que, al estar limitado por la capacidad de carga y el volumen disponible, la potencia de los transmisores queda restringida, al igual que las ganancias en las antenas a bordo.

Aun así, con la mejora de las tecnologías y la autonomía, estos sistemas UAS se están convirtiendo en herramientas indispensables en la guerra electrónica.

Por otra parte, el empleo de tecnologías de detección de señales de telefonía móvil, también se han convertido en un elemento más a incluir entre las señales a interceptar. Tecnologías como IMSI Catcher (IMSI: *International Mobile Subscriber Identity*, identidad internacional del subscriptor móvil), son fáciles de implementar en un UAS y dirigirlo a la zona de interés.

Por último, un novedoso empleo que se está viendo en Ucrania es el de atracción de las defensas aéreas enemigas para reducir su stock de misiles y saturar sus sensores, empleando para ello generadores de señal transversal radar, que simulan ser aeronaves mucho más grandes para los sistemas de radar<sup>42</sup>.

La novedad en este caso es emplear pequeños UAVs para ello, al igual que en 1982 Israel usó grandes UAS Samson y Delilah en el Valle de la Bekaa para un propósito similar.

### 2.2.1. Misiones ELINT y SIGINT

Las misiones de inteligencia electrónica (*electronic intelligence*, ELINT) y de señales SIGINT) buscan interceptar, analizar y caracterizar señales electromagnéticas emitidas por sistemas de comunicación y radares del adversario.

Para estas misiones, los UAS han de poder ser equipados con sistemas específicos de guerra electrónica, los cuales suelen estar compuestos por receptores de alta sensibilidad para

42. <https://galaxiamilitar.es/rusia-desarrolla-el-nuevo-dron-kasatka-para-agotar-los-sistemas-de-defensa-antiaerea-de-ucrania/>



interceptar frecuencias específicas, antenas direccionales y matrices de sensores para la ubicación de emisores, y procesadores avanzados para analizar y clasificar señales. Esto implica, además, un consumo elevado de energía y el uso de unas antenas con alta ganancia.

Por todos esos condicionantes, estas misiones se suelen desarrollar mediante UAS de gran tamaño, clase III MALE o HALE, como los sistemas Predator A y B, y Global Hawk.

A un nivel más táctico, se emplean sistemas más pequeños que suelen portar cargas menos capaces, de menor alcance y sensibilidad. Para compensarlo, las misiones suelen incluir vuelos múltiples con varios UA, cubriendo áreas solapadas y relevándose más frecuentemente.

A raíz de la guerra de Ucrania, se están desarrollando en ese país, a nivel local, varios programas de este tipo, entre los que destaca el sistema GETAKA<sup>43</sup>.

El desarrollo de este sistema está liderado por la empresa Infozakhyst<sup>44</sup>, desarrollándose en Ucrania, para su empleo en la guerra y está permitiendo disponer de sistemas de guerra electrónica repartidos entre varios UAS y coordinados por una sola GCS como estación de control terrestre. Se posibilita la detección de aeronaves, así como de los movimientos terrestres y la localización de radares y centros de comunicaciones.



Figura 12. Sistema Gekata de equipamiento de guerra electrónica en múltiples UAS. Fuente: web infozahyst.

Tiene como principales misiones:

- Búsqueda, detección, clasificación e identificación de impulsos de señales de las estaciones de radar, medidas de apoyo a la guerra electrónica, guerra antiaérea y aviones.
- Determina los modos de operación y áreas de reconocimiento, basado en los principios de radar activo, también denota sus características.

- Detecta y reconoce las señales de radio de los blancos terrestres, blancos de superficie, blancos aéreos (incluidos los blancos sobre el horizonte).
- Detecta y reconoce fuentes de emisión de radio en el modo de tiempo real.
- Aumenta la capacidad de los sistemas de guerra antiaérea para detectar aeronaves de baja visibilidad, como las provistas de tecnología stealth, o reducción de la señal de eco radar.

### 2.2.2. Caso particular misión COMINT telefonía móvil. IMSI Catcher

Un sistema IMSI Catcher es un dispositivo que permite interceptar comunicaciones de dispositivos móviles al suplantar temporalmente una estación base de telefonía móvil.

Funciona creando una estación base virtual, que engaña a los teléfonos cercanos para que se conecten a ella, capturando así su IMSI, junto con otros datos de identificación y comunicación, sin necesidad de autenticación del dispositivo. Para el usuario del teléfono esto es transparente, no nota ningún cambio y no es consciente de la nueva situación.

El principio de funcionamiento consiste en emitir una señal más potente que las estaciones base reales cercanas, haciendo que los dispositivos móviles se conecten al catcher automáticamente al detectar la señal más fuerte.



Imagen 35. IMSI Catcher a bordo de un UAS hexacóptero. Fuente: Wikipedia. Autor Cargyrak. Licencia Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0

43. [https://infozahyst.com/en/product/gekata\\_eng/](https://infozahyst.com/en/product/gekata_eng/)

44. Compañía tecnológica ucraniana. <https://infozahyst.com/en/about-us/>

Una vez conectado, el catcher puede extraer información del dispositivo, como el IMSI y la ubicación aproximada. Puede trabajar en varias bandas de frecuencia y puede configurarse para interceptar datos o rastrear dispositivos específicos. También se pueden interceptar llamadas y mensajes y suplantarlos por otros.

Este dispositivo se compone de los siguientes módulos:

1. Transceptor de radio: emite la señal de la estación base falsa y recibe los datos del dispositivo móvil.
2. Unidad de procesamiento de señales: interpreta y almacena la información recibida de los dispositivos.
3. Antenas de alta ganancia: mejoran el alcance de la captura de dispositivos.
4. Software de decodificación y análisis: permite clasificar, decodificar y analizar la información interceptada.

En general, las capacidades que aporta esta carga útil en un UAS son:

- Identificación de dispositivos móviles: permite obtener los IMSI de dispositivos en una zona específica, útil para identificar personas de interés.
- Rastreo de movimientos: al detectar la posición de dispositivos en distintos puntos de una misión, es posible rastrear patrones de movimiento.
- Interceptación de comunicaciones: en ciertos casos, permite acceder a metadatos o mensajes, brindando inteligencia adicional en entornos hostiles o de conflicto.
- Protección anti-acceso en un área, se puede tener una lista “blanca” de teléfonos en una zona, y si se detecta uno fuera de esa lista, se activa la alarma anti-intrusión.

## 2.3. Funcionalidad de relé de comunicaciones

Dentro de las misiones relativas a C2 que pueden realizar los UAS militares, se incluyen también las que lo convierten en un relé, es decir, se dispone de una antena transmisora/receptora en el aire que retransmite y amplía el alcance, permitiendo conexiones a mayor distancia que con la infraestructura terrestre.

Esta funcionalidad de relé de comunicaciones en UAS requiere de varios componentes esenciales:

**Antenas de alta ganancia y amplificadores:** para asegurar la retransmisión efectiva de las señales, estos UAS emplean antenas direccionales de alta ganancia que mejoran el alcance y la calidad de la transmisión. También se podrían usar antenas omnidireccionales pero su menor ganancia las hace menos efectivas. En algunos casos, si el peso, volumen y consumo energético se puede asumir en la carga del UAS, se emplean amplificadores de potencia para compensar las pérdidas en el aire y aumentar aún más el alcance.

**Transceptores:** los UAS actuando como relé de comunicaciones cuentan con enlaces de datos avanzados, tanto en banda UHF y VHF (usualmente para aplicaciones militares tácticas) como en banda Ku, Ka y C para transmisión de datos de mayor capacidad.

**Sistemas de control de red y enrutamiento dinámico:** los UAS pueden incluir un módulo de control de red y un software de enrutamiento dinámico que permite ajustar la red a medida que se desplazan los extremos del enlace en el terreno.

**Sistemas eléctricos dimensionados:** dado que el relé de comunicaciones requiere un consumo energético elevado, los UAS han de incrementar su capacidad eléctrica o reducir su autonomía si dependen de baterías. Una solución para relés fijos es usar sistemas *tethering* o cautivos, con conexión por cable con una unidad de energía en tierra. La altura máxima operativa suele estar en torno a los 100 m y tienen que ser sistemas multicópteros para permanecer fijos. En estos casos se consigue una persistencia de misión muy extensa.

A pesar de sus capacidades, existen limitaciones técnicas y operativas en el uso de UAS para misiones de relé de comunicaciones:

- Duración de la misión: la autonomía de vuelo sigue siendo una limitación, particularmente en UAS de pequeño tamaño (Clase I), cuya duración de vuelo depende de la carga de batería, lo que afecta la continuidad del relé de comunicaciones.
- Vulnerabilidad a interferencias y ciberataques: a pesar de los sistemas de protección, la posibilidad de sufrir interferencias electrónicas o ciberataques es una amenaza constante, especialmente cuando se opera en zonas con adversarios técnicamente avanzados. Al estar en el aire las antenas están más expuestas a recibir interferencias hostiles.
- Dependencia de enlaces de línea de visión (LoS, *Line of Sight*) o Satélite: los UAS dependen de enlaces de

comunicación de línea de visión (LoS) o satelitales para conectarse a la infraestructura terrestre. En ambientes de guerra electrónica, la disponibilidad de estos enlaces puede verse comprometida.

- Limitación de ancho de banda: la capacidad de retransmitir datos a grandes distancias puede verse restringida por el ancho de banda disponible, lo que afecta la calidad y cantidad de información transmitida, en especial en operaciones que requieran video de alta resolución y metadatos.

Para superar estas limitaciones y mejorar la capacidad de los UAS en misiones de relé de comunicaciones, se pueden anticipar varias áreas de desarrollo:

- Uso de redes de comunicaciones en malla (*Mesh Networks*): la implementación de redes en malla permitirá a los UAS comunicarse entre sí sin depender de un enlace directo a una estación base o satélite, proporcionando redundancia y una mayor cobertura en el campo de batalla.
- Mejoras energéticas y baterías más eficientes: la incorporación de baterías de mayor capacidad y eficiencia, así como fuentes de energía alternativas, como la carga solar o híbrida, extenderá significativamente el tiempo de operación de los UAS de relé.
- Mayor resistencia a guerra electrónica: el desarrollo de tecnologías avanzadas de frecuencia de salto adaptativo, junto con técnicas de dispersión espectral, mejorarán la resistencia de las comunicaciones UAS a interferencias y bloqueos de señal.

## 2.4. Otros usos relativos a C2

Para finalizar con este tipo de misiones de C2 y EW, es necesario nombrar también los sistemas especializados en la elaboración de mapas de coberturas radioeléctricas, tanto de sistemas de comunicaciones, radar o radioayudas a la navegación aérea.

Dentro de este último aspecto, destacan los sistemas de ayuda a la calibración de sistemas de navegación, como pueden ser el ILS (*Instrumental Landing System*, sistema de aterrizaje instrumental) instalados en los aeropuertos y bases aéreas, y las radioayudas terrestres como el VOR (*VHF Omnidirectional Radiobeacon*, baliza omnidireccional de VHF) y el TACAN (*Tactical Navigation*, navegación táctica).

En este caso, los UAS están equipados con instrumentos de calibración adecuados y realizan los vuelos en las áreas de cobertura, transmitiendo a tierra los datos de calidad de la señal, potencia, coberturas, interferencias, etc. Estas misiones ayudan a poner a punto los equipos y reducir al mínimo los vuelos tripulados de los aviones de calibración, que realiza el CECAF, Centro Cartográfico y Fotográfico del Ejército del Aire y del Espacio.

## 3. MISIONES DE ATAQUE

Hay una amplia variedad de misiones de ataque que se pueden desarrollar desde UAS.

Dependiendo del tamaño, el UAS puede ser un portador de efectores o ser él mismo el efector, en el caso de sistemas pequeños y desechables. En este caso ya no se trataría conceptualmente como un UAS sino como munición.

Los sistemas clase II o clase III, por su tamaño y capacidades, pueden ser vectores de armamento e incluso pueden llevar sus propios sistemas de guiado de precisión a bordo.

### 3.1. Misiones de ataque con UAS Clase III MALE y UCAS

Aunque es una denominación en desuso, se entiende por UCAS (*Unmanned Combat Air System*) un sistema aéreo no tripulado de combate. Este concepto se empleó sobre todo para prototipos como el sistema europeo nEUROn, que fue un desarrollo conjunto entre Francia, Grecia, Italia, España, Suecia y Suiza, con el objetivo de diseñar un UAS autónomo basado en un ala volante, que pudiera funcionar en zonas de combate de amenaza media a alta.



Imagen 36. UCAS nEUROn en su primer vuelo en la factoría Dassault (Istres, Francia). Fuente: Flickr Tristan K. <https://www.flickr.com/photos/snapandsee/>

Otros proyectos similares de UCAS han sido el británico BAE Systems Taranis, el turco Bayraktar Kizilelma, los estadounidenses Boeing X-45 y Northrop Grumman X-47B, el indio DRDO AURA y los rusos Mikoyan Skat y Sukhoi Ojotnik.

Por otra parte, los sistemas MALE, originalmente empleados para ISR/ISTAR, se han usado también desde principios de siglo como plataformas para misiones de ataque. Normalmente estos sistemas pueden llevar misiles aire-superficie del tipo Hellfire (entre 45 y 50 kg, y guiado láser) y bombas guiadas tipo GBU-12 Paveway II de unos 230 kg de peso, de guiado semi-activo por láser.

Para ello se requiere que las alas estén reforzadas con puntos de anclaje y que disponga de railes de lanzamiento.

El sistema puede usar sus propios designadores láser, controlados por el operador de carga útil, que es el responsable de fijar el blanco, mientras que el operador del UAS actúa como comandante de la aeronave y efectúa el lanzamiento una vez que ha recibido la orden.

También se pueden usar designación láser desde otras plataformas tácticas o desde tierra, mediante JTAC (*Joint Terminal Attack Controller*, controlador de ataque terminal conjunto), un tipo de misión que surgió a partir de la guerra de Vietnam con el objetivo de hacer más precisos los ataques aéreos y minimizar los daños colaterales y por fuego amigo, designando los objetivos en proximidad, desde el terreno y con confirmación visual.

Los cometidos del JTAC son muchos, pero el principal es el apoyo a las operaciones CAS (*Close Air Support*, apoyo aéreo cercano). Estas misiones han de ser muy bien coordinadas desde tierra por la presencia de tropas propias en las cercanías del objetivo.

A la altura de vuelo de las aeronaves de ataque, tanto tripuladas como no tripuladas, el distinguir los objetivos puede ser difícil, por lo que en determinadas condiciones se deja la responsabilidad a los JTAC que son los que confirman y designan el blanco.

### 3.2. Misiones de ataque con UAS Clase II Tácticos

Los sistemas tácticos clase II, al ser de menos tamaño tienen que ser equipados con armamento más ligero, pequeños misiles guiados o cohetes no guiados, en muchos casos diseñados específicamente, como los cohetes con guiado

semiactivo de 70 mm o los misiles MAM-C y MAM-L de la empresa turca Rocketsan.

En España se están desarrollando micromisiles, de unos tres kg de masa, denominados A-Fox<sup>45</sup> y fabricados en consorcio por AERTEC e INSTALAZA, en principio para ser utilizados por los UAS Small Tarsis W.



Imagen 37. UAS AERTEC TARSIS W con prototipo de cohetes A-Fox. Fuente: Imagen propia. AERTEC / FEINDEF 23.

Este tipo de munición no es capaz de penetrar blindajes, pero puede ser efectiva contra objetivos más ligeros como vehículos logísticos, depósitos de combustible, o unidades terrestres.

### 3.3. Misiones de ataque con UAS Clase I

En la actualidad, existe una amplia gama de misiones de ataque ejecutadas por aeronaves no tripuladas de pequeño tamaño, aunque anteriormente estas misiones se limitaban a las municiones merodeadoras.

Los conflictos recientes han evidenciado un incremento significativo en el empleo de UAS de pequeño tamaño como efectores, impulsado por diversas necesidades operativas, en especial en el prolongado conflicto en Ucrania.

En este escenario, factores como la escasez de munición de artillería, la limitada disponibilidad de fuerzas aéreas y la gran extensión del frente, han motivado la búsqueda de soluciones innovadoras, aprovechando las lecciones aprendidas en conflictos recientes, como los de Siria y Nagorno-Karabaj.

En este contexto, se pueden identificar dos categorías de misiones de ataque para estos UAS: aquellas en las que el sistema porta un detonador y el explosivo para impactar

<sup>45</sup><https://aertecsolutions.com/proyecto/micromisil-%ce%bcasm-a-fox-guiado-navegacion-y-control/>



directamente sobre el objetivo, resultando en la pérdida del sistema tras la misión, conocidas como misiones de ataque de un solo uso OWA, y las misiones en las que el UAS transporta un artefacto explosivo que suelta sobre el objetivo, permitiéndole regresar a su punto de origen y estar disponible para futuras misiones.

### 3.3.1. UAS OWA o drones de ataque de un solo uso

En general estos sistemas no son recuperables, a menos que estén preparados para volver al origen si no encuentran objetivo, y para lo que deben de disponer de sistemas de orientación y batería suficiente para ello.

La recuperación de un OWA con su armamento sin detonar es una labor arriesgada y en la mayoría de las ocasiones es más seguro hacerlo detonar en algún lugar controlado.

Generalmente estos sistemas no son considerados UAS, tal y como se han descrito en este cuaderno. Se les suele clasificar como munición del tipo guiada o inteligente, por su diseño y empleo en un solo uso.

En base a ello, puede que no estén sometidos a todas las certificaciones de aeronavegabilidad y licencias de operador que sí tienen los UAS convencionales.

Se pueden distinguir dos grupos diferenciados, en función de cómo han sido fabricados y su complejidad y precio.

- Los sistemas conocidos como munición merodeadora (en sus orígenes también llamados drones suicidas), que son sistemas con calidad de fabricación militar, con sensores precisos y sistemas de comunicaciones muy fiables.
- Por otra parte, los UAS artesanales de un solo uso, derivados de drones comerciales o fabricados a base de elementos de consumo, de muy bajo coste y con relativa disponibilidad en el mercado. La mayor dificultad en su fabricación es el acceso a la cabeza de guerra o explosiva y a la espoleta.

#### Munición merodeadora o loitering munition

La munición merodeadora, ampliamente conocida y probada en conflictos recientes, comprende sistemas derivados de UAS, específicamente diseñados para realizar un vuelo de reconocimiento y detección de objetivos, previo al ataque.



*Imagen 38. Sistema de munición merodeadora Switchblade 600. Fuente: web Aerovironment*

Una vez que el objetivo es identificado, el operador tiene la capacidad de ordenar el ataque, momento en el cual el sistema inicia una trayectoria de impacto en la que combina su energía cinética con la detonación de una carga explosiva. Si la carga es dirigida y colocada con precisión, esta munición tiene el potencial de neutralizar, o incluso destruir por completo, vehículos blindados y carros de combate.

Los más pequeños suelen tener un tamaño adecuado para ser transportados por un combatiente en su tubo lanzador, una autonomía de unos 30 minutos y más de 20 km de alcance.

Este tipo de munición empezó a fabricarse en la década de 2010, siendo varios los países que predominaban en su fabricación:

- Israel, con las empresas IAI con su sistema Harop, Uvision con la familia Hero, Rafael con el Spike Firefly, Bluebird con el SpyX, o Elbit, con el sistema SkyStriker.
- Estados Unidos, destacando Aerovironment con sus sistemas Switchblade 300 y 600, y más recientemente Anduril con sus sistemas Altius y Bolt, y Teledyne-Flir con los UAS Rogue 1.
- China, con sistemas como el CH-901, DFX-50 y XS101 de diversos fabricantes estatales.
- Rusia, sobre todo con la empresa Zala y su sistema Lancet.
- Irán, cuya empresa HESA fabrica los conocidos UAS Shahed 131 y 136.
- Polonia, con la empresa WB Group con el sistema Warmate.

También en España se cuenta con empresas con capacidad de fabricar este tipo de sistema/munición, destacando Arquimea con sus UAS Q-Slam y STS (Swarming Technologies and Solutions) con sus sistemas Strix y Milvus.

En los desarrollos iniciales de esta munición no se consideraba su recuperación en caso de no localizar un objetivo. Sin embargo, en la siguiente generación, se introdujo la posibilidad de recuperar aquellos que no hubieran sido utilizados. La activación de la espoleta se realizaba únicamente en la fase de proximidad al objetivo; de este modo, si no se alcanzaba el blanco o no se iniciaba el ataque, la espoleta no se activaba, lo que facilitaba una recuperación más segura.

Recientemente, algunas variantes disponen de explosivo termobárico<sup>46</sup> de alta capacidad de destrucción, como las últimas modificaciones rusas de los sistemas iraníes Shahed 136<sup>47</sup>.

Como ya se ha comentado, estos sistemas son considerados munición guiada o inteligente, y, al ser fabricados por empresas del sector de defensa, están sujetos a las restricciones habituales de esta industria.

Los costes, los procesos de fabricación, las pruebas y, especialmente, los potenciales compradores y usuarios presentan características marcadamente distintas de aquellas asociadas a los modelos derivados comerciales que se analizarán a continuación.

### UAS OWA artesanales o derivados comerciales

Son una amplísima variedad de sistemas, fabricados en principio artesanalmente, pero a los que se les ha ido incorporando procesos de fabricación en serie.

En su mayoría derivados de UAS comerciales o artesanales de competición, de mucha velocidad, potencia y maniobrabilidad, y en su mayoría guiados por la visión del operador, a través del enlace de comunicaciones entre la cámara y unas gafas especiales que porta. Son los conocidos como FPV (*First Person View*), denominación que procede de la sensación del operador de ir dentro del UAS.

Básicamente consisten en un chasis del tipo cuadricóptero, de material ligero, fibra de carbono, aluminio, incluso madera o plástico ABS (*Acrylonitrile Butadiene Styrene*) proveniente de impresoras 3D. A ese chasis se le añaden motores y

controladores en cada brazo, un autopiloto sencillo y una batería de polímero de litio de gran tamaño. No suelen disponer de sensor GPS porque donde operan dicha señal no es fiable o directamente no existe, y no es necesaria para el guiado, ya que éste es visual por parte del operador equipado con las gafas especiales.

Además, disponen de una cámara de navegación enfocada en la dirección de vuelo y un enlace de comunicaciones, que suele ser analógico para poder usarse en presencia de cierto grado de interferencias electromagnéticas debidas a la guerra electrónica.

Debajo se suele colocar la carga explosiva, que básicamente suele ser una granada de mortero o una cabeza de RPG (*Rocket Propelled Grenade*) y en cuya parte frontal suelen llevar una espoleta de contacto rudimentaria, muchas veces consistente en dos alambres separados que se juntan al impactar contra el blanco.



Imagen 39. Combatiente ucraniano con un UAS FPV OWA, dotado de una cabeza explosiva de RPG. Fuente: Facebook Great Staff Armed Forces of Ukraine. Permisos solicitados.

La letalidad de estos sistemas también se basa en que el operador puede buscar el objetivo y perseguirlo mientras se mueva y puede hacerlo impactar, dependiendo de su habilidad, buscando los puntos débiles, como rejillas de ventilación del motor, cadenas del blindado, hueco entre la barcaza y la torre del carro, etc. Tal y como lo describía un combatiente ucraniano, son como granadas de mortero que vuelan, se paran, miran y te buscan, son capaces de entrar por una ventana o una puerta, y al final, te encuentran.

Otra novedosa forma de empleo de este tipo de sistemas son los UAS de un solo uso contra aeronaves, cuya presencia se

46. La bomba termobárica, también conocida como bomba de combustible o aire-combustible, es un tipo de arma que utiliza el oxígeno atmosférico como agente oxidante para generar una explosión de alta intensidad. Su estructura consta de un contenedor que contiene un líquido o gas altamente volátil, en algunos casos mezclado con partículas explosivas finas, y suele incluir dos cargas explosivas. Al ser lanzada, una primera carga rompe el contenedor a una altura específica, liberando el combustible en una nube que se mezcla con el oxígeno del aire. Una vez formada esta mezcla, una segunda carga la detona, creando una poderosa onda expansiva.

47. <https://www.forbes.com/sites/davidhambling/2024/11/13/russia-blasts-ukrainian-cities-with-thermobaric-drones/>

ha podido comprobar desde el verano de 2024<sup>48</sup>. Consisten en UAS OW FPV con capacidad de interceptación a los que se les dirigen para impactar o estallar cerca de otros UAS OWA o ISR más grandes y lentos y así derribarlos en vuelo.

También hay constancia de misiones similares contra helicópteros a baja altura y velocidad.

Por su parte, las fuerzas rusas han probado versiones de UAS OWA lanzados desde helicóptero, para atacar a sistemas marinos no tripulados ucranianos en el Mar Negro.

### **UAS OWA de largo alcance. Derivados de aeronaves tripuladas y blancos aéreos**

Una variante de estos sistemas de mucho mayor tamaño y prestaciones, usada en Ucrania, son los blancos aéreos a reacción modificados, derivados de los antiguos Tupolev Tu-141 o Banshee Jet-80 ingleses, con una carga explosiva y la suficiente autonomía para alcanzar objetivos a más de 1.000 km. Se han empleado contra objetivos estratégicos como bases aéreas, depósitos de combustible o refinerías de petróleo.

De manera similar, se han visto desarrollos de pequeños aviones deportivos tipo Cessna, concretamente del modelo Aeroprakt A-22, modificados para el vuelo por control remoto y con una carga explosiva en su interior. Estos aviones deportivos tienen un coste de unos 90.000 euros.

La fuerza aérea americana ya desarrolló en 2019 un sistema robótico de pilotaje para aeronaves Cessna 206, denominado RoboPilot, que permitía el control remoto de este tipo de aviones civiles, con el objetivo de disponer de sistemas de observación no tripulados de bajo coste.



Imagen 40. Sistema robótico de pilotaje RoboPilot desarrollado por el laboratorio AFRL de la USAF en 2019. Fuente: USAF/AFRL

El caso más conocido de uso de este tipo de aeronaves fue el ataque del 2 de abril de 2024 a la factoría rusa de UAS Shahed 136 en Yelabuga (región de Tatarstan) a casi 1.500 km de la frontera con Ucrania.



Imagen 41. Imagen del ataque ucraniano con UAS OWA de largo alcance a la factoría rusa en Yelabuga, a 1500 km de la frontera. 3 abril de 2024. Fuente: screenshot from social media video (Telegram and X). Sin atribución clara.

### **3.3.2. UAS armados con munición de caída libre**

Otra variante de las misiones de ataque, como se ha mencionado, son los UAS cuyo vehículo aéreo, equipado con un gancho activable, transporta una o varias cargas explosivas que puede liberar sobre el objetivo. Generalmente, estas acciones se realizan en posición estática, orientando la cámara en visión cenital hacia el suelo para lograr una mayor precisión en la ubicación del objetivo.

En este caso el UAV puede ser recuperado si se dispone de la suficiente carga de batería y no es interferido en el camino de vuelta.



Imagen 42. Hexacóptero ucraniano con 4 granadas lanzables. Fuente: Facebook Great Staff Armed Forces Ukraine. Permisos solicitados.

48. <https://united24media.com/latest-news/ukraine-introduces-innovative-strategy-against-russian-attack-drones-heres-what-we-know-2965>



Al requerir estar en estático sobre el objetivo, son más vulnerables que los OWA a los diferentes sistemas contra-UAS, en especial a los cinéticos, como los disparos de escopeta con munición de dispersión o de red.

Los primeros desarrollos de estos sistemas se vieron durante la pasada década en la guerra civil de Siria, operados por terroristas del ISIS.

Variantes de estos sistemas se han podido ver en la guerra de Ucrania dotados de todo tipo de granadas de mano, granadas de mortero, con aletas estabilizadoras, minas *claymore* e incluso lanzadores de termita<sup>49</sup>, compuesto pirotécnico a base de aluminio y óxido metálico, que produce una reacción térmica de alta temperatura. Se han usado para atacar trincheras y fortificaciones, a la vez que para provocar incendios en zonas donde se ocultan tropas.

### **3.3.3. UAS para minado de áreas**

Dentro de las operaciones de ataque con armamento de caída libre, se ha podido comprobar en conflictos recientes su empleo en la siembra de pequeñas minas sobre carreteras o zonas de paso de vehículos. Estas operaciones estarían limitadas por la capacidad de carga del UAV, por lo que se requieren al menos tamaños medianos, de la categoría SMALL en adelante.

Es importante mencionar que el minado de áreas está prohibido para uso militar en la mayor parte de los países occidentales, incluido España.

### **3.4. Ataques por saturación. Vuelos múltiples**

El empleo en masa de una capacidad militar para conseguir la saturación de las defensas del adversario es una táctica militar ya empleada desde la antigüedad. Su uso en los últimos conflictos se había reducido debido a la preponderancia de la calidad del material y personal y por el elevado coste económico.

49. La termita es una mezcla de polvo de aluminio y óxido de hierro que, al encenderse, genera una reacción extremadamente caliente, alcanzando más de 2500 °C. A diferencia de los explosivos, la termita no explota; simplemente libera un calor tan intenso que derrite metales y otros materiales duros. En el ámbito militar, se utiliza principalmente para sabotajes y destrucción de equipo. Por ejemplo, sirve para inutilizar piezas de artillería, vehículos o infraestructuras metálicas, ya que su calor puede perforar blindajes y arruinar componentes críticos sin causar una explosión que ponga en riesgo a quienes están cerca.

50. La emergencia es un fenómeno que se produce cuando un sistema complejo presenta propiedades o comportamientos que no pueden predecirse a partir de las propiedades o comportamientos de sus componentes individuales. En IA el comportamiento emergente es cuando un modelo más grande demuestra habilidades que no están presentes en los modelos más pequeños que lo constituyen. En resumen, se obtiene algo del modelo que no estaba antes en él y apareció exclusivamente por la interacción de sus componentes.

51. Proyecto MUSER: [https://defence-industry-space.ec.europa.eu/system/files/2021-06/EDIDP2020\\_factsheet\\_ACC\\_CH\\_MUSER.pdf](https://defence-industry-space.ec.europa.eu/system/files/2021-06/EDIDP2020_factsheet_ACC_CH_MUSER.pdf)

Actualmente las diferencias tecnológicas entre potencias y la reducción de costes de los UAS LSS (*Low, Small and Slow*, de vuelo bajo, pequeños y lentos), que pueden ser militarizados de forma rápida y económica, han vuelto a permitir la posibilidad de su empleo masivo.

Los sistemas antiaéreos y contra UAS suelen tener alcances limitados. Lo mismo ocurre con los sistemas de guerra electrónica. Si se emplean antenas direccionales con mayor ganancia dejan amplias zonas sin cubrir. Para tener cobertura completa más o menos uniforme se pueden emplear antenas omnidireccionales, pero entonces se reduciría el alcance ya que la potencia se reparte en un área mayor.

Por este motivo, un ataque múltiple desde diferentes direcciones o ejes dificulta la acción de estos sistemas contra UAS y facilitan que alguno de los UAVs llegue a su objetivo entrando por zonas de menor cobertura, y por tanto las posibilidades de éxito de misión sean mayores.

No hay que confundir los ataques múltiples o por saturación con el concepto de enjambre.

Un enjambre de UAVs sería bastante más que un conjunto de sistemas individuales volando a la vez. Sería un sistema complejo y adaptativo, donde los elementos interactuarían a nivel local para lograr un comportamiento emergente<sup>50</sup>, permitiendo la realización de misiones con un grado de eficiencia y resiliencia superior al de los sistemas no coordinados o gestionados individualmente.

Este concepto de enjambre se tratará con más detalle en el capítulo 6, donde se hablará de las tendencias actuales y los nuevos retos.

### **3.5. Vuelos colaborativos. MUM-T (Manned-Unmanned Teaming)**

El MUM-T, o vuelos colaborativos tripulados y no tripulados, es un sistema de combate complejo que integra aeronaves tripuladas y UAS para mejorar la eficiencia del combate.

Actualmente, el MUM-T se encuentra en un nivel de experimentación entre una aeronave tripulada y un sistema aéreo no tripulado.

Recientemente Airbus Helicopters, en colaboración con sus socios, llevó a cabo una demostración a gran escala de un sistema de teaming entre aeronaves tripuladas y no tripuladas dentro del proyecto europeo MUSER<sup>51</sup>.



El ejercicio involucró el helicóptero AIRBUS H-130 FlightLab y el UAS VSR-700, además de la participación de las empresas Leonardo, Thales, Space Applications Services, Indra y Onera.

Se realizaron varios escenarios operativos, incluidos ejercicios de vigilancia y control, alineados con conceptos de defensa de Francia, Italia y España. Los ensayos mostraron los niveles de interoperabilidad entre los diferentes sistemas, confirmando que helicópteros y UAS de diversas empresas y países pueden integrarse en un sistema MUM-T.

A medio y largo plazo, se espera que la interoperabilidad se expanda a plataformas heterogéneas como vehículos terrestres no tripulados (UGV), vehículos de superficie no tripulados (USV, *Uncrewed Surface Systems*) y vehículos submarinos no tripulados (UUV, *Uncrewed Underwater Systems*).

El MUM-T es, pues, un concepto en evolución que se está transformando gracias a la IA. El desarrollo de una arquitectura común y protocolos estándar para la interoperabilidad es muy importante para ello.

La evolución del MUM-T se dirigirá hacia una operación combinada de plataformas tripuladas y no tripuladas de aire, mar, submarinas y terrestres, evolucionando de los conceptos 1 a 1 y 1 a N, a una operación combinada N a N.

Es de esperar que las plataformas no tripuladas asumirán las tareas más arriesgadas, aumentando la seguridad de los pilotos, llevando los sensores y efectores a las zonas de riesgo mientras los operadores humanos permanecen en zonas más seguras.

### **3.6. Conceptos Loyal Wingman, CCA (Collaborative Combat Aircraft) y Remote Carrier**

Los conceptos Loyal Wingman, CCA y Remote Carrier son similares, y hacen mención a sistemas no tripulados que acompañan y expanden las capacidades de aeronaves tripuladas.



Imagen 43. Imagen del concepto FCAS-Remote Carrier. Fuente: Imagen del autor. Stand del Ejército del Aire y del Espacio en FEINDEF 2025.

#### **3.6.1. Loyal Wingman / CCA**

El programa CCA es el actual heredero del concepto inicial de Loyal Wingman de la Fuerza Aérea de Estados Unidos, y supone un cambio fundamental en el enfoque de la USAF (*United States Air Force* – Fuerza Aérea de Estados Unidos) hacia la superioridad aérea, priorizando la producción en masa, la asequibilidad y la adaptabilidad por encima de las plataformas tripuladas de alta tecnología y coste elevado.

El objetivo es establecer una fuerza numéricamente superior, capaz de operar en entornos disputados de alto riesgo donde la atrición es un factor crucial.

Es decir, los sistemas CCA se conciben como plataformas de bajo coste y potencialmente prescindibles, lo que significa que su pérdida no tendría el mismo impacto estratégico o económico que la de una aeronave tripulada a la que acompañe.

Las innovaciones tecnológicas que este programa aporta son principalmente:

**Colaboración:** se comparte información entre las plataformas y se coordinan las acciones. Los algoritmos de IA facilitan además la toma de decisiones rápida y eficaz y compensan los problemas de comunicaciones en un entorno electromagnético degradado.

**Autonomía:** aunque no serán completamente autónomos, los sistemas CCA podrán ser capaces por sí mismos de llevar a cabo tareas como navegación, identificación de objetivos y selección de armamento. El nivel de autonomía continúa siendo objeto de debate y análisis porque intervienen aspectos éticos y morales.

**Producción a gran escala:** el concepto CCA se centra en la producción a gran escala y el despliegue rápido desde su inicio, utilizando tecnologías disruptivas en procesos de fabricación y en los de contratación.

Actualmente, el programa CCA se encuentra en una etapa temprana de desarrollo, con contratos otorgados para el diseño y construcción de prototipos. Se espera que la producción en serie comience a partir de 2026, con la meta de alcanzar la capacidad operativa total para 2030.

Los sistemas CCA se diseñarán para desempeñar un papel fundamental en el futuro de la superioridad aérea, contribuyendo a:

- Aumento de la capacidad: incrementarán significativamente la cantidad de sensores, armas y plataformas disponibles para la USAF en entornos disputados.
- Mejora de la letalidad: extenderán el alcance de los sensores y armas de las aeronaves tripuladas, mejorando la letalidad y la capacidad de supervivencia de la fuerza en su conjunto.
- Reducción de pérdidas humanas: asumirán misiones de alto riesgo, atrayendo fuego enemigo y minimizando las pérdidas de aeronaves tripuladas y sus tripulaciones.
- Operaciones distribuidas: su capacidad para operar desde pistas cortas o sin pistas permitirá una postura más dispersa y resiliente, reduciendo la dependencia de grandes bases aéreas vulnerables a ataques.

El éxito del programa CCA dependerá de la capacidad de la USAF para superar diversos desafíos, como el equilibrio entre bajo coste y capacidad limitada, el número óptimo de variantes y sus componentes comunes, los niveles de autonomía, que requerirán de un análisis ético y normativo profundo.

52. La nube de combate es un concepto que incluye un sistema de sistemas interconectado en red, que abarca todos los ámbitos de operación (tierra, mar, aire, espacio, ciberespacio y cognitivo) y niveles de mando (estratégico, operativo y táctico). Se basa en la información, y dentro de ese concepto se distinguen: *la centralidad del dato* (la información es el eje central de las operaciones multidominio), *la arquitectura en red* se compone de nodos (plataformas, sistemas, personal) que se interconectan en una topología de malla, *la seguridad* (los datos se encriptan y etiquetan para controlar su uso), *los servicios* (servicios de comunicaciones, servicios core y servicios de comunidad de interés y *la gobernanza* (se necesitan principios de arquitectura y operación específicos, así como una estrategia definida por el gestor de la nube)

### 3.6.2. Remote Carrier

Los *Remote Carrier* constituyen uno de los pilares tecnológicos del proyecto sobre el Sistema aéreo de combate del futuro FCAS (*Future Combat Air System* – Sistema De Combate Aéreo Futuro) y, en particular, el sistema de armas de nueva generación NGWS (*Next Generation Weapons System* – Sistema de Armas de Nueva Generación).

Este pilar consiste en el uso de UAS modulares con distintas capacidades, sensores y costes, lo que permite que algunos puedan ser recuperables y otros sean de un solo uso, y su empleo junto a aeronaves de combate.

Dentro de este ámbito, empresas como Airbus ya han realizado diversas pruebas en vuelo usando blancos aéreos, como el sistema Do-DT25, que se comporta como un *remote carrier* subrogado.



Imagen 44. Blanco aéreo Airbus Do-DT25, Fuente: Wikipedia. Crédito: Stahikocheer. Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported license.

En dichas pruebas se comprobaron las transferencias de datos y la conexión de los *remote carriers* a una nube de combate<sup>52</sup>, proporcionando información vital al desempeñar el papel de sensores en el campo de batalla, al mismo tiempo que les permite ser asignados por los operadores de la aeronave tripulada durante sus misiones.

Es importante indicar que dentro del programa FCAS, el pilar tecnológico correspondiente a Remote Carrier está liderado por el consorcio español SATNUS, formado por las empresas GMV, SENER y TECNOBIT (Grupo OESIA), las cuales están realizando un esfuerzo tecnológico muy importante, adquiriendo incluso otras empresas que les aporten vectores y plataformas de experimentación, como es el caso de SENER con la adquisición de la empresa SCR (Sistemas de Control Remoto) fabricante entre otras cosas de los blancos aéreos SCRAB.

## 4. MISIONES LOGÍSTICAS Y DE TRANSPORTE AÉREO

Los UAS, además de portar sensores, equipos de comunicación o ser armamento, pueden ser empleados como medios de transporte si disponen de capacidad de carga.

Las misiones logísticas o de transporte que pueden realizar dependerán de muchos factores internos y externos a los sistemas.

Las características propias como el peso máximo al despegue, la capacidad de carga, el tipo de fuselaje, el volumen disponible a bordo, el alcance y la autonomía, son los que más influyen en las posibles capacidades de transporte. Por lo tanto, para abordar un estudio básico de las mismas, se hace necesario distinguir al menos en las diferentes categorías por tamaños y pesos.

En cuanto a los factores externos, la climatología, la visibilidad, las infraestructuras para el despegue y aterrizaje, y las distancias de transporte requeridas, influye en las limitaciones de vuelo y, por tanto, en la capacidad para poder abordar con éxito estas misiones.

En estos casos está claro que la mayor flexibilidad en el transporte aéreo la dan los sistemas VTOL, algo que ya se está viendo para otras misiones en tamaños pequeños y cada vez más en tamaños medianos.

### 4.1. Misiones logísticas para UAS de pequeño tamaño (MICRO y MINI)

Estos UAS tienen muy limitada su capacidad de transporte. Los sistemas MICRO no están diseñados en general para portar cargas que no sean sus pequeñas cámaras o sensores.

La categoría MINI, que puede llegar a tener un peso de hasta 15 kg, ya permite el transporte de pequeñas cargas, que se usarían principalmente para el transporte de un botiquín, una pequeña caja de munición ligera, agua, alimentos, documentos, baterías, medicinas, etc.

Estas misiones suelen ser secundarias a las de reconocimiento y vigilancia y, en algunos casos, es necesario eliminar parte de la carga útil principal (cámaras o sensores) para poder enganchar una carga externa.



Imagen 45. UAS MINI con recipiente de transporte.  
Fuente: JOUAV. <https://www.jouav.com>

Las distancias, en este caso, serían del orden de la decena de km, teniendo en cuenta que, a mayor peso, menos duración de la batería, velocidad de vuelo y altitud.

La configuración de estos sistemas suele ser tipo multicóptero o pequeño helicóptero.

### 4.2. Misiones logísticas para UAS de tamaño medio (SMALL y tácticos)

Estos sistemas disponen de mayor capacidad de carga, pudiendo desplazar varios kilogramos en el caso de los sistemas SMALL y llegando a las decenas en los sistemas tácticos de entre 150 y 600 kg de peso máximo al despegue.

La disposición de la carga depende de la forma del fuselaje y sobre todo de la distribución de pesos. En el caso de grandes cuadricópteros suelen disponer de un eje de simetría central y los pesos se pueden colocar en dicho eje.

Los UAS de ala fija tienen mayores limitaciones en cuanto a la disposición de la carga. Estos fuselajes tienen un margen pequeño para la variación del centro de gravedad. La posible carga de transporte se debería de colocar de tal manera que no haga salirse dicho centro de sus límites. Es necesario una correcta comprobación de dicho centro, previo al vuelo a través de un procedimiento de peso y centrado. En algunos casos, para modificar lo menos posible el centrado, se reparte la carga en varias bahías ventrales, o en puntos de anclaje debajo de las alas.

En los sistemas tácticos con motores térmicos, el peso a transportar depende también de la carga de combustible, con lo que la autonomía se ve afectada por la capacidad de carga, de manera similar a la aviación tripulada comercial.



En los diseños de alas híbridas o sistemas de ala fija VTOL en H, que requieren la instalación de largueros paralelos a las alas con motores verticales, el propio peso de esta estructura, de los motores eléctricos y de sus baterías repercute negativamente en su capacidad de carga y en su aerodinámica.

Se ha comprobado que la diferencia en capacidad de carga y en autonomía (en horas de vuelo) en estos sistemas SMALL VTOL frente a sus correspondientes versiones clásicas de ala fija, puede llegar a ser del orden del 40% inferior.

Las opciones VTOL diferentes del ala híbrida en H, como son los motores o las alas basculantes (*Tilt Wing*, *Tilt Rotor*) o el motor carenado de impulsión trasera, en el caso del UAS *Tail Sitter V-BAT*, no están tan penalizados en las prestaciones, aunque su complejidad técnica aumenta.

### 4.3. Misiones logísticas para UAS de gran tamaño

Los sistemas de mayor tamaño (con pesos máximos al despegue por encima de 600 kg) tienen unas características que, en muchos casos, los hacen dependientes de pistas para despegue y aterrizaje.

Las cargas a transportar pueden llegar a superar los 100 kg y en algunos casos pudiendo llegar o superar la tonelada de carga.

Es el caso del sistema español FLYOX-1 de la empresa Singular Aircraft.

Este UAS hidroavión de ala fija y dos motores puede transportar hasta 1.500 kg de carga, pudiendo realizar sueltas de carga (*airdrops*).



Imagen 46. UAS de gran tamaño FLYOX I de Singular Aircraft. Fuente: web de Singular Aircraft

Una de sus aplicaciones más características, además de la de transporte, es la de aeronave apagafuegos por su capacidad de despegue y amerizaje en el agua, su gran capacidad de carga y sus sistemas de suelta.

Otra posibilidad para evitar el depender de infraestructuras tipo pista, es el empleo de grandes sistemas multicópteros o helicópteros.

En relación con este segmento de UAS, el Cuerpo de Marines americano tiene abierto un programa de adquisición de un UAS logístico llamado MARV-EL (*Medium Autonomous Resupply Vehicle – Expeditionary Logistics* – Vehículo Autónomo de Suministros de Logística Expedicionaria) con el que esperan dotarse de un sistema logístico de gran tamaño, capaz de transportar más de 100 kg, a distancias entre 50 y 185 km.



Los dos sistemas que por el momento (finales de 2024) siguen en la competición, son el multicóptero KARGO UAV de la empresa americana KAMAN, capaz de transportar más de 350 kg, y el sistema de ala híbrida VTOL Elroy Air Chaparral, capaz de transportar 136 kg.

#### 4.4. Reabastecimiento en vuelo

Otra de las misiones logísticas que en un futuro podrán ser ejecutadas mediante UAS, es el repostaje en vuelo.

Se trata de una operación compleja que requiere una precisión y control muy elevados. Por ello se suelen requerir las siguientes características:

- Sistemas de control de vuelo precisos para mantener la posición relativa durante el reabastecimiento.
- Capacidad de carga de combustible suficiente para la misión.
- Sistemas de comunicación robustos para garantizar el control remoto seguro.
- Mecanismos de seguridad para situaciones de emergencia, como pérdida de señal o fallo del motor.

En la actualidad se está desarrollando una automatización avanzada en los sistemas de reabastecimiento en vuelo, empezando por las diferentes fases de la operación, desde el acercamiento hasta la separación segura después de la transferencia.

Airbus está desarrollando tecnología para el reabastecimiento automático en vuelo (A3R) utilizando el sistema de pértiga, a la vez que explora en el proyecto Auto'Mate las operaciones de reabastecimiento en vuelo con plataformas autónomas (A4R) y vuelo en formación autónoma (AF2).

El objetivo en esta fase es que el avión cisterna controle la aeronave a la que está reabasteciendo, con o sin tripulación. La meta es la integración con sistemas de combate aéreo futuros como el FCAS.

Por su parte Boeing está desarrollando las capacidades de sus sistema MQ-25 Stingray para poder suministrar combustible a los aviones de la US Navy basados en portaaviones, Boeing F/A-18 Super Hornet, Boeing EA-18G Growler, y Lockheed Martin F-35C.



*Imagen 47. Ilustración 20. Boeing MQ-25 Stingray abasteciendo de combustible a un F-35 de la US NAVY. Fuente: Wikipedia. Public Domain. U.S. Navy photo courtesy of Boeing*

El MQ-25 Stingray tiene una longitud de 15,5 m y una envergadura de 22,9 m. Su peso máximo al despegue está en torno a 20 Tm. Se espera que sea capaz de transportar hasta 16.000 libras (7.257 kg) de combustible para reabastecimiento a una distancia de hasta 500 millas.

Las ventajas operativas del empleo de UAS para reabastecimiento en vuelo se resumen en las siguientes:

- Aumenta la eficiencia operativa al liberar aviones tripulados para otras misiones.
- Reduce el riesgo para las tripulaciones humanas en entornos peligrosos.
- Permite operaciones de reabastecimiento de mayor duración y alcance.

El reabastecimiento en vuelo mediante UAS será un elemento transformador de las capacidades de las fuerzas aéreas ofreciendo mayor eficiencia, seguridad y alcance operativo.

A medida que la tecnología continúa avanzando, es probable que veamos una adopción más amplia y nuevas aplicaciones de estos sistemas en el futuro cercano.

#### 4.5. Evacuación de bajas CASEVAC (CASualties EVACuation)

Las misiones CASEVAC son un caso particular de las misiones logísticas en las que se transporta a un herido o fallecido desde la zona de combate hasta un puesto de atención médica en la retaguardia.

El tratamiento médico comienza al llegar al destino. Se diferencian de las misiones MEDEVAC (*MEDical EVACuation*)

porque en éstas, el herido recibe atención médica y se disponen de equipo médico especializado durante todo el traslado.

Los UAS tipo VTOL, de forma similar a como se ha comentado en las misiones de transporte aéreo logístico de cargas, permitirían también el transporte aéreo de personal en zonas de difícil acceso.

Usando estos medios, se posibilitaría dicha evacuación de heridos o fallecidos a zonas de retaguardia sin implicar riesgo para las tripulaciones.

Como ya se ha visto en el epígrafe anterior, con el programa MARV-EL, el Cuerpo de Marines de EE. UU. está buscando

una capacidad de UAS logísticos para satisfacer los requisitos de la misión, y también se incluyen necesidades de abastecimiento médico y CASEVAC.

Desde el año 2011, los Marines han realizado demostraciones y despliegues en zona de operaciones (Afganistán) empleando para ello un sistema UAS de carga aérea K-MAX, helicóptero opcionalmente tripulado de KAMAN, con una capacidad de carga mayor de dos Tm, y los helicópteros no tripulados de Boeing AH-6 Little Bird y A160 Hummingbird.

Estas demostraciones y experiencias en zona de operaciones están dirigidas por el Laboratorio de Combate del Cuerpo de Marines de Estados Unidos (MCWL, *Marine Corps Warfighting Laboratory*)<sup>53</sup>.



Imagen 48. Helicóptero opcionalmente tripulado KAMAN K-MAX. Fuente: web US Marine Corps. Public domain.

## CONCLUSIONES

Las misiones que puede realizar un UAS militar abarcan un enorme espectro de operaciones, que van desde la vigilancia y reconocimiento hasta el apoyo logístico y el combate directo. Esta versatilidad se refleja en la diversidad de plataformas existentes, que van desde UAS diminutos, de apenas 30 gramos, hasta aeronaves de gran envergadura que superan varias toneladas de peso.

Resulta complejo tratar de englobar todas las capacidades que aportan los UAS a las diferentes misiones, sin distinguir los UAS por su tamaño y prestaciones. Ya que cada categoría ofrece muy diferentes prestaciones, con limitaciones y ventajas específicas en función de su tamaño y empleo.

Así, los sistemas de pequeño tamaño, de apoyo al combatiente, pueden proporcionarle una visión del entorno cercano inigualable, ampliando su conocimiento y su conciencia situacional como nunca la había tenido un soldado en el campo de batalla. Ya se puede ver detrás de la colina, detrás de las esquinas en un escenario urbano, en la siguiente curva de un túnel, o dentro de un edificio antes de entrar.

A medida que aumentan de tamaño, los sistemas son capaces de mantenerse en el aire por más tiempo, volar más lejos y proporcionar información táctica esencial, de mayor calidad, a los puestos de mando avanzados.

En el caso de los UAS de mayor envergadura, estos ya cumplen una función estratégica, al ofrecer una visión global del campo de batalla desde altitudes elevadas y durante largos períodos, satisfaciendo las necesidades de inteligencia en niveles superiores.

Estas capacidades de observación no han variado sustancialmente en los últimos años; sin embargo, ha habido un incremento notable en la variedad y capacidades de las plataformas y sensores.

En contraste, en las misiones de ataque, estamos presenciando una auténtica revolución en innovaciones, diseños y capacidades. Hace pocos años, a nivel militar, la amenaza que los pequeños drones civiles de carreras, controlados mediante una imagen transmitida a gafas especiales del operador, pudieran utilizarse en combate, sólo era teórica.

Hoy en día, los UAS FPV OWA son responsables de más de la mitad de los daños y destrucción de vehículos logísticos y blindados en el conflicto en Ucrania. La dimensión de la amenaza para las tropas en el terreno se ha extendido en vertical. Ahora hay que mirar también hacia arriba y “prácticamente no hay donde esconderse”, si el enemigo utiliza UAS tanto para vigilancia como para ataque.

Los sistemas más grandes, derivados de blancos aéreos y de pequeñas aeronaves civiles, se han convertido en un arma capaz de golpear tras las líneas enemigas a distancias que llegan a superar los mil km.

Aunque sus prestaciones son notablemente más limitadas en comparación con los misiles de crucero, su coste es varios órdenes de magnitud inferior, lo que permite su despliegue en ataques masivos, sin agotar los arsenales en cuestión de días. La munición merodeadora tradicional está siendo complementada en determinados conflictos asimétricos por el empleo masivo de UAS OWA FPV.

El mundo observa con preocupación la amenaza que representa el acceso a estos sistemas por actores no gubernamentales, como grupos terroristas o el crimen organizado, para su uso en actividades desestabilizadoras.

Ejemplos de estos usos ya se observan en organizaciones narcotraficantes en América del Sur o en milicias terroristas en África y Oriente Medio.

Las capacidades de transporte y logística constituyen el próximo paso en la evolución de los sistemas no tripulados, tanto aéreos como terrestres o marinos. La posibilidad de llevar suministros a primera línea sin exponer la vida de pilotos permite prever un aumento del uso de sistemas no tripulados logísticos en el futuro cercano.

El reabastecimiento en vuelo va a ser un reto muy importante para la evolución de las misiones logísticas si se tiene en cuenta la enorme dificultad de la maniobra, incluso cuando intervienen sistemas tripulados.

El auge de la movilidad urbana en el ámbito civil, que explora el uso de UAS de transporte, no solo para la entrega de paquetes, sino también para el traslado de personas, impulsa esta tecnología.

En el contexto militar, se prevé que estas capacidades también permitirán misiones de evacuación de heridos desde la línea de combate (CASEVAC), eliminando los riesgos para las tripulaciones de helicópteros en misiones de rescate.

# REFERENCIAS



1. Martínez Cortés, J. M. (2021). *Doctrina Aeroespacial Básica*. Revista de Aeronáutica y Astronáutica, 899, 64. [https://publicaciones.defensa.gob.es/pprevistas/REVISTAS\\_PAPEL21979/page\\_66.html](https://publicaciones.defensa.gob.es/pprevistas/REVISTAS_PAPEL21979/page_66.html)
2. Ministerio de Defensa (2018). *Doctrina para el empleo de las FAS*. Publicaciones Defensa (PDC-01).
3. Sayler, K. M. y DeVine, M. E. (2022). *Unmanned Aircraft Systems: Roles, Missions and Future Concepts*, Congressional Research Service. R47188. <https://sgp.fas.org/crs/weapons/R47188.pdf>
4. Joint Air Power Competence Centre. (5 de mayo de 2022). *Unmanned Air Systems in NATO Anti-Submarine Warfare (ASW) - Joint Air Power Competence Centre*. Joint Air Power Competence Centre - NATO's Advocate To Air And Space Power. <https://www.japcc.org/articles/unmanned-air-systems-in-nato-anti-submarine-warfare-asw/>
5. Joint Air Power Competence Centre. (11 de mayo de 2022). *Potential Game Changer for Close Air Support - Joint Air Power Competence Centre*. Joint Air Power Competence Centre - NATO's Advocate To Air And Space Power. <https://www.japcc.org/articles/potential-game-changer-for-close-air-support/>
6. Félix, L., Oliveira, T., Cruz, G., Silva, D., Agamyryzansc, A. y Coelho, V. (2024). *ISR Missions in Maritime Environment Using UAS - Contributions of the Portuguese Air Force Academy Research Centre*. ROBOT 2023. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 978. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-59167-9\\_23b](https://doi.org/10.1007/978-3-031-59167-9_23b)
7. Joint Air Power Competence Center (2010). Strategic Concept of Employment for Unmanned Aircraft Systems in NATO. Joint Air Power Competence Center. [https://www.japcc.org/wp-content/uploads/UAS\\_CONEMP.pdf](https://www.japcc.org/wp-content/uploads/UAS_CONEMP.pdf)
8. NATO STO technical report AC-323 (sep-263) *TP/1090 Swarm System for Intelligence Surveillance and Reconnaissance*.
9. NATO STO meeting procedure MP-HFM-231-05. *Unmanned Aircraft Systems for Casualty Evacuation - What Needs to be Done*.
10. Wyatt, A. (2021). *The Disruptive Impact of Lethal Autonomous Weapons Systems Diffusion: Modern Melians and the Dawn of Robotic Warriors*. Routledge. <http://dx.doi.org/10.4324/9781003172987>
11. Stein, A. (2024). *Uncrewed Systems and the Transformation of U.S. Warfighting Capacity*. War On The Rocks. <https://warontherocks.com/2024/02/uncrewed-systems-and-the-transformation-of-u-s-warfighting-capacity/>
12. Rodríguez, P. B. (2024). *El empleo de drones en las unidades de reconocimiento*. Revista Ejércitos. <https://www.revistaejercitos.com/opinion/el-empleo-de-drones-en-las-unidades-de-reconocimiento/>
13. Taylor, C., & Taylor, C. (2024). *Preparing Your Unit to Win the First Fight of the Next War*. Modern War Institute. <https://mwi.westpoint.edu/preparing-your-unit-to-win-the-first-fight-of-the-next-war/>
14. Hambling, D. (2024). *Are FPVs Game-Changing tank Killers? Part 1: Reasons to be doubtful*. Forbes. <https://www.forbes.com/sites/davidhambling/2024/02/05/are-fpvs-game-changing-tank-killers-part-1-reasons-to-be-doubtful/?ss=aerospace-defense>
15. Hambling, D. (2024). *Are FPVs Game-Changing tank Killers? Part 2: The numbers say yes*. Forbes. <https://www.forbes.com/sites/davidhambling/2024/02/06/are-fpvs-game-changing-tank-killers-part-2-the-numbers-say-yes/?ss=aerospace-defense>
16. Gutiérrez, R. (2024). *Desafíos tácticos del uso de drones de combate*. Revista Ejércitos. <https://www.revistaejercitos.com/articulos/desafios-tacticos-del-uso-de-drones-de-combate/>
17. Tingle, A., PhD. (2024). *11 Reasons FPVs Are Better than Bombs, Missiles, or Artillery*. WarVector. [https://www.warvector.com/p/11-reasons-fpvs-are-better-than-bombs?utm\\_campaign=post&utm\\_medium=web](https://www.warvector.com/p/11-reasons-fpvs-are-better-than-bombs?utm_campaign=post&utm_medium=web)
18. Bendett, S. (2024). *Samuel Bendett on LinkedIn: What do Russian volunteer efforts that train drone pilots think about the...* LinkedIn [https://www.linkedin.com/posts/samuel-bendett-06996018\\_what-do-russian-volunteer-efforts-that-train-activity-7210004028598988800-8QGx](https://www.linkedin.com/posts/samuel-bendett-06996018_what-do-russian-volunteer-efforts-that-train-activity-7210004028598988800-8QGx)
19. Bermejo, F. J. O. (2024). *Operaciones electromagnéticas en la guerra de Ucrania*. Revista Ejército. Nº. 989 (marzo-abr.), 2024 págs. 62-69. [https://bibliotecavirtual.defensa.gob.es/BVMDefensa/es/catalogo\\_imagenes/grupo.do?path=350590](https://bibliotecavirtual.defensa.gob.es/BVMDefensa/es/catalogo_imagenes/grupo.do?path=350590)

## ENRIQUE CUENCA-ROMERO JIMÉNEZ

General de brigada, jefe de Gabinete del jefe de Estado Mayor del Aire y del Espacio (JEMA).

Cuenta con más de 2400 horas de vuelo, principalmente en avión F-18, y llegó al Gabinete del JEMA tras una etapa en el Mando de Apoyo Logístico del Ejército del Aire y del Espacio como jefe de la sección de Armamento.



Pertenece a la 43 Promoción de la AGA, y comenzó su etapa militar en el Ala 12 como piloto de combate y de exhibición. En julio de 1996 asciende al empleo de capitán, permaneciendo destinado en el Ala 12, hasta que en julio de 2003 asciende a comandante, pasando posteriormente destinado al Cuartel General del Mando Aéreo de Combate (CGMACOM) donde desempeña sus cometidos en Intel, Operaciones, Secretaría General y como ayudante del GJMACOM.

En septiembre de 2008 regresa al Ala 12 ejerciendo la Jefatura del Escuadrón de Fuerzas Aéreas y de Mantenimiento y donde permanece hasta su destino a la Base Aérea de Torrejón en septiembre de 2011, para realizar el curso de Estado Mayor.

Tras realizar el curso de Estado Mayor, en julio de 2012 asciende a teniente coronel y es destinado al Estado Mayor del Aire División de Operaciones, Sección de Operaciones Aéreas. En agosto de 2014 es destinado al *Headquarters Allied Air Command* (HQ AIRCOM) en Ramstein, Alemania, donde permanece tres años como jefe de Branch y de la Sección *Air Enablers*.

A su regreso es destinado de nuevo al Estado Mayor del Ejército del Aire División de Operaciones, Sección de Operaciones Aéreas donde en julio de 2019 asciende al empleo de coronel y pasa destinado a la División de Planes. En julio de 2020 realiza el mando de unidad como jefe del Ala 15 y Comandante Militar Aéreo del Aeropuerto de Vitoria Bilbao, San Sebastián y Pamplona.

## HUMBERTO BRIONES VALERO

Teniente coronel del Ejército del Aire y del Espacio, perteneciente a la 54 Promoción de la Academia General del Aire, Diplomado de Estado Mayor y Máster en Política de Defensa y Seguridad Internacional por la Universidad Complutense de Madrid, oficial C2CIS, controlador de interceptación y oficial de guerra electrónica.



Fue jefe de la Escuadrilla de Defensa Aérea de Corto Alcance (SHORAD) del EA y evaluador OTAN para unidades GBAD, entre 2005-2010, así como vocal representante del EA en el Grupo de Trabajo C-UAS del Grupo Aéreo Europeo (EAG), entre 2015-2019.

A lo largo de su carrera militar ha participado en numerosas misiones internacionales en Afganistán, Indonesia, Chad y República Centroafricana como oficial de Protección a la Fuerza y en la Campaña de Libia de 2011, como Senior Air Defense Officer.

Destaca, ente sus destinos, el Centro de Operaciones Aéreas Combinado de la OTAN en Italia (2010-2013), la Casa de SM el Rey como Jefe del Grupo de Honores de la Guardia Real (2020-2023) y actualmente es el Jefe del Escuadrón de Apoyo al Despliegue Aéreo (EADA), Unidad de Referencia en materia C-UAS del Ejército del Aire y del Espacio.

## DIEGO BUENO PÉREZ

Biografía en capítulo 1.







# Los sistemas Contra-UAS

Diego Bueno Pérez

“Whoever can limit the capacity for precision for the adversary through electronic warfare will win this war.”  
(El que pueda limitar la capacidad de precisión del adversario mediante la guerra electrónica, ganará esta guerra)

Coronel Ivan Pavlenko, mando del CEMA (Cyber-Electromagnetic Activities), Ucrania.

En capítulos anteriores se ha descrito la arquitectura de un sistema UAS militar y se han tratado las principales misiones que pueden cumplir. Se ha visto que estos sistemas son ya esenciales en el planeamiento de las operaciones militares, subrayándose además su creciente uso y efectividad en los conflictos actuales.

Sin embargo, a pesar de sus ventajas, los sistemas UAS también presentan una serie de vulnerabilidades inherentes, derivadas de su arquitectura y funcionamiento. Este capítulo examina dichas vulnerabilidades, centrándose en la arquitectura común que comparten y desde una doble vertiente. Desde el punto de vista del operador del UAS, tratando de robustecer al máximo su sistema, y desde la perspectiva del que sufre su ataque, que debe intentar comprender y explotar las debilidades para poder diseñar y usar sistemas contra UAS (C-UAS) eficaces.

Un punto clave a considerar es la dependencia de los UAS del espectro electromagnético. La mayoría de los sistemas UAS se basan en la radiofrecuencia para la comunicación con la estación terrestre, tanto para el control como para enviar la información de los sensores, y para los sistemas de navegación basados en GNSS.

Esta dependencia los hace extremadamente vulnerables a la Guerra Electrónica (EW), que busca interferir, interrumpir o incluso tomar el control de estas funciones, empleando para ello la emisión de señales radioeléctricas.

Conociendo las vulnerabilidades se puede establecer un concepto genérico de un sistema C-UAS que las explote. Se determinarán para ello las fases por las que se debe ir pasando y que componen su *kill-chain*, que básicamente son una detección, una identificación, una decisión y una actuación.

Por cada una de esas fases se estudiarán las posibles técnicas y sensores a emplear, muchas de ellas complementarias y no excluyentes. Se evaluarán dichas posibilidades en base a un análisis de escenarios y de amenazas, teniendo en cuenta las reglas de enfrentamiento establecidas.

En definitiva, se trata de desarrollar sistemas modulares, que en base a la misión concreta se les puedan sumar o limitar capacidades, y ofrecer en todo momento las funcionalidades óptimas para protegerse adecuadamente.

Es importante recordar que, según establece el concepto nacional C-UAS LSS, publicado en 2019 por el Centro Conjunto de Desarrollo de Conceptos del EMACON, nos vamos a centrar en una amenaza denominada LSS, es decir, los UAS de pequeño tamaño, que vuelan bajo y son lentos.

Estos UAS, por sus características de reducida superficie equivalente radar, baja firma infrarroja y/o acústica, y vuelo lento a baja altura, se sitúan fuera de la envolvente de detección, seguimiento, identificación y neutralización de los sistemas tradicionales de Defensa Aérea (DA) de media y alta cota, y por ello es necesario complementar éstos con medios específicos C-UAS LSS.



# 1. VULNERABILIDADES DE LOS SISTEMAS UAS

Tal y como se explicó en el capítulo 2, la arquitectura genérica de un sistema UAS militar se compone de tres bloques principales:

- Un segmento terrestre, donde se encuentran los operadores y el sistema de control del UAS y el de interacción con la carga útil.
- Un segmento aéreo, que consiste en la aeronave o vehículo aéreo con sus cargas útiles.
- Un enlace de comunicaciones bidireccional entre el segmento terrestre y el segmento aéreo.

A la vista de esta arquitectura básica, se puede ver que el elemento más vulnerable desde el punto de vista cinético es el segmento aéreo, mientras que, desde el punto de vista del espectro electromagnético, serían el enlace de comunicaciones y el subsistema de navegación del segmento aéreo.

## 1.1. Vulnerabilidad del segmento aéreo

El segmento aéreo de un sistema UAS LSS es generalmente un elemento de construcción ligera y relativamente frágil, con alta vulnerabilidad a los impactos cinéticos.

Teniendo en cuenta su escaso tamaño y alta movilidad, la munición con explosión en el aire (*air burst*) y fragmentación es la manera más eficaz de enfrentarse a ellos.

En este sentido, se han desarrollado sistemas específicos de artillería contra-UAS, como la torreta de defensa aérea de corto alcance Skyranger 30 de la empresa alemana Rheinmetall Air Defense AG (anteriormente Oerlikon). Su función es proporcionar a las unidades terrestres un sistema móvil capaz de atacar aviones de ala fija y giratoria, sistemas aéreos no tripulados de los Clases I y II, municiones merodeadoras y misiles de crucero.

Otros desarrollos de conceptos similares son los rusos 2K22 Tunguska M1 (SA-19 Grison en denominación OTAN) y el Pantsir-S1 (SA-22 Greyhound, según OTAN) que son combinaciones de sistemas de artillería con dos cañones en montaje dual, junto con lanzadores de misiles, 57E6, además de un sistema radar de control de tiro, en el caso del Pantsir, y misiles 9M311-M1 en el caso del Tunguska.



Imagen 49. Torre de defensa aérea Rheinmetall Skyranger 30 sobre vehículo Boxer. Fuente: Wikipedia. Crédito: Matti Blume



Imagen 50. Sistema ruso Pantsir S1 sobre camión de 4 ejes. Fuente: Wikipedia. Crédito: Boevaya mashina. Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International license.

El desarrollo equivalente americano sería el vehículo Stryker M-SHORAD, fabricado por un consorcio liderado por Leonardo DRS y basado en un blindado de ruedas 8x8 M1126 Stryker de General Dynamics.



Imagen 51. Vehículo 8x8 americano Stryker M-SHORAD SGT STOUT. Fuente: US ARMY. Dominio público

Dispone de un lanzador de misiles Stinger, rieles de misiles Longbow Hellfire y viene equipado con un cañón automático M230LF de 30 mm y la ametralladora coaxial M240 de 7,62 mm, así como capacidades de interferencias (inhibidores de radiofrecuencia, RF) y un radar hemisférico multimisión a bordo (MHR) de RADA Electronic Industries.

En el caso español se puede citar la estación de armas Guardian 2 de Escribano M&E, con lanzagranadas automático Mk19 de 40mm, y munición Nammo 40x53mm HEDP-RF, alto explosivo de doble propósito con capacidad *airbust*, explosión en el aire, y dotada también de ametralladora M134D Gatling de alta cadencia (3.000 disparos por minutos). Va montada en el sistema C-UAS español CERVUS que se verá con detalle más adelante.

Pero no sólo se han realizado desarrollos específicos para sistemas contra UAS, sino que se están volviendo a poner en servicio sistemas antiaéreos basados en cañones de doble o cuádruple tubo, que se fueron retirando del servicio hace unos años.

Tras el final de la Guerra Fría, la mayoría de las fuerzas terrestres occidentales se deshicieron de sus activos móviles de artillería de defensa aérea. Las amenazas que se identificaban entonces eran en su mayoría insurgencia y terrorismo, que carecían de fuerza aérea.

Además, la amenaza aérea evolucionó hasta poder lanzar las bombas o misiles desde una distancia mayor al alcance de los cañones. Esto provocó que apareciera una brecha que los dejaría vulnerables a medida que aparecían las amenazas de los UAS a principios del siglo XXI.



Imagen 52. Carro antiaéreo alemán Guepard. Fuente: Wikipedia. Crédito: Hans-Hermann Bühling. Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported license.

Entre estos sistemas rescatados que se están empleando en la guerra de Ucrania, destacan los carros Guepard alemanes de 1974, dotados de cañón doble de 35 mm, que se consideraban obsoletos pero que ahora vuelven a ser utilizados contra este nuevo tipo de amenaza.

Desde el punto de vista de protección personal del combatiente, se ha extendido el uso de las escopetas como último recurso, sobre todo frente a UAS FPV OWA. Estas armas, como la italiana Benelli M4 de calibre 12, se han diseñado específicamente como contra UAS personal.



Imagen 53. Escopeta anti-drones Benelli M4 del calibre 12. Fuente: Wikipedia. Crédito: U.S. Navy/Photographer's Mate Airman Lowell Whitman, Dominio público.



También se han desarrollado innovaciones en el apartado de las municiones, destacando la munición rusa Interceptor, para escopeta 12/70, con metralla unida por hilos que generan una especie de red que impacta de forma más efectiva en el UAS.



Figura 13. Munición de escopeta anti-dron de origen ruso. Fuente: Esquema propio basado en datos red social X y Telegram.

## 1.2. Los Sistemas de Navegación basados en GNSS

Los sistemas de navegación basados en GNSS son esenciales para los UAS, ya que proporcionan de forma sencilla y con elementos de bajo coste, una solución de posicionamiento y guiado precisa con una cobertura en espacio abierto a nivel global.

Estos sistemas consisten en constelaciones de satélites, que orbitan a gran altura (entre 20.000 km y 36.000 km de altura). Las principales son: GPS americano, GLONASS ruso, BEIDOU chino y GALILEO europeo.

Las órbitas están calculadas de forma que los satélites que componen cada constelación (entre 24 y 32) vayan cubriendo todo el globo, desplazándose en seis planos inclinados 55°.

Cada satélite está dotado de un reloj patrón para sincronía y un transmisor de diferentes señales de un código pseudo aleatorio (PRN, *Pseudo-Random Noise*), todas las frecuencias en dos segmentos de la banda L, entre 1.1 y 1.3 GHz, y entre 1.5 y 1.6 GHz.

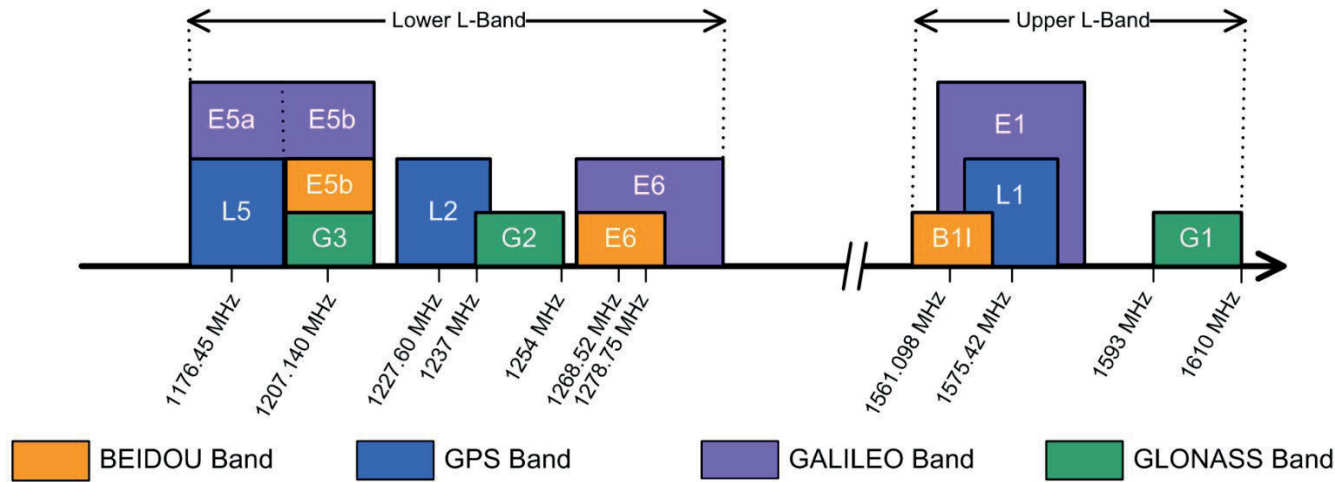


Figura 14. Banda de trabajo de los sistemas GNSS. Fuente: web Rohde Schwarz

Esta disposición hace que prácticamente, en cada lugar del globo, se disponga al menos de cuatro satélites a la vista, número mínimo para poder realizar un cálculo de posición con precisión. Dicho cálculo es efectuado en los receptores, que generan a su vez el código pseudo aleatorio y comprueban el tiempo de retardo en recibir el mismo código desde los satélites.

Como cada satélite envía un código específico, el receptor puede conocer los retrasos en tiempo de cada uno de los que recibe (normalmente los receptores comerciales pueden recibir señal de hasta doce satélites) y sus desfases, y con ello conocer sus pseudo distancias. Mediante cálculos geométricos, por superposición de esferas, se puede conocer la posición del receptor a partir de las posiciones



exactas de los satélites, que son publicadas y emitidas periódicamente en el denominado almanaque.

Los errores de posicionamiento debido a gravedad lunar o solar, o la presión de la radiación del Sol, se calculan también y se usan para determinar las coordenadas con mayor precisión. Estas desviaciones de la posición teórica del satélite se conocen como efemérides y también son enviadas a los receptores periódicamente.

### 1.3. Vulnerabilidad de las señales GNSS

Se ha visto que los sistemas GNSS proporcionan la información de la posición, navegación y tiempo a los receptores de manera sencilla y eficaz, con cobertura prácticamente global. Pero como inconveniente, las señales GNSS se vuelven vulnerables al ser ondas de radiofrecuencia de baja potencia que se propagan desde el espacio hacia la superficie terrestre. Las causas de que no cumplan con la función requerida pueden ser intencionadas o no intencionadas.

Entre las causas no intencionadas se pueden destacar las siguientes:

1. Condiciones del entorno. Las señales GNSS recorren un largo camino y atraviesan partes de la atmósfera con diferentes capas de composición que producen fenómenos de refracción y reflexión. Las reflexiones y la propagación multicamino entre satélite y receptor afectan al tiempo de propagación de la onda de RF y a sus características, impidiendo que el receptor realice los cálculos de posición de manera correcta.
2. Errores en el sistema transmisor (satélite). Son posibles errores de sincronía o fallos en los relojes embarcados en los satélites o fallo de procesador y envío de datos incorrectos.
3. Errores en el receptor. Mal funcionamiento o una mala calidad del hardware del equipo, lo que introduce ruido en la señal a procesar. También puede ser debido a un fallo de reloj, u oscilador local, lo que supone una mal sincronización.
4. Interferencias no intencionadas. Serían todas aquellas señales de RF no deseadas que aparezcan en la banda de frecuencias del GNSS. Como ejemplo emisiones inalámbricas de Banda Ultra Ancha (*Ultra-Wideband*, UWB), el Servicio Móvil por Satélite (*Mobile-Satellite Service*, MSS) o señales procedentes de otras constelaciones GNSS (BEIDOU, GLONASS, etc.).

Respecto a las causadas por acciones intencionadas, hay que tener en cuenta que las señales GNSS son fácilmente interferibles, por su baja potencia y por la distancia de emisión desde los satélites. De hecho, las señales GNSS tienen un nivel por debajo del ruido electromagnético y por este motivo los receptores requieren un tiempo de inicialización para localizar las señales de los satélites en función de su posición en el cielo y extraer los patrones de las señales de entre el ruido.

Las acciones intencionadas pueden consistir en interferencias o distintos tipos de suplantación de la señal.

### 1.4. Tipos de ataques a la señal GNSS y posibles contramedidas

La señal GNSS puede ser atacada generalmente de tres maneras posibles.

- Mediante **interferencia** o **perturbación** con otra señal (generalmente ruido) en la misma frecuencia, denominada *jamming*.
- Por **suplantación usando otra señal falsa**, generada intencionadamente y denominada *spoofing*.
- Por **suplantación usando señal GNSS real**, pero retrasada, denominada *meaconing*.

#### 1.4.1. Interferencia o perturbación (*jamming*)

La interferencia o perturbación (*jamming*) consiste en transmitir señales de radiofrecuencia en la banda de frecuencias de la señal GNSS, bloqueando o degradando la recepción de la señal real procedente de los satélites, por parte del receptor.

Los perturbadores pueden ser de banda estrecha, banda ancha o de espectro ensanchado. El alcance de la interferencia dependerá de la potencia usada y del ancho de banda.

Las consecuencias para el sistema de navegación del UAS pueden variar desde una disminución de la precisión hasta la pérdida total de la señal y la capacidad de posicionamiento y navegación.

Para tratar de evitarlo y protegerse se pueden usar los siguientes métodos:

- Utilizar **filtros para atenuar la señal de interferencia**, como los filtros de muesca (*notch filters*) para ataques de onda continua o banda estrecha, que, bien ajustados, eliminarían la interferencia, pero generalmente eliminarían también la señal real GNSS porque están en la misma frecuencia, por lo que son muy poco efectivos.
- Emplear **antenas de patrón de radiación controlado** (CPRA, *Controlled Pattern Radiation Array*) con capacidad de atenuar señales que lleguen desde una determinada dirección (desde el terreno) y enfocar la recepción de la señal hacia los satélites y minimizar la interferencia. Más efectivo, siempre y cuando se enfrenten a un solo perturbador desde tierra. Si la interferencia viene desde el aire o desde varias direcciones, se puede perder efectividad. También aumentan el peso y el tamaño del equipo GNSS, por lo que en sistemas pequeños y de bajo coste pueden ser inviables.
- Utilizar **receptores multi-constelación/multi-frecuencia**, incluyendo aquellos con procesamiento basado en radio definida por software (SDR *Software Defined Radio*), para aumentar la resistencia a la interferencia. Complica el diseño del receptor y ya no es efectivo en sistemas pequeños y de bajo coste.
- Integrar el GNSS con **otros sensores de navegación**, como los sistemas de navegación inercial (INS, *Inertial Navigation Systems*) o sistemas de referencia visual, para proporcionar una solución de navegación alternativa en caso de pérdida de la señal GNSS. La mejor solución, pero dependiente de sensores y procesamiento a bordo. La referencia visual junto con sensores de baja luminosidad y algoritmos de computer vision es la solución técnica que más se está desarrollando, pero tiene inconvenientes en zonas como el mar o el desierto, con pocas referencias visuales, o de noche. Los sistemas inerciales en sistemas de pequeño tamaño y bajo coste son de tecnología MEMS (*Micro-Electro-Mechanical-System*), basados en chips y con alta tasa de error acumulado en el tiempo (deriva).

## 1.4.2. Suplantación o Spoofing

La suplantación implica la transmisión de señales GNSS falsas con mayor potencia que las reales y que imitan las auténticas. De esta manera se consigue engañar al receptor para que calcule una ubicación incorrecta. La operativa suele ser partir de una posición real e ir variando muy poco a poco la posición, para que los algoritmos de filtrado del navegador no detecten un salto de coordenadas incompatible con los parámetros de vuelo.

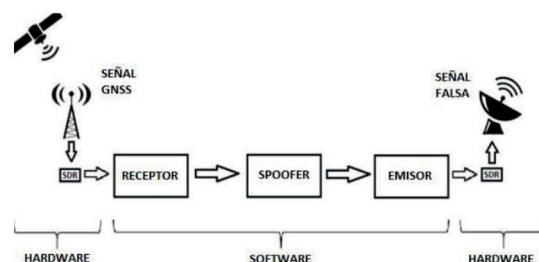


Figura 15. Diagrama funcionamiento spoofing GNSS.  
Fuente: elaboración propia ISDEFE

Un ataque de suplantación exitoso puede comprometer la navegación, la orientación y las operaciones del UAV, y puede acabar con la pérdida de este, o incluso con su secuestro, pasando a ser controlado por los que están ejecutando la suplantación.

Los posibles medios para protegerse de la suplantación o serían:

- Implementar tarjetas hardware o **módulos anti-suplantación** (SAASM, *Selective Availability Anti-Spoofing Modules*), como los utilizados por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos, que hacen uso de la señal encriptada P(Y), y no de la señal de uso libre C/A. Es complicado tener acceso a este hardware y en la mayoría de los sistemas LSS de pequeño tamaño y bajo coste no se puede implementar. Un ejemplo de la aplicación de estas medidas de protección ha sido la sustitución del módulo de navegación estándar de los Shahed 136 ruso por un equipo RTK GNSS de nuevo diseño, etiquetado como Beitian BT-982K1 (L1, L2, L5)<sup>54</sup>. Comparado con el módulo original SPGM 220 L1, L2 utilizado previamente, el nuevo equipo permite usar la frecuencia GPS L5, pero la principal ventaja es emplear tecnología RTK<sup>55</sup> (*Real Time Kinetics*).

54. [https://en.defence-ua.com/weapon\\_and\\_tech/shahed\\_136\\_gets\\_new\\_navigation\\_redefining\\_the\\_threat\\_or\\_can\\_ew\\_still\\_stop\\_it-12557.html](https://en.defence-ua.com/weapon_and_tech/shahed_136_gets_new_navigation_redefining_the_threat_or_can_ew_still_stop_it-12557.html)

55. **RTK** (Real-Time Kinematic) es una técnica avanzada de posicionamiento por satélite que mejora significativamente la precisión del GPS convencional. Utiliza una estación base de referencia que transmite correcciones en tiempo real a un receptor móvil, permitiendo alcanzar precisiones centimétricas. El RTK compara las fases de las ondas portadoras de las señales GPS recibidas tanto por la estación base como por el receptor móvil, y aplica algoritmos sofisticados para resolver las ambigüedades de fase. Esto resulta en una determinación de posición mucho más precisa que el GPS estándar, haciéndolo ideal para aplicaciones que requieren alta exactitud como topografía, agricultura de precisión y navegación autónoma.

- Utilizar **técnicas de autenticación de señales**, como las basadas en criptografía, para verificar la autenticidad de las señales GNSS. Requiere procesamiento a bordo con uso intensivo y tampoco sería viable en sistemas pequeños.
- Uso de un **servidor de datos PRN** (señal de radio repetitiva emitida por cada satélite GPS y generada por cada receptor GPS). Este método permite verificar la transmisión a partir de históricos de datos PRN almacenados sin que el receptor los tenga en su memoria interna, con lo que se ofrece seguridad a receptores simples.
- Emplear **sistemas de detección de suplantación** que analizan las características de la señal para identificar anomalías indicativas de una señal falsificada. Similar a la anterior, pero comparando las señales recibidas con las predicciones de los **filtros de Kalman**<sup>56</sup> para detectar saltos de coordenadas no realistas. Requiere que el navegador del UAV realice estos cálculos en tiempo real y disponga de otros sensores como IMU (*Inertial Measurement Unit*), visuales, etc.

### 1.4.3. Repetición o meaconing

La repetición consiste en retransmitir señales GNSS auténticas, pero con un retraso. Este retraso artificial introduce un error en la medición de la distancia entre el receptor GNSS del UAV y los satélites, lo que resulta en un cálculo erróneo de la posición del UAS. A diferencia de la suplantación donde se generan señales GNSS falsas, el *meaconing* utiliza señales reales, lo que dificulta su detección.

Un atacante puede generar un ataque de meaconing utilizando un equipo relativamente simple: un receptor GNSS que se utiliza para capturar las señales GNSS auténticas, un circuito retardador de señal que introduce el retraso deseado en las señales capturadas y un transmisor con antena direccional para retransmitir las señales retardadas a la zona de vuelo del UAS.

La mitigación del *meaconing* en un UAS puede ser más compleja, ya que la señal utilizada es real y no se pueden usar técnicas de autenticación. Sin embargo, existen algunas técnicas que pueden ayudar a detectar y mitigar este tipo de ataque:

- Detección de **anomalías**: se pueden emplear algoritmos para analizar las características de la señal GNSS y detectar patrones inusuales de retardo, lo que podría indicar un ataque de *meaconing*.

- Uso de **sensores redundantes**: la integración del GNSS con otros sensores de navegación, como un INS, puede proporcionar una solución de navegación alternativa y mostrar diferencias con las que detectan un ataque de *meaconing*.
- Usar **antenas** con patrones de radiación orientados hacia los satélites, para evitar la recepción de señales falsificadas o retrasadas, desde tierra.

### 1.4.4. Ataques combinados con varias técnicas

Los atacantes con más recursos técnicos pueden utilizar una combinación de los métodos anteriores, junto con equipos como conjuntos de antenas y transmisores de alta potencia o situadas en zonas elevadas, para aumentar la eficacia del ataque.

La defensa contra ataques combinados requiere una estrategia multicapa que incorpore las contramedidas mencionadas anteriormente para la inhibición, la suplantación y la repetición.

Además, es esencial disponer de sistemas de monitorización y detección de amenazas robustos para identificar y responder a ataques complejos y por ello es muy importante verificar la integridad del sistema.

Los sistemas de navegación de los UAS militares deben diseñarse con un alto nivel de integridad para garantizar un funcionamiento fiable incluso en presencia de ataques GNSS. Esto implica la implementación de mecanismos de detección y mitigación de fallos, así como el uso de varios sensores diferentes (GNSS, IMU, visual, etc.) junto a filtrado y algoritmos redundantes.

En el caso de los UAS de muy bajo coste, FPV OWA, que sólo se emplean en una misión y no regresan, no tiene sentido invertir en sistemas de navegación multisensor avanzados.

La solución técnica que se emplea es sencilla, se sustituye el guiado y la capacidad de navegación autónoma por el guiado manual del operador a partir de la imagen que el UAV envía a sus gafas.

56. El Filtro de Kalman es una herramienta matemática que se utiliza para mejorar la precisión de la estimación de la posición y orientación de un sistema. Funciona combinando datos de múltiples sensores, como GPS, acelerómetros y giroscopios y predice la posición y orientación futuras del UAV basándose en su estado actual y movimiento. Compara esta predicción con las nuevas mediciones de los sensores y actualiza la estimación de la posición y orientación, dando más peso a los datos más confiables. Por lo tanto, reduce el ruido y las imprecisiones inherentes a los sensores individuales.

De este modo, si el enlace de comunicaciones se mantiene, (en distancias de pocos kilómetros se puede utilizar un cable en lugar del enlace de radiofrecuencia) el operador, con la ayuda de mapas, referencias visuales o el conocimiento del entorno, puede efectuar la navegación manual hasta el objetivo.

### 1.4.5. Uso de sistemas de navegación alternativos

Como se ha visto, la mejor manera de mitigar el riesgo de interferencia de la señal de GNSS es no ser totalmente dependiente de ella, y disponer de otros medios de navegación basados en diferentes sensores y procesos a bordo. Además, la navegación basada en GNSS no va a funcionar en ningún caso en el interior de edificios o en túneles, cuevas o valles profundos o bajo una densa capa de árboles.

Por todo ello se desarrollan sistemas de navegación alternativos que pueden estar basados en diferentes sensores. Se hace necesario disponer de un procesador de navegación, que haga una fusión de la información de los sensores y que asigne unos pesos en función de cómo se estime la fiabilidad de cada sensor en cada momento.

Los mayores avances se están dando en los sistemas de navegación visual, que se basan en un conjunto de cámaras, junto con algoritmos de visión por ordenador e identificación de patrones por *machine learning*,

## 1.5. Vulnerabilidad del enlace de comunicaciones

Quizás la vulnerabilidad de los UAS más importante y con más posibilidades de explotación es la del enlace de comunicaciones. Los resultados de una interrupción en las comunicaciones entre el segmento terrestre y el aéreo provocan como poco el fracaso de la misión y posiblemente puedan llegar a la pérdida de la plataforma.

También es posible que se pueda determinar la posición del operador en la estación terrestre y pueda ser neutralizado.

El enlace de comunicaciones de un UAS es por tanto el elemento más débil del sistema, proporcionando un vector para ataques de guerra electrónica que pueden interrumpir o controlar la aeronave.

Las formas de ataque más frecuentes son la generación de interferencias en las mismas frecuencias o en la banda de trabajo del UAS, la interceptación de las comunicaciones,

para poder determinar la posición tanto del segmento aéreo como del terrestre, y la manipulación de las señales de control y de la carga útil (suplantación del operador).

### 1.5.1. Interferencias o jamming al control remoto

Los atacantes pueden interferir o bloquear las señales de mando y control, así como los flujos de datos de los sensores. El equipamiento necesario para ello está muy extendido en todas las unidades de guerra electrónica de los ejércitos.

Se emplea sobre todo para interferir comunicaciones tanto de voz como de datos, y, conociendo las bandas de trabajo, se pueden interferir también las de los UAS.

Además, cuanto más lejos esté el UAV de la estación de control y más cerca del atacante, las necesidades de potencia para la interferencia son menores.

Para tratar de reducir el riesgo de interferencia se pueden seguir los siguientes criterios de diseño:

- **Redundancia.** La implementación de múltiples enlaces de comunicación, incluyendo distintas frecuencias y protocolos diversos, e incluso usando bandas diferentes, puede aumentar la resistencia a la interferencia.
- **Agilidad de frecuencia.** La capacidad del UAS para cambiar de frecuencia rápidamente y de forma autónoma puede dificultar el *jamming* efectivo.
- En este punto habría que diferenciar entre **salto en frecuencia** (*frequency hopping*), en el cual tanto transmisor como receptor cambian de frecuencia dentro de una banda un gran número de veces por segundo de manera automática, y **cambio de frecuencia** (*frequency switching*) en el que simplemente los transmisores y receptores disponen de un conjunto de frecuencias dentro de la banda y el sistema puede cambiar a otra si detecta interferencias, o el operador puede elegir cual se usa. No hay un salto continuo, sino que se cambia entre un conjunto de preselecciones en la banda si se detectan interferencias.

El salto en frecuencia es una solución técnica muy avanzada y compleja que requiere de equipamiento muy específico. En este segmento de UAS LSS no suele haber opciones de salto en frecuencia y se emplea, a lo sumo, cambios de frecuencia entre un conjunto limitado de la banda de trabajo o de bandas adyacentes.



- **Baja detectabilidad.** La reducción de la huella electromagnética del UAS mediante direccionalidad del enlace.
- **Gestión del Espectro Electromagnético.** El planeamiento EMCON (*EMision Control*, Control de Emisiones Electromagnéticas) es vital para evitar la interferencia entre sistemas propios y la detección por parte del enemigo. Consiste en volar el máximo tiempo posible sin necesidad de comunicaciones entre UAV y estación de control. Esto incluye el establecimiento de protocolos para el uso del espectro, la coordinación de frecuencias y la limitación de emisiones innecesarias.

- **Uso de fibra óptica en los enlaces.** Solución desarrollada en la guerra de Ucrania por parte de la Federación Rusa, pero adaptada por ambos contendientes, que consiste en la sustitución completa del enlace RF tanto de mando y control como de video, por una conexión física entre estación GCS y UAV mediante un fino cable de fibra óptica, que se va desenrollando desde una bobina instalada en la plataforma aérea.

Inicialmente se lograban alcances de pocos km pero han ido evolucionando hasta llegar con facilidad a más de 10 km, incluso hasta 30 km. La mayor distancia recorrida por uno de estos sistemas hasta ahora es de 40 km, en un FPV ruso capturado por Ucrania en febrero de 2025.

Los sistemas UAV con conexión por fibra óptica requieren una envolvente de vuelo más limitada, evitando que el cable se enrede en el terreno o vegetación.

Desde el final de 2024 estos sistemas con fibra óptica han ido reemplazando a los convencionales con enlaces RF digitales y analógicos, y en febrero de 2025 constituyen casi el 80% de todos los empleados en el conflicto. Se ha evolucionado tanto la propia fibra óptica, dotándola de una enorme ligereza y resistencia, como el peso de la propia bobina se ha reducido, estando en torno a los 500g para el caso de alcances del orden de 5 km.

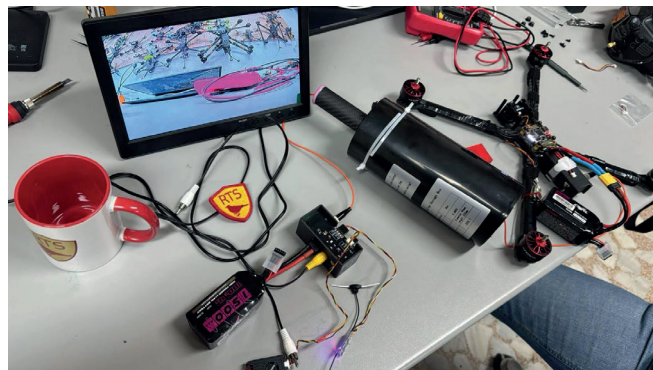


Imagen 54. Bobina de fibra óptica para montar en FPV. Fuente: experimentación en la empresa RED TEAM SHIELD

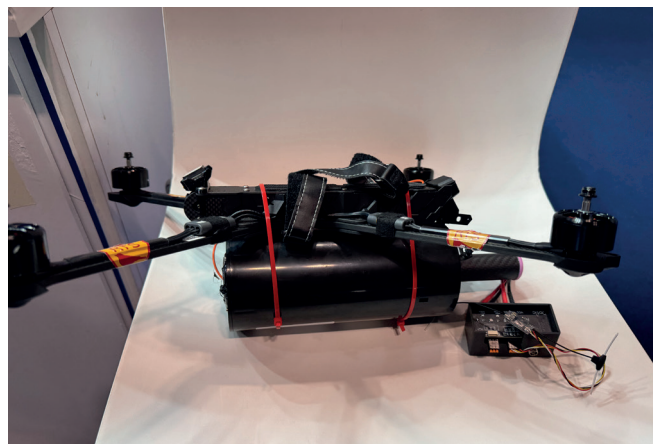


Imagen 55. UAS FPV OWA con bobina de fibra óptica para el enlace de comunicaciones. Fuente: experimentación en la empresa RED TEAM SHIELD.

### 1.5.2. Intercepción de la señal de mando y control y de la carga útil

El atacante puede interceptar las comunicaciones para obtener información sensible sobre la misión del UAS o las operaciones del usuario, o imágenes de video que se estén retransmitiendo.

La mejor forma de mitigarlo es mediante la encriptación robusta de los datos transmitidos. De esta manera se reduce el riesgo de que en tiempo real se pueda acceder a la información.

En estos niveles de sistemas pequeños y de bajo coste suelen estar basados en software y tener un nivel AES (*Advanced Encryption Standard*) 128 o AES 256<sup>57</sup>.

57. El cifrado AES es un cifrado simétrico en bloques y se usa con el fin de cifrar datos y de protegerlos contra cualquier acceso ilícito. El método criptográfico emplea para este objetivo una clave de longitud variada y se denomina según la longitud de clave usada AES-128, AES-192 o AES-256.

### 1.5.3. Manipulación y suplantación de la señal de mando y control

La manipulación o *hacking* de la señal consiste en que los atacantes pueden intentar manipular los datos transmitidos, enviando comandos falsos al UAS o alterando la información recibida por el operador, llegando a tener cierto control sobre él.

La suplantación va más allá de la manipulación y permite a los atacantes, analizando los protocolos de control e identificando el sistema en sus bases de datos, hacerse pasar por la estación de control terrestre (GCS), tomando el control total del UAV, al poder enviar señales compatibles con el receptor de abordaje y sus protocolos.

Esto es más efectivo cuando más cerca se encuentre el UAV del atacante, y su relación señal/ruido sea superior a la del operador.

Para mitigar esta vulnerabilidad del sistema UAS, la mejor manera es usar protocolos específicos de control y no basados en fuentes abiertas.

Además, un aumento de la autonomía del sistema y la minimización de emisiones de control.

## 2. SISTEMAS CONTRA UAS LSS

Como se ha mencionado anteriormente, los UAS LSS, por su tamaño y características de vuelo, quedan fuera del alcance de los sistemas clásicos de la defensa aérea, en particular los sistemas antiaéreos de alta y media cota basados en misiles.

Sólo los sistemas de baja cota (SHORAD, *Short Range Air Defense*) podrían ser capaces de hacer frente a la amenaza en el caso de sistemas de un tamaño a partir de la categoría SMALL y volando no muy cerca del terreno.

También hay que considerar que los sistemas SHORAD suponen en muchas ocasiones el empleo de sistemas de misiles tierra - aire de baja cota, como el Stinger americano, el Mistral francés y el Starstreak británico. En este caso habría que tener en cuenta la relación coste-beneficio en usar un misil que puede costar cerca de medio millón de euros para abatir un blanco de apenas mil euros.

Está claro que en el caso de los UAS FPV y los sistemas de *loitering munition*, el derribarlos puede salvar vidas humanas

y valioso equipo e infraestructuras, con lo que estaría más que justificado el utilizarlo en esos casos. También en el caso de UAS para ISR si la información que envían es crítica para poder realizar un ataque posterior.

El problema se da en los ataques múltiples o en oleada, donde pueden llegar grandes cantidades de sistemas, del orden de decenas, e incluso cientos, y saturar completamente los limitados stock de misiles y munición de los sistemas SHORAD.

Se hace necesario, por lo tanto, complementar los sistemas tradicionales de defensa aérea a baja y muy baja cota con sistemas específicos C-UAS.

### 2.1. Definición de un sistema contra UAS (C-UAS) genérico

Para definir un sistema genérico contra la amenaza de los UAS LSS hay que determinar primero su modo de funcionamiento o su ciclo de trabajo.

Si planteamos la amenaza en base a la protección de un área frente al ataque de estos sistemas, lo primero que le debemos pedir al sistema C-UAS es que sea capaz de detectarlos a una distancia que nos permita tomar decisiones y tener el mínimo tiempo para poder actuar en la defensa. Es decir, la primera fase debe ser de DETECCIÓN temprana.

Una vez detectada la amenaza, el sistema debe ser capaz de identificarla y establecer cuál es el grado de riesgo que implica. Es decir, ha de confirmar que es un UAV hostil, que lleva una trayectoria que lo acerca al área de protección, y por tanto es necesario tomar medidas frente a él.

La identificación debería incluir el tipo de sistema y, si es posible, compararlo con librerías internas para determinar toda la información disponible de él, en particular, frecuencias, protocolos de control, etc. Por todo ello esta fase se debe denominar IDENTIFICACIÓN.

Una vez confirmado que se trata de un UAV hostil con trayectoria de acercamiento y se conocen algunos parámetros de él, hay que tomar una decisión de qué hacer y cómo. Esta decisión debería ser realizada o, al menos, verificada por un operador humano, aunque se puede dar el caso de definir un perímetro interior donde automáticamente se actúe contra el UAV hostil. Esta fase sería por lo tanto la de DECISIÓN.

Por último, una vez que se confirma que un UAV hostil identificado como tal, que se está acercando y se ha decidido

actuar para neutralizarlo, se ha de proceder de esa manera, dando orden al sistema para que lo inhíba o derribe en base a las reglas de enfrentamiento o al análisis de amenazas que se hayan establecido. Es la fase de NEUTRALIZACIÓN.

A continuación, se va a ver con más detalle cada una de las fases mencionadas.

2.1.1. Fase de Detección

Para la detección temprana de la amenaza se ha de disponer de los elementos que lo hagan posible, que básicamente son los sensores de detección. Se trata de encontrar los más adecuados, que se deben elegir en base a la caracterización de estos sistemas LSS.

Dicha caracterización se ha de basar en los parámetros que les definen y diferencian de otros blancos.

Algunos de estos parámetros se pueden estimar en función de la categoría/clase de la amenaza esperada:

- **Velocidades de aproximación** esperadas, están limitadas por su propio tamaño y capacidad, no superando los 25 o 30 m/s en el mejor de los casos. Los sistemas de *loitering munition*, en cambio, pueden superar velocidades de 50 m/s en su fase de ataque, como es el caso del sistema Switchblade 600 de la estadounidense *Aerovironment*.
- La **altura de vuelo** puede llegar a ser realmente baja, del orden de metros sobre el terreno, e incluso en las zonas boscosas los LSS pueden ser capaces de volar entre los árboles.

- La **sección transversal radar** suele ser realmente baja, no sólo por su tamaño, sino por los materiales de su estructura, fibras de carbono, plásticos, incluso madera. Únicamente la batería y el explosivo en el caso de los OWA pueden llegar a producir un eco radar débil. El giro a alta velocidad de las hélices de los multicópteros genera un efecto en la señal radar denominado *micro-Doppler*<sup>58</sup>, que puede llegar a ser detectado por radares especializados.
- La **firma espectral** es también muy baja en cuanto a emisiones infrarrojas y luminosas. Únicamente la firma sonora puede llegar a tener un valor significativo en entornos silenciosos.
- Las **emisiones de radiofrecuencia** es uno de los aspectos que pueden delatar la presencia de estos sistemas, ya que tanto para recibir las órdenes de control como para enviar la señal de video el sistema usa en general radiofrecuencia. Sólo en los desarrollos vistos en la guerra de Ucrania, con conexión por fibra óptica kilométrica se puede llegar a tener un silencio electromagnético total.  
También podría serlo en el caso de los UAS completamente autónomos, con capacidad de búsqueda y ataque automático de objetivos.

Otros parámetros que también influyen en la detección serían la trayectoria relativa frente al área a proteger, en el que se pueden descartar amenazas que se estén alejando de la zona, y el tipo de motor, que influye en el análisis *micro-Doppler*, ya que es la fuente de esos efectos.

Respecto a los sensores disponibles que pueden contribuir a la detección de la amenaza, se pueden destacar los siguientes:

| Sensor       | Descripción                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|--------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Radar activo | Radar clásico de onda continua: emite ondas de radio y mide el tiempo de retorno de las ondas reflejadas por un UAS para determinar su posición, velocidad y trayectoria. Ideal para la detección a largas distancias y en condiciones de baja visibilidad. Funciona en diferentes bandas (L, X, C, etc.) para adaptarse a varios entornos de operación.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|              | Radar persistente: son una evolución tecnológica diseñada para garantizar vigilancia continua en un área durante largos periodos, superando las limitaciones de los radares de onda continua (CW) o de pulsos. Basados en tecnologías avanzadas como matrices activas (AESA) y procesamiento multicanal, permiten el seguimiento simultáneo de múltiples objetivos y actualizaciones en tiempo real. Sus principales ventajas incluyen la detección precisa de objetivos pequeños y de bajo vuelo, así como una mayor resistencia a interferencias, contramedidas electrónicas y condiciones climáticas adversas, posicionándose como una solución avanzada para las demandas de defensa actuales. |

58. El efecto micro-Doppler es un derivado del efecto Doppler, que captura las variaciones de frecuencia generadas por los movimientos internos o pequeños movimientos oscilatorios dentro de un sistema en movimiento general. En otras palabras, mientras el efecto Doppler clásico se refiere a un cambio global en la frecuencia de retorno debido a un movimiento relativo general (por ejemplo, un objeto alejándose o acercándose al radar), el micro-Doppler detecta y mide las fluctuaciones adicionales causadas por movimientos más detallados y específicos de las partes del objeto. En términos de radar, esto significa que, si un objeto tiene componentes que se mueven o vibran con respecto a su cuerpo principal, el eco devuelto incluirá una serie de modulaciones en frecuencia que corresponden a estos movimientos secundarios. Estas frecuencias adicionales en la señal de retorno permiten identificar patrones de movimiento propios de cada tipo de objeto o actividad.

| Sensor                                | Descripción                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|---------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Radar pasivo</b>                   | No emite ondas de radio propias; detecta reflejos o emisiones electromagnéticas producidas por el propio UAS o por su interacción con otros elementos en el ambiente. Requiere fuentes externas de emisión como televisión, torres de telecomunicaciones de telefonía móvil o incluso señales de GPS.                                                                                                                                                         |
| <b>IR Searcher and Tracker (IRST)</b> | Usa un sensor infrarrojo (IR) para detectar las firmas de calor generadas por el UAS, motores o componentes electrónicos, particularmente útil en condiciones de baja visibilidad y nocturnas. Ofrece capacidades de búsqueda pasiva y seguimiento térmico de blancos móviles.                                                                                                                                                                                |
| <b>Cámara EO/IR</b>                   | Sistema de cámaras electroópticas (EO) y de infrarrojos (IR) que capturan imágenes en el espectro visible e infrarrojo. Permiten la identificación visual del UAV, además de proporcionar datos de localización y seguimiento. Es eficaz en combinación con otros sensores para clasificación.                                                                                                                                                                |
| <b>Sensor acústico</b>                | Detecta el sonido emitido por los motores o hélices de un UAV. Utiliza una red de micrófonos direccionales que permite identificar la dirección y ubicación aproximada de la fuente sonora. Eficaz a distancias cortas y en entornos de baja contaminación acústica. En Ucrania se ha utilizado una red de teléfonos móviles en postes para detectar la presencia de UAVs en determinadas zonas y triangular su posición o vector de acercamiento aproximado. |
| <b>Detector de RF</b>                 | Identifica y localiza señales de radiofrecuencia emitidas o utilizadas por el UAS para comunicación y control, incluyendo transmisiones de video o control por GPS. Útil para detectar tanto drones operados remotamente como autónomos con sistemas de comunicación activos.                                                                                                                                                                                 |
| <b>Análisis de micro-doppler</b>      | Módulo de proceso radar que utiliza el micro-Doppler para analizar movimientos detallados del UAS, como las vibraciones de las hélices, que permiten diferenciar un UAV de otros objetos. Proporciona información única sobre el tipo de plataforma mediante la firma específica de sus partes móviles.                                                                                                                                                       |

Tabla 17. Posibles sensores para implementar en la fase de identificación de un sistema C-UAS. Fuente: elaboración propia

A continuación, se va a relacionar los parámetros que se han establecido para definir y diferencias los UAVs, con los sensores que pueden detectarlos.

En un primer análisis podría establecerse una relación múltiple, tal y como se muestra en la figura:

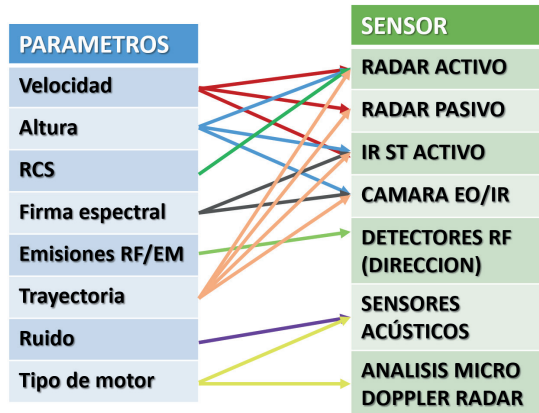


Figura 16. Parámetros que mejor se ajustan a las características de detección de los tipos de sensores. Fuente: elaboración propia

Se puede ver que no existe un único sensor que pueda realizar la detección con ciertas garantías y, por otra parte, hay parámetros que pueden ser caracterizados por más de un sensor.

Además, debe existir la llamada capacidad de *cueing* o señalización, que se refiere a la posibilidad de dirigir otros sensores de detección hacia un área específica donde uno de ellos ha detectado un UAV.

Por ejemplo, ante una detección radar se debe enviar la información al sensor cámara para que confirme la detección e inicie la siguiente fase de identificación. Esto es esencial para maximizar la efectividad de los recursos de detección y asegurar que las fuerzas puedan responder rápidamente a las amenazas.

La solución técnica óptima debería incluir varios de ellos para poder complementar al máximo el número de parámetros de detección y tener más posibilidades de usos adaptados a los diversos escenarios.



No todos los sensores tienen las mismas posibilidades de éxito. Por ejemplo, los sensores acústicos tienen un corto alcance y requieren un entorno silencioso. Los radares pasivos requieren de señales de oportunidad y un entorno adecuado para ser efectivos.

Los radares activos han de ser específicos para estas amenazas (onda continua, persistentes, holográficos, etc.) y por tamaño ofrecen unas prestaciones menores a los radares de defensa aérea tradicionales, en cuanto a alcances y falsas alarmas.

Un ejemplo de este tipo de radares específicos de aplicaciones C-UAS es el sistema Midrange de la empresa española ART, que trabaja en banda Ku, con un alcance de hasta 5km, unas dimensiones pequeñas, 70 cm x 70 cm y un peso aproximado de 40 kg.

Volviendo a las limitaciones en la elección del conjunto modular de sensores, estas vendrán dadas también por las diferencias de tamaño, consumo, coste y volumen requeridos para poderlos integrar en el sistema C-UAS, sobre todo si es un equipo transportable o móvil.

Debería ser una solución de compromiso en la que influyen esas limitaciones, además del tamaño y características de funcionamiento del sistema C-UAS a diseñar, el entorno de operación previsto y la simplificación y adaptación a los requisitos de misión.

No obstante, aun con una combinación óptima de sensores, para un UAS LSS de pequeño tamaño volando bajo, en un entorno complicado, la detección puede ocurrir cuando esté a menos de dos km, por lo que la velocidad de reacción es crítica.

En un posterior análisis de escenarios se plantearán posibles soluciones de compromiso en cuanto a la elección de los sensores de detección.

### 2.1.2. Fase de identificación

Una vez detectado el UAS, se pasa a comprobar su grado de amenaza y para ello se debería de ampliar la información de los parámetros que han servido para su detección. Es crucial confirmar que estamos frente a un UAS hostil y no ante una falsa alarma o un UAS propio.

En concreto se podría identificar mediante una imagen proporcionada por la cámara EO/IR, por el sonido captado por los sensores acústicos, por la trayectoria que establezca

el radar y por las señales de control que detecte el receptor de radiofrecuencia.

La información para extraer de los posibles blancos detectados en la fase anterior sería la siguiente:

- **Parámetros de radiofrecuencia.** Banda de trabajo, frecuencia fija o conjunto de frecuencias variables, y potencia de señal.
- **Firmas espectrales.** Imagen visual, forma, tamaño, firma infrarroja y firma acústica.
- **Características de vuelo.** Velocidad, altitud, trayectoria y rumbo.

Toda esa información se ha de comparar con las librerías de datos (*dataset*) que se dispongan, tanto de imágenes, sonidos, protocolos de control, frecuencias, parámetros físicos, parámetros de vuelo, etc.

Para el cumplimiento eficaz de esta fase es crítico contar con **datos completos, actualizados, fiables, homogéneos y accesibles** sobre los UAS que representen amenazas. Las fuentes de información para esos datos suelen ser los propios fabricantes de sistemas C-UAS, la información técnica de fabricantes de UAS comerciales, las fuentes abiertas y la posible información de inteligencia a la que se tenga acceso.

Disponiendo de esos datos, el uso de algoritmos de inteligencia artificial (especialmente la clasificación mediante *machine learning*) es una ayuda fundamental, ya que su velocidad de proceso es muy superior a la humana, y en defensa C-UAS la rapidez se transforma en ventaja operacional.

Al final de esta fase, se dispone de una detección y una identificación más o menos fiable del grado de la amenaza, así como una estimación del tiempo disponible para decidir. Toda esa información ha de ser presentada al operador para facilitar la toma de decisión, que es la fase siguiente.

### 2.1.3. Fase de decisión

Con la información disponible al final de la fase de identificación, es el momento de decidir si se actúa contra la amenaza y como se actúa. La decisión debe estar condicionada por la información recibida de la fase anterior.

Si se trata claramente de un UAV hostil en clara trayectoria de acercamiento y las normas de enfrentamiento así lo determinan, el operador deberá decidir su neutralización.

Si existen dudas, el sistema debe proporcionar toda la información posible desde el momento en que vaya estando disponible para ayudar a una toma de decisión más adecuada por parte del operador.

Las dudas pueden venir dadas por:

- **La trayectoria no es clara o es errática.** Puede tratarse de un uso indebido o una imprudencia por parte del operador del UAS. Se debería continuar el seguimiento y vigilar cualquier cambio de trayectoria. Hay que tener en cuenta que, aunque no se acerque directamente, la cámara del UAV puede estar enviando información sensible de la zona a proteger.
- **No se ha logrado identificar claramente** como UAV hostil, y en la zona están desplegados UAVs propios. Se debería continuar el seguimiento y debería de continuar el proceso de identificación.
- El UAV está en una zona que puede provocar **daños colaterales** si es neutralizado.

En cualquier caso, la decisión vendrá priorizada por unos protocolos o reglas de enfrentamiento previamente fijadas al operador del C-UAS, en base diferentes cuestiones como la zona de despliegue, el nivel de seguridad actual, el riesgo de ataque que se pueda anticipar, la información de inteligencia sobre presencia de UAV hostiles en la zona, etc.

Esas reglas de enfrentamiento definirán el grado de certidumbre mínimo para decidir neutralizar el UAV o, por el contrario, esperar a una mayor información sobre él.

### 2.1.4. Fase de neutralización

En esta fase, el operador o el mando ya decidió neutralizar la amenaza, en base a la identificación positiva como tal, de acuerdo con las reglas de enfrentamiento que le han sido comunicadas.

La neutralización se puede llevar a cabo empleando diferentes medios. En una primera clasificación las diferentes opciones disponibles se pueden encuadrar en dos categorías principales:

#### Métodos basados en radiofrecuencia o guerra electrónica Soft Kill

Consisten en explotar las vulnerabilidades del enlace de comunicaciones y del sistema de navegación, que se vieron al principio del capítulo.

|                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|---------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Interferencias (Jamming)</b> | Consiste en crear interferencias en los sistemas de telecontrol y comunicaciones del RPA, perturbando los enlaces que necesita para operar.<br><br>También es posible el <b>jamming</b> a la señal GNSS, que dejaría el UAS sin referencia de posicionamiento, si no dispone de otros medios                                                                                                                                  |
| <b>Ventajas</b>                 | Efectivo contra la mayoría de los UAS comerciales y ligeramente modificados.<br><br>Más complicado en el caso de UAS LSS militares con medidas de resiliencia del enlace y sistemas de navegación alternativos basados en sensores visuales o inerciales.                                                                                                                                                                     |
| <b>Desventajas</b>              | Puede afectar a otros dispositivos electrónicos en la zona, requiere una alta potencia para ser efectivo a largas distancias.<br><br>Se deben conocer las bandas de trabajo de los enlaces.<br><br>En el caso de la interferencia a GNSS no sería efectiva si el UAV es guiado por medios visuales FPV.<br><br>Los sistemas UAS FPV OWA guiados por fibra óptica no serían vulnerables a estas interferencias en ningún caso. |
| <b>Secuestro (Hacking)</b>      | Consiste en suplantar los comandos de control en el enlace para tomar el mando del sistema y recuperarlo, o llevarlo a una zona segura                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>Ventajas</b>                 | Permite controlar el UAV y acceder a él, pudiendo ser una fuente de información importante.<br><br>Se elimina el riesgo de hacerlo estrellar o perder el control, que puede ser peligroso en caso de llevar elementos explosivos.                                                                                                                                                                                             |
| <b>Desventajas</b>              | Requiere un conocimiento específico del sistema de control del UAS, puede ser vulnerable a contramedidas.<br><br>Depende también de la posición relativa desde el UAS entre el operador y el sistema de <b>hacking</b> .                                                                                                                                                                                                      |

|                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Suplantación de la señal GNSS (Spoofing)</b> | Consiste en utilizar una señal falsa de GNSS, simulando ser la real en la zona donde está el UAV y de esta manera se engaña su sistema de posicionamiento, pudiendo incluso hacer que cambie su rumbo en la dirección que se quiera.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>Ventajas</b>                                 | <p>Similar al secuestro, pero se centra en la navegación del UAV.</p> <p>No es necesario conocer los protocolos de control y es relativamente más fácil de lograr.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>Desventajas</b>                              | <p>Más complejo y costoso que un sistema de inhibición.</p> <p>Requiere una señal GNSS falsa precisa, y realizada de manera específica para el UAV en cuestión, partiendo de su posición actual y variando muy poco a poco la posición.</p> <p>Hay que conocer con precisión la posición del UAV antes de atacarle por lo que suele requerir sensores radar.</p> <p>Si el UAV dispone de otros sensores de posicionamiento (IMU, visuales, etc.) puede que no se vea afectado.</p> <p>Puede afectar a sistemas propios en el área. No puede ser usado en entornos aeroportuarios.</p> |

Tabla 18. Fase de neutralización. Métodos Soft Kill basados en radiofrecuencia. Fuente: elaboración propia

Métodos de neutralización física, cinéticos o *Hard Kill*

Estos métodos se aprovechan de la fragilidad del vehículo aéreo para tratar de parar su trayectoria de vuelo y derribarlo antes de que se acerque al área de interés.

|                             |                                                                                                                                                                                                                                                        |
|-----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Artillería antiaérea</b> | Uso de armas de fuego convencionales para derribar el UAV, en particular ametralladoras con gran cadencia de disparo, lanza granadas, y cañones de 20, 30 ó 35 mm con munición prefragmentada y capacidad de detonar en el aire o por proximidad, etc. |
| <b>Ventajas</b>             | Si las armas están bien dirigidas y el blanco está en seguimiento y no realiza maniobras evasivas o de alta velocidad, pueden ser muy efectivas.                                                                                                       |

|                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Desventajas</b>                                   | <p>Peligroso en entornos poblados, puede generar daños colaterales. Pueden ser poco efectivas contra determinados UAVs rápidos, como las municiones merodeadoras, por el tiempo de seguimiento y apuntamiento.</p> <p>Suelen requerir sistemas de apuntamiento basados en radar y por lo tanto ser activos y atraer a sistemas buscadores de radar.</p> <p>Requiere el disponer de unas normas de enfrentamiento que lo permitan.</p> |
| <b>Misiles antiaéreos de baja cota</b>               | Uso de misiles, generalmente con guiado infrarrojo, del tipo Stinger o Mistral, lanzamiento desde vehículo o desde combatiente ( <i>MANPAD</i> ). También lanzados desde helicóptero o avión, de guía infrarroja o radárica.                                                                                                                                                                                                          |
| <b>Ventajas</b>                                      | Mayor alcance que los sistemas antiaéreos. Posibilidad de eliminar la amenaza antes de que se aproxime al área crítica.                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Desventajas</b>                                   | <p>Peligroso en entornos poblados, puede generar daños colaterales. El mayor alcance no es aprovechable porque la detección en el caso de vehículos de pequeño tamaño LSS se llega a realizar a corta distancia (3-5 km).</p> <p>Coste muy elevado. Stocks muy reducidos.</p> <p>Requiere el disponer de unas normas de enfrentamiento que lo permitan.</p>                                                                           |
| <b>Armas de energía dirigida: láser y microondas</b> | Uso de láseres o haces de microondas de alta potencia para dañar o destruir el UAV.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Ventajas</b>                                      | <p>Rapidez y capacidad para destruir un grupo o enjambre de UAVs</p> <p>Se propagan a mucha mayor velocidad que los proyectiles por lo que pueden tener más precisión.</p> <p>Es una solución eficaz en la protección contra UAS de buques al menos para sistemas de tamaño mediano pequeño.</p>                                                                                                                                      |

|                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Desventajas</b>     | Alto coste del equipo, elevado tamaño y peso de los láseres de gran alcance y precisión, restricciones legales y de seguridad.<br><br>Gran consumo eléctrico y necesidades de refrigeración del equipo.<br><br>Prácticamente aún son prototipos aunque ya se han desplegado sistemas láser en protección de bases de operaciones de Estados Unidos.<br><br>Requiere el disponer de unos protocolos o normas de enfrentamiento que lo permitan.                                                              |
| <b>Redes</b>           | Sistemas de lanzamiento de redes para inmovilización y caída del UAS.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Ventajas</b>        | Útil en entornos donde no se pueden usar contramedidas electrónicas, permite controlar en cierta medida el punto de caída.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>Desventajas</b>     | En desarrollo, poco efectivo por la alta tasa de fallos y por necesitar de una gran precisión en el apuntamiento.<br><br>Muy corto alcance.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>Drones anti-UAS</b> | Pequeños drones equipados con redes o con interferencias de corto alcance para neutralizar UAS. También existen los que derriban por impacto con o sin carga explosiva y con arma de fuego específica.                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Ventajas</b>        | Permite neutralizar UAS a mayor alcance, minimiza daños colaterales.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>Desventajas</b>     | Limitado contra ataques de UAS lentos, sin trayectorias evasivas y de tamaño mediano o grande.<br><br>Aun en desarrollo y prácticamente sin referencias en el mercado. Se han distribuido imágenes de prototipos artesanales cumpliendo su misión de derribo, pero se desconocen las estadísticas de efectividad.<br><br>La información que se comparte puede estar sesgada porque sólo se publican y se conocen los éxitos de estos sistemas (es el conocido como sesgo del superviviente <sup>59</sup> ). |

Tabla 19. Fase de neutralización. Métodos cinéticos. Fuente: elaboración propia

Por un lado, se trata de determinar qué métodos de neutralización debe de llevar el sistema C-UAS modular y, de ellos, priorizar los que se puedan usar en función del escenario, de las amenazas y de las reglas de enfrentamiento establecidas. Es fundamental para ello conocer el escenario y la amenaza antes de planificar el despliegue del sistema.

### 2.2. Esquema genérico de un sistema C-UAS modular

Teniendo en cuenta las opciones para sensores y efectores que se han ido desarrollando en el punto anterior, un C-UAS modular genérico podría tener el siguiente esquema o diagrama de bloques:

59. El sesgo de supervivencia (o sesgo del sobreviviente) es una falacia cognitiva en la que, al observar un grupo determinado, se centra solo en los ejemplos de individuos exitosos (los "sobrevivientes") en el proceso de selección en lugar del grupo en su conjunto (incluidos los "no sobrevivientes")



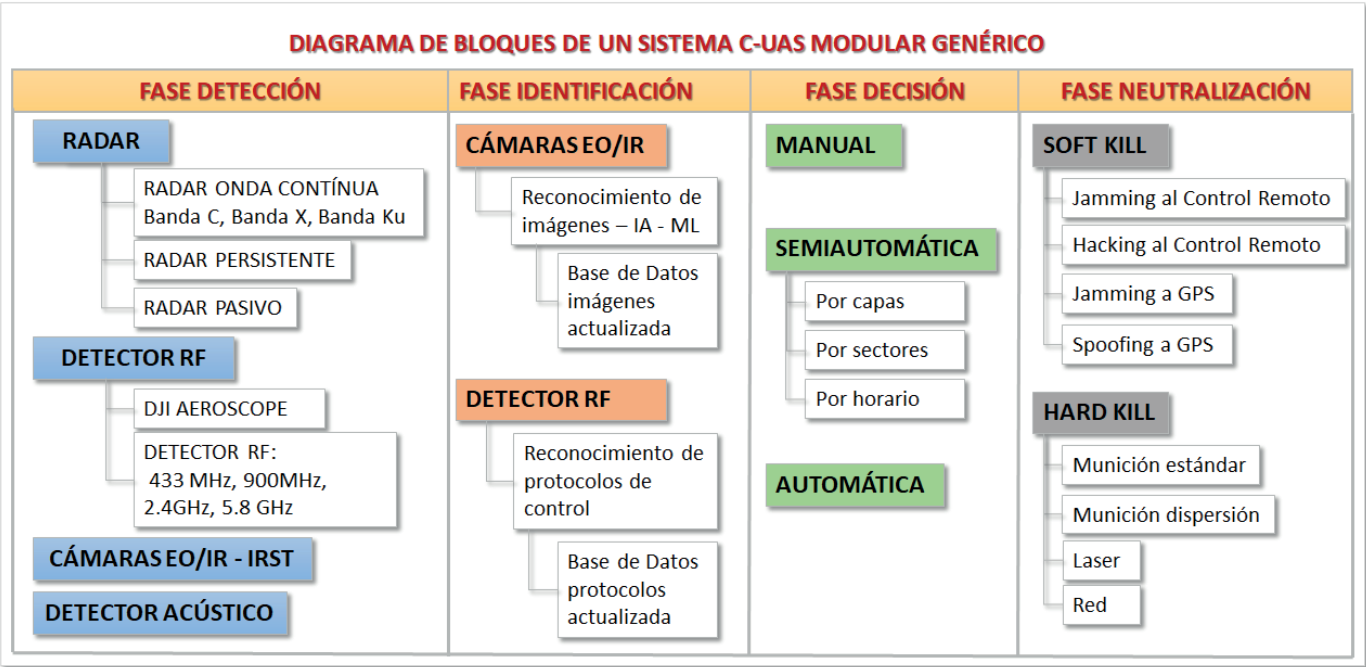


Figura 17. Diagrama de bloques de una posible configuración de sistema C-UAS genérico transportable. Fuente: elaboración propia en DIMALE

Un sistema genérico como el descrito se podría diseñar para una instalación fija o integrarlo en vehículos para tener capacidad móvil.

Para el caso de requerir movilidad, el sistema se podría transportar en dos o tres vehículos, dependiendo del tamaño y la capacidad de carga.

Un ejemplo de este concepto es el sistema C-UAS CERVUS, desarrollado inicialmente como un prototipo entre el Ejército de Tierra (Regimiento de Guerra Electrónica 31) y la empresa TRC, y cuya versión III<sup>60</sup> está diseñada y fabricada por dicha empresa, con el apoyo de INDRA, ATL Europa, ESCRIBANO M&E y UROVESA.

La evolución III del CERVUS cuenta con tres vehículos URO VAMTAC ST5:

- El primero ejerce la función de mando y control y dispone de los sistemas de detección RF e inhibición, de la española ATL Europa y el mástil de HISPAMAST con cámara EO/IR OTEOS de Escribano E&M.
- El segundo dispone de un radar de onda continua en banda Ku de la empresa española ART<sup>61</sup>, modelo Midrange.

- El tercero portará la estación de armas remota de Escribano M&E, con ametralladora pesada Browning de 12,7 mm.



Imagen 56. Vehículo Radar del Prototipo del sistema CERVUS III. Fuente: Imagen del autor en FENDEF 2023.

60. <https://trc.es/caso/sistema-antidron-cervus-iii/>  
61. <https://advancedradartechnologies.com/products/art-drone-sentinel-2/>

Su sistema de mando y control tendrá implementadas librerías y dataset actualizados y dispondrá de algoritmos de IA que ayuden a la identificación y a la toma de decisiones, todo ello integrado en un software de gestión desarrollado por la empresa TRC.

El sensor basado en cámara EO/IR modelo OTEOS tiene capacidad para detectar objetivos hasta a 20 kilómetros, mientras que el radar ART Midrange tiene un alcance de entre cinco y diez kilómetros, aunque la capacidad de detección para LSS en entornos complicados puede quedar limitada a unos dos km.

En el vehículo de mando y control van instaladas antenas sectoriales de radiofrecuencia para localizar la amenaza, una antena directiva y un sistema de inhibición inteligente.

Para hacer frente a los posibles ataques múltiples de UAS, el CERVUS III cuenta con una antena omnidireccional que crea una burbuja de inhibición del GNSS alrededor del vehículo.

Además, incorpora un UAS cautivo, dotado de sensores EO/IR, que puede desplegarse sobre el vehículo a una altura de 100 metros para ampliar el campo de visión.

### **2.3. Análisis de escenarios y de amenazas.**

Un análisis de escenarios y unos criterios de emplazamiento de los sensores son necesarios, sobre todo en el caso de emplazamientos fijos, como puede ser la protección de una infraestructura crítica o un emplazamiento militar.

En estos casos de instalaciones fijas se hace necesarios estudios de coberturas y de compatibilidad electromagnética para el correcto emplazamiento de cada uno de los módulos.

Habría además que estudiar las posibles fuentes de enmascaramiento de las señales, posibles interferencias electromagnéticas no intencionadas, disponer de un mapa de emisiones de la zona, conocer áreas vulnerables, posibles trayectorias de ataque con poca cobertura de seguridad, etc.

Para disponer de esta información, la manera más efectiva es simular ataques de “equipo rojo” sobre la infraestructura real. Los ataques de equipo rojo se usan habitualmente en ciberseguridad y cada vez más en protección C-UAS en entornos militares.

Para ello se cuenta con empresas especializadas, dotadas con equipos UAS LSS y FPV, con operadores expertos, que actúan después de estudiar en detalle las vulnerabilidades del área en cuestión y son capaces de poner en evidencia las carencias de protección del emplazamiento.

Cada sensor tiene unos determinados requisitos de cobertura debido a las diferentes formas de propagación de las señales que captan.

Además, influye el área de despliegue, sobre todo la diferencia entre un área urbana, densamente habitada, un área rural con poca población o un área desértica.

En cada uno de esos escenarios se deben evaluar varios parámetros:

- Las previsiones de comportamiento de los sensores para la fase de detección e identificación.
- Las posibilidades de dejar la decisión en modo semiautomático o automático en el perímetro de seguridad crítico.
- Los medios de neutralización posibles a emplear, distinguiendo entre ataques electrónicos o *soft kill* y ataques cinéticos o *hard kill*, teniendo en cuenta sobre todo las reglas de enfrentamiento además de la posible efectividad o adecuación de unos sobre otros.

Todas estas opciones se cruzan con las posibles amenazas a las que se va a enfrentar, esto es, drones comerciales sin modificar, modificados, UAS militares de pequeño tamaño, munición merodeadora o ataques múltiples desde diferentes radiales.

El resultado son tablas de recomendación de los diferentes módulos a activar en el sistema C-UAS que va a ofrecer la protección del emplazamiento.

Como ejemplo de análisis de escenarios se presenta de forma genérica el siguiente cuadro inicial del estudio para un entorno rural y con los diferentes niveles de amenaza esperados.

ANALISIS DE ESCENARIOS. CASO ENTORNO RURAL. SOLUCION MODULAR SISTEMA C-UAS. ELEMENTOS PROPUESTOS

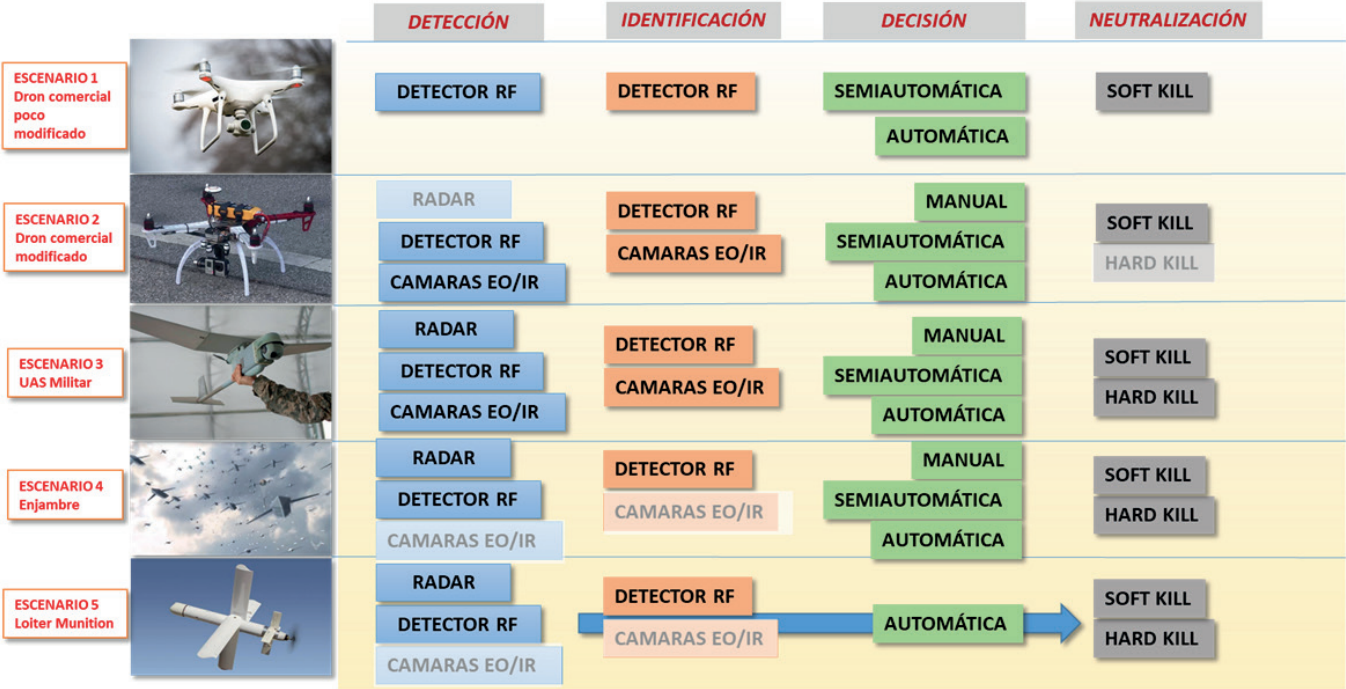


Figura 18. Ejemplo de análisis preliminar de amenazas en escenario rural y posibilidad hard-kill. Fuente: elaboración propia

Como se ha ido indicando a lo largo del capítulo, aunque modularmente se dispongan de sistemas de neutralización cinéticos, su empleo está condicionado a las reglas de enfrentamiento establecidas y a la seguridad física del entorno.

3. SISTEMAS C-UAS PORTÁTILES

Otra variedad de sistema contra UAS, además de los equipos modulares fijos o transportables que se han expuesto en el punto anterior, son los sistemas portátiles, de uso individual por el combatiente.

Estos equipos de pequeño tamaño y peso (relativamente hablando) pueden ser parte de la dotación de un soldado, y consisten en un dispositivo tipo fusil, para permitir el apuntamiento, dotado de una unidad generadora de radiofrecuencia, unas antenas sintonizadas en las bandas adecuadas y una batería. Desde el punto de vista operativo sólo son útiles si previamente se confirma que la frecuencia a perturbar está entre las que dispone el sistema portátil o al menos que la amenaza utiliza GNSS para navegación y posicionamiento.

Debido a su tamaño e inmediatez de uso, estos pequeños C-UAS no realizan todas las fases que se han visto para los sistemas más grandes, sino que únicamente realizan la fase de neutralización. La detección, la identificación y la decisión no las proporciona el sistema, sino que, o bien son responsabilidad del operador del mismo, o bien le son transmitidas las órdenes vía radio.

El operador, por tanto, es el encargado del apuntamiento y la activación de la neutralización. Estos sistemas suelen disponer de inhibición de las bandas de RF correspondientes a control remotos de sistemas UAS más comunes. No se dispone en este tamaño y peso de una gran potencia de emisión por lo que las interferencias son de banda estrecha y muy direccionales, al menos las de mayor alcance.

Se suele complementar también con la inhibición de la banda de GNSS.

Hay modelos en los que parte de dicho equipamiento, en particular los generadores de onda y las baterías, pueden ir colocados en una mochila, y el combatiente sólo tiene que portar y apuntar las antenas.



Hay multitud de fabricantes, tanto nacionales como internacionales, y con diversas configuraciones y capacidades.

Entre los fabricantes nacionales de este tipo de equipamiento destacan empresas como ATL, SENDES ASDT, CENTUM, ENGINNO o ETRAIR.

Alguna de las cuales participaron en los ensayos del programa CONDOR<sup>62</sup> de la DGAM, realizados para comprobar el estado del arte en la fabricación de estos sistemas y sus posibilidades reales frente a las amenazas UAS.



Imagen 57. Sistema C-UAS portátil español, de la empresa ATL Europa. Fuente: web ATL Europa

Entre las empresas extranjeras destacan Dedrone, Drone Buster, Drone Shield, Thales, Rohde-Schwarz, entre otras.

Estos sistemas pueden actuar además como elementos neutralizadores remotos de un C-UAS de emplazamiento, poniéndolos a disposición de las patrullas de vigilancia del perímetro, por ejemplo, y estando coordinados vía radio con el centro de control de dicho despliegue C-UAS para recibir los radiales donde se han localizado los UAVs hostiles.

Otro tipo de dispositivo portátil y complementario, que se está empleando en la guerra de Ucrania, es el denominado *Tsukorok*, que consiste en una pequeña caja dotada de un par de antenas y una pequeña pantalla, que detecta las frecuencias de empleo más comunes de los UAS y muestra en la pantalla la intensidad de la señal.

Dispone de avisador acústico con diferentes niveles de alerta. Actúa como un sensor de detección, basado en RF. El combatiente que lo lleva dispone de un medio de alerta temprana que le informa de la presencia de un UAV en un área cercana.

Según la frecuencia el sistema puede discernir entre propios y enemigos y avisar cuando la señal de un sistema enemigo suba de intensidad para que el combatiente se ponga a cubierto y se puedan activar C-UAS cercanos.



Imagen 58. Dispositivo Tsukorok, Detector personal de UAS, de fabricación ucraniana. Fuente: Empresa Red Team Shield.

62. <https://www.tecnologiaeinnovacion.defensa.gob.es/es-es/Contenido/Paginas/detalleiniciativa.aspx?iniciativaID=329>



El sistema por ahora es de fabricación artesanal, con componentes comerciales, y está en continua evolución, con nuevas frecuencias de detección, mayor sensibilidad, etc.

En vista de su aparente efectividad, sería una lección aprendida el incorporarlo a los sistemas de protección del combatiente, integrándolo incluso en su equipo, uniforme o chaleco.

## 4. INTEGRACIÓN DE LOS NIVELES DE MANDO EN LA DEFENSA C-UAS

Hasta ahora se han ido describiendo los sistemas contra UAS para protección de instalaciones, tanto fijos como transportables, con sus características de modularidad, y los de protección del combatiente, con sus limitaciones en el empleo en neutralización.

Dentro de una estructura de defensa nacional o en los despliegues de las FAS, los diferentes sistemas C-UAS que se empleen deben estar coordinados e integrados en una estructura de mando y control que las gestiones de manera óptima, compartiendo información y dirigiendo las decisiones de manera más centralizada. Se verá con más detalle en el capítulo 5.

Al igual que la defensa antiaérea, que se estructura en diferentes capas o zonas de responsabilidad, complementando la cobertura de las capas inferiores con las capas superiores, la defensa C-UAS debe seguir un patrón similar y determinar diferentes niveles o escalones de coordinación.

### 4.1. Niveles de Protección C-UAS

La protección C-UAS puede implementarse en distintos niveles, dependiendo del tipo de objetivo a proteger, el entorno operativo y la situación general.

**Nivel estratégico:** se requiere una estructura de coordinación a nivel nacional para centralizar las acciones contra la amenaza UAS. Esto implica la coordinación entre las Fuerzas Armadas y las Fuerzas y Cuerpos de Seguridad del Estado (FCSE), así como otros organismos competentes. Iniciativas como Siglo-CD desde el Ministerio del Interior o SUCCAUL desde el Ministerio de Defensa, que se verán con más detalle en el próximo capítulo.

**Nivel operativo:** se requiere un sistema de mando y control que permita la fusión, análisis, presentación y difusión de los datos obtenidos por los sensores en tiempo real.

En el ámbito de las FAS, según el Concepto Nacional de C-UAS, se considera que el Centro de Operaciones Aéreas (AOC) del Mando de Defensa y Operaciones Aéreas (MDOA) podría coordinar las acciones C-UAS.

**Nivel táctico:** se requiere el despliegue de sistemas C-UAS específicos, que pueden ser portátiles, fijos o móviles. Estos sistemas, como se ha indicado anteriormente, deben ser adecuados al escenario de empleo, el entorno y la situación general del objetivo a proteger.

### 4.2. Coordinación de Mando y Control C2

La coordinación de los diferentes puestos de mando a través del C2 es fundamental para garantizar la eficacia de la protección C-UAS.

Esta coordinación debe abarcar:

**Interoperabilidad entre sistemas:** los sistemas C-UAS deben ser capaces de compartir información entre sí, así como con otros sistemas de defensa aérea. Para ello se ha de tender hacia la estandarización de los protocolos de comunicaciones, control y de visualización de amenazas. Se han de proporcionar los interfaces necesarios en caso de usar sistemas propietarios y se ha de tratar de estandarizar los datos de entrada y salida de los sistemas de mando y control de los C-UAS.

Esto permitiría una mejor situación de la imagen aérea y una respuesta más rápida y coordinada al poderse compartir la información en tiempo real.

**Coordinación entre organismos:** es necesario establecer procedimientos de coordinación entre las FAS, las FCSE y los proveedores de servicios de navegación aérea, para garantizar una respuesta integral a la amenaza UAS. Estos mecanismos se describirán con más detalle en el siguiente capítulo.

**Concienciación del personal:** es fundamental que el personal de las FAS y las FCSE, así como los usuarios de UAS comerciales, sean conscientes de la amenaza que representan los UAS y conozcan los procedimientos para actuar en caso de un incidente. Ya se ha insistido en la importancia de la formación y los ejercicios de entrenamiento.

### 4.3. Desafíos y consideraciones

La protección C-UAS presenta diversos desafíos y consideraciones, entre los que destacan:

**Evolución tecnológica:** la tecnología UAS está en constante evolución, lo que implica que los sistemas C-UAS deben actualizarse continuamente para mantener su eficacia. Ya se ha hablado de la importancia de los datos, y de cómo la información actualizada es el mejor apoyo de cualquier sistema de defensa.

**Entornos urbanos:** la detección, identificación y neutralización de UAS en entornos urbanos es particularmente compleja debido a la presencia de obstáculos, la densidad de población y la posibilidad de daños colaterales. La coordinación entre FCSE, FAS y autoridades locales y administración es fundamental.

**Marco jurídico:** el uso de la fuerza para neutralizar un UAS debe estar regulado por un marco jurídico claro que establezca las condiciones, el grado y la forma en que se puede aplicar la fuerza. En tiempo de paz se ha de establecer los protocolos de actuación para las infraestructuras a

proteger. En zona de operaciones se ha de determinar claramente cuáles son las reglas de enfrentamiento que rigen la actuación de la Fuerza.

**Coordinación con el tráfico aéreo civil:** es necesario coordinar las acciones C-UAS con los sistemas de gestión del tráfico aéreo civil para evitar interferencias y garantizar la seguridad aérea. Se tratará con más detalle en el capítulo siguiente.

En resumen, la protección contra UAS requiere una estrategia integral que abarque distintos niveles de protección y una coordinación de mando y control eficaz.

La evolución tecnológica de la amenaza y de los sensores y efectores, el empleo en los entornos urbanos, el marco jurídico y la coordinación con el tráfico aéreo civil son solo algunos de los desafíos que deben abordarse para garantizar una respuesta eficaz a esta amenaza en constante crecimiento.



Imagen 59. UAS Predator B aterrizando en Talavera. Fuente: web Ejército del Aire y del Espacio

## CONCLUSIONES

Los sistemas UAS, que, a la vista de lo expuesto en los primeros capítulos, están demostrando una gran efectividad y una importancia clave en la planificación y ejecución de las operaciones militares actuales, también tienen evidentes debilidades internas en su enlace de comunicaciones y vulnerabilidades debidas en gran parte a su dependencia de elementos externos en su sistema de posicionamiento y navegación.

Como ha venido ocurriendo desde la antigüedad en todo sistema de armas, se trata de la lucha entre el proyectil y la coraza, y en el que diferentes avances tecnológicos parecen dar ventajas relativas y temporales a cada una de las partes.

En la actualidad se está viendo como las mayores ventajas en el empleo de los UAS vienen dadas también por el componente humano, en especial las habilidades de pilotaje y control, y las TTP, tácticas, técnicas y procedimientos, que se van actualizando y mejorando a la vez que se incorporan los avances tecnológicos.

Aunque la niebla de la guerra aún no se ha disipado y las lecciones aprendidas de los últimos conflictos, incluido el de Ucrania y Oriente Medio, todavía son preliminares, lo que parece claro hasta ahora es que no existe el sistema contra UAS definitivo y totalmente eficaz, sino que existen una serie de combinaciones de sensores y efectores que pueden ser más efectivos en determinados escenarios y frente a las diferentes amenazas de UAS en cuanto a tamaño, velocidad, prestaciones y misiones.

Es fundamental por ello un arma cada vez más importante y decisiva, los datos. Con los datos hay información, y con la información se puede planificar y adaptar los sistemas de protección modulares a las amenazas esperadas. Esto es básico cuando se tiene que hacer frente a una enorme variedad de UAS y existen posibilidades diferentes de contrarrestarlas, con niveles de efectividad desiguales y en función de muchos parámetros.

Por lo tanto, los sistemas C-UAS deberían de ser concebidos como cajas de herramientas que se llevan a una operación, lo que permite disponer sobre el terreno de una variedad de opciones para poder escoger la mejor combinación de ellas para contrarrestar la amenaza.

Otro aspecto fundamental es la necesaria coordinación entre los diferentes escalones y capas de defensa. En los diferentes ejercicios contra UAS desarrollados hace pocos años para la definición del concepto operativo de estos sistemas se demostró que la comunicación entre un puesto de mando que dispone del mapa de amenazas actualizado y las unidades sobre el terreno, dotadas de medios C-UAS portátiles, pero sin posibilidad de realizar detección con sus medios, es fundamental.

El centro de mando puede indicar el radial de aproximación de los UAS hostiles a las unidades en el terreno y éstas pueden activar sus sistemas de inhibición en las direcciones indicadas, sin tener que esperar a ver u oír a la amenaza. Todo el tiempo que se pueda adelantar la acción de neutralización juega a favor de la defensa contra UAS.

En este sentido cabe destacar la importancia que a nivel OTAN está teniendo los ejercicios reales contra estas amenazas, como las ediciones anuales *NATO's Counter Unmanned Aircraft System Technical Interoperability Exercise (C-UAS TIE)*<sup>63</sup> que el año 2024 se han desarrollado en la Base de Vredepeel, Países Bajos, y que ha contado con presencia española, con empresas como INDRA y su sistema CROW<sup>64</sup>, y la empresa RED TEAM SHIELD (RTS) que aportaron sus capacidades de equipo rojo para actuar como agresores frente a los sistemas C-UAS desplegados<sup>65</sup>.

Es importante también resaltar la importancia de varias cuestiones en la preparación de las unidades frente a los UAS LSS. Si un combatiente no ha visto un UAS LSS en acción, no sabe a lo que se está enfrentando, ni a las capacidades que tiene de actuar contra él. Es fundamental el conocimiento y la formación de la tropa en estos sistemas, tanto desde el punto de vista de la operación como desde el lado de la defensa frente a ellos.

No hay mejor manera de defenderse que ponerse en las botas de los operadores enemigos y anticiparse a sus acciones y preverlas. Eso se puede conseguir con extender la formación en el uso básico de los UAS, en especial los LSS y FPV.

No se trata de que todos los combatientes tengan un entrenamiento exhaustivo de operador avanzado, pero sí de que todos conozcan la amenaza en profundidad, sus capacidades de vuelo, y sus posibilidades de acción, para tener mayores opciones a la hora de enfrentarse a ella.

Se está viendo en la guerra de Ucrania como se desarrollan auténticos duelos entre operadores de UAS FPV, desde sus escondites, porque, aún en distinto bando, saben y piensan igual, y son los más capacitados para darse caza. Estos duelos se

<sup>63</sup> <https://www.ncia.nato.int/about-us/newsroom/nato-tests-counter-drone-technology-during-interoperability-exercise>

<sup>64</sup> <https://www.indracompany.com/es/noticia/indra-muestra-capacidad-crow-contrarrestar-ataques-complejos-enjambres-drones>

<sup>65</sup> <https://www.revistaejercitos.com/industria-de-defensa/red-team-shield-rt-s-se-convierte-en-la-primera-empresa-de-drones-en-actuar-como-equipo-rojo-en-los-ejercicios-tie-de-la-otan/>

ejecutan al más puro estilo francotirador, donde los FPV buscan evidencias de antenas camufladas y cables o restos de fibra óptica que los lleven hasta el escondite del operador enemigo y, una vez allí, encuentren la manera de colarse y detonar su carga en los puestos de control.

No hay mejor manera de neutralizar un UAS que actuar contra el operador. Un país puede construir un millón de UAS en un año, pero no puede disponer más que de unos cuantos cientos o unos pocos miles de operadores en el mejor de los casos.

Por último, y en relación con la preparación, resulta necesario copiar las formas de evaluación de las capacidades de la defensa en el mundo ciber, donde se contrata a hackers éticos para atacar continuamente infraestructuras propias y así descubrir debilidades y vulnerabilidades y corregirlas o “parcharlas” de inmediato.

Son las formas de entrenamiento por equipo rojo que se han comentado y que contribuyen a elevar los niveles de preparación al enfrentar a los defensores con las amenazas reales, en un entorno de entrenamiento lo más realista posible, y no frente a simples drones comerciales, que no serán la amenaza más probable en las futuras operaciones.







1. Centro Conjunto de Desarrollo de Conceptos (2019). Concepto nacional C-UAS LSS. Centro Conjunto de Desarrollo de Conceptos, EMACON.
2. United States Department of Defense (2022). *Navigation Warfare Definition - ANP-4621 Edition A*. <https://publishers.standardstech.com/content/military-dod-stanag-4621>
3. Trevithick, J. (2024). *Counter-Drone Stryker armored vehicle armed with lasers, rockets, guns unveiled*. The War Zone. <https://www.twz.com/land/counter-drone-stryker-armored-vehicle-armed-with-lasers-rockets-guns-unveiled>
4. Barbero, J. D. (2022). Counter-UAS LSS en el Ejército del Aire Presente y futuro. Revista de Aeronáutica y Astronáutica. [https://publicaciones.defensa.gob.es/media/downloadable/files/links/r/a/raa\\_911.pdf](https://publicaciones.defensa.gob.es/media/downloadable/files/links/r/a/raa_911.pdf)
5. Rohde & Schwarz (s. f.). *Receiving BEIDOU, GALILEO and GPS signals with MATLAB® and R&S@IQR, R&S@TSMW application Note*. [https://scdn.rohde-schwarz.com/ur/pws/dl\\_downloads/dl\\_application/application\\_notes/1ma203/1MA203\\_0e\\_BeiDouSWReceiver.pdf](https://scdn.rohde-schwarz.com/ur/pws/dl_downloads/dl_application/application_notes/1ma203/1MA203_0e_BeiDouSWReceiver.pdf)
6. Haider, A. (2020). *A comprehensive Approach to Countering Unmanned Aircraft Systems* Joint Air Power Competence Centre JAPCC Journal Edition 29. <https://www.japcc.org/articles/a-comprehensive-approach-to-countering-unmanned-aircraft-systems/>
7. Müller, C., & Hellmann, M. (2019). *A comprehensive approach to countering unmanned aircraft systems*. Joint Air Power Competence Centre JAPCC. <https://www.japcc.org/wp-content/uploads/A-Comprehensive-Approach-to-Countering-Unmanned-Aircraft-Systems.pdf>
8. Martins, B. O.; Michel, A. H. y Silkoset, A. (2020). *Countering the Drone Threat: Implications of C-UAS Technology for Norway in an EU and NATO Context*. PRIO Paper. Oslo: PRIO. <https://cdn.cloud.prio.org/files/4901dc71-7424-415c-99cd-8f6e6545e64c/>
9. Watling, J., & Bronk, J. (2024). *Protecting the Force from Uncrewed Aerial Systems*. En RUSI The Royal United Services Institute For Defence And Security Studies. <https://static.rusi.org/protecting-the-force-from-uncrewed-uas.pdf>
10. Jenaro de Mencos, G. & Bueno Pérez, D. (2020). Protección contra plataformas aéreas no tripuladas. Sistemas C-UAS. Revista Ingenieros Politécnicos, nº 7. 68. [https://publicaciones.defensa.gob.es/pprevistas/REVISTAS\\_PDF21785/page\\_68.html](https://publicaciones.defensa.gob.es/pprevistas/REVISTAS_PDF21785/page_68.html)
11. NATO Science & Technology Organization (s. f.). *SCI-301-RTG Defeat of Low Slow and Small (LSS) Air Threats*.
12. NATO Science & Technology Organization (2017). *SCI-ET-241 Development of a Counter Small UAS Analysis, Research and Demonstration Strategy*.
13. INCIBE (s. f.). *Spoofing y jamming sobre los GNSS*. INCIBE-CERT. <https://www.incibe.es/incibe-cert/blog/spoofing-y-jamming-los-gnss>
14. Shubham, A. y Sharma, S. D. (2021). *Micro-Doppler signature based target recognition using covariance based S-transform*. Journal Of Physics Conference Series, 1921(1), 012010. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1921/1/012010>

# BIOGRAFÍAS

## DIEGO BUENO PÉREZ

Biografía en capítulo 1.







# Control y Coordinación de los UAS en el ámbito de la seguridad

Andrea Iglesias Brocos  
Ismael López Márquez

“Por lo que respecta al control de los vuelos de las aeronaves no tripuladas, ha quedado demostrado que el sistema tradicional de gestión y control de los movimientos aéreos ha quedado limitado y por lo tanto no eficaz para los drones de pequeño tamaño que vuelan a alturas muy bajas. Es por esto que se considera necesario realizar las adaptaciones necesarias (de organización del espacio aéreo, formas de control y nuevos sensores) para que sea operativamente eficaz con las aeronaves no tripuladas.”

DRONES Y SEGURIDAD NACIONAL. Un estudio multidimensional. Octubre 2022.

En el presente capítulo se realizará una breve exposición del modelo de gestión de tránsito aéreo (ATM, *Air Transit Management* – Gestión del Tránsito Aéreo) para contextualizar los elementos clave de dicha gestión y, a continuación, presentar las diferentes iniciativas estableciendo un paralelismo entre las actividades/responsabilidades identificadas en ATM hasta ahora y las de gestión del tráfico aéreo de baja cota.

En primer lugar, se describirá ATM versus U-Space y el papel de ENAIRE como CIS-Provider, *Communication and Information Systems* – Proveedor de Sistemas de Comunicaciones y de Información, dentro de la implantación del concepto U-Space.

En segundo lugar, se describirá el reto de la seguridad en el uso de los UAS en entornos de uso dual.

En tercer lugar, se identificarán todos los actores que podrán operar un UAS, Ministerio del Interior (sistema de gestión de UAS denominado Siglo-CD), Ministerio de Defensa, operadores civiles, etc.

En cuarto lugar, se describirá SUCCAUL como sistema de supervisión central de UAS y las diferencias de este sistema, en cuanto a su alcance y objetivo, con el Sistema de Mando y Control Aéreo del que disponen los Centros de Mando actuales del EA: GRUCEMAC, GRUPO Central de Mando y Control (Torrejón); GRUNOMAC, GRUPO NORte de Mando y Control (Zaragoza) y GRUALERCON, GRUPO de ALERta y CONTROL (Gando).





*Imagen 60. Sala de Control. GRUCEMAC. B.A. Torrejón. Madrid. Fuente: X. Oficina de Comunicación del Ala 11 del Ejército del Aire y del Espacio*

## 1. INTRODUCCIÓN

La gestión del tráfico aéreo se enfrenta al reto del control y la gestión de la actividad de los UAS que vuelan a baja cota. En 2018, se alcanzaron las 702 empresas fabricantes de UAS en el mundo, mientras que el número de modelos (fabricados o en desarrollo) era cercano a los 2.000. Si se compara con los números de 2006 (207 empresas fabricantes y 544 modelos de UAS), la evolución del sector fue gigantesca.

Mientras el número de modelos de UAS para uso militar se ha mantenido aproximadamente constante, los modelos para aplicaciones civiles han ido aumentando año a año e, incluso, duplican a los modelos de uso exclusivo militar.

Si bien el ámbito militar concentró las primeras etapas del sector, la principal causa del auge de los UAS en los últimos años se debe a los UAS de uso recreativo y profesional del ámbito civil.

A pesar de la importancia adquirida en los últimos 10-15 años, el uso masivo de UAS aún se encuentra en una fase inicial, lejos de aprovechar al máximo todo su potencial. Para

ello, es necesario que los avances regulatorios y tecnológicos satisfagan las necesidades del sector hasta lograr una transformación total del sistema de transporte aéreo.

Es evidente que el uso de UAS permite mejoras en la eficiencia y la productividad de las tareas, al mismo tiempo que las previsiones de impacto económico y oportunidades de negocio aumentan cada día. Se prevé que los avances del sector se mantengan así hasta alcanzar una transformación total del sistema de transporte aéreo, tal y como se conoce hoy en día.

Así, está previsto que el número de operaciones de UAS siga aumentando significativamente en los próximos años, especialmente en el ámbito civil, y cada vez más en entornos de mayor complejidad (entornos urbanos y a baja altura), lo que provocará el correspondiente aumento del riesgo asociado a la operación de estas aeronaves.

La industria afronta el reto de integrar un elevado número de operaciones de UAS en espacios aéreos de máxima complejidad (entornos urbanos y a baja altura) que son compartidos con el resto de los usuarios.

## Operadores UAS registrados en AESA

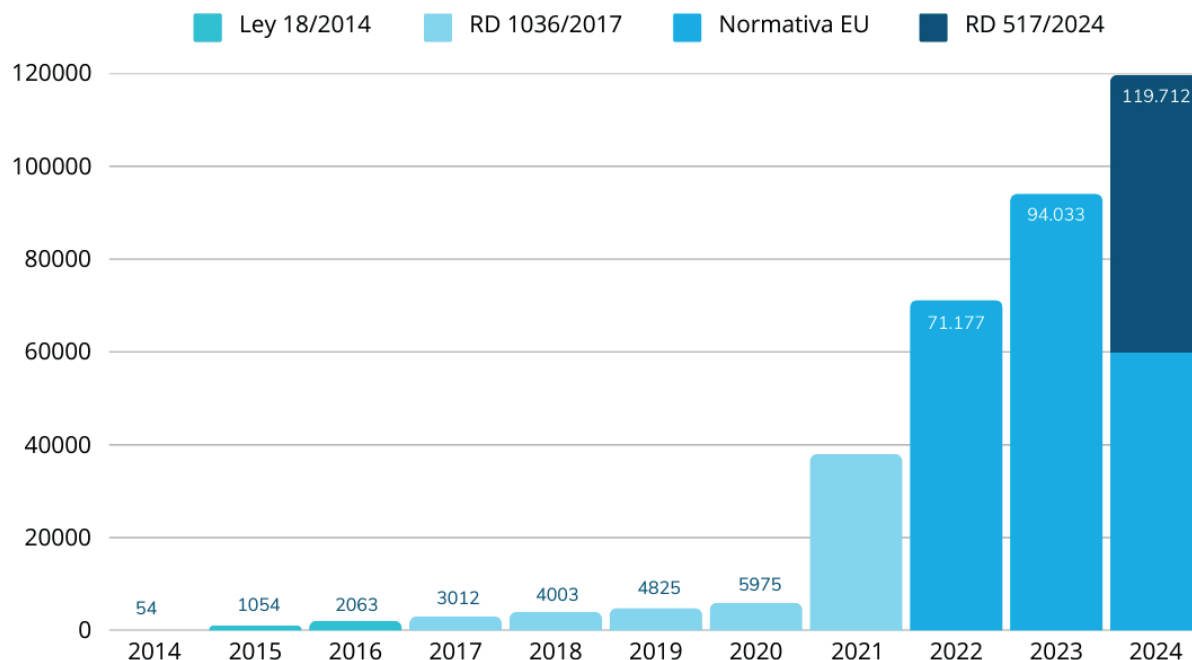


Figura 19. Evolución de los operadores UAS registrados en AESA. Fuente: Agencia Estatal de Seguridad Aérea (AESA)

El sistema tradicional para la gestión y el control del tráfico aéreo tripulado ha demostrado tener limitaciones para encargarse también del tráfico de UAS, ya que no fue diseñado para gestionar el espacio aéreo a baja altura y controlar UAS de pequeño tamaño.

Serían necesarias adaptaciones para organizar el espacio aéreo a baja cota y desarrollar nuevos sistemas y sensores especializados en la detección de UAS.

Todo lo anterior pone de manifiesto la necesidad de desarrollar un sistema para el control y la gestión del tráfico de UAS que tenga en cuenta sus necesidades y particularidades específicas.

Así, en Europa se está desarrollando el concepto U-Space<sup>66</sup>, en convivencia y coordinación con los sistemas ATM actuales, al mismo tiempo que se prueban sistemas C-UAS basados en nuevos y mejorados sensores para detectar, identificar y controlar los UAS con el fin de garantizar la protección de zonas críticas o de interés especial.

Hoy, el sector se encuentra ante el reto, operativo y estratégico, de integrar un elevado número de operaciones de UAS, muchas de ellas simultáneas, en espacios aéreos compartidos con el resto de los usuarios de dicho espacio aéreo.

Para que el sistema de control y gestión de UAS garantice la seguridad de las operaciones de UAS, será indispensable la interoperabilidad e integración de todos estos sistemas.

A pesar de que cada vez son más las aplicaciones de UAS, civiles y militares, que demuestran su inmenso potencial para favorecer el desarrollo de la sociedad, su uso se concentra en sectores específicos, ya que, en muchos casos, se debe solicitar permiso para poder volar.

Como cualquier tecnología, cuando los UAS se utilizan de manera apropiada, su impacto en la sociedad puede ser verdaderamente positivo, pero, lamentablemente, el riesgo del uso indebido o malintencionado de estas aeronaves ha aumentado al mismo ritmo que el de operaciones totales, por

66. <https://www.sesarju.eu/sites/default/files/documents/reports/U-space%20Blueprint%20brochure%20final.PDF>

lo que su control no debe quedar fuera de la ecuación de ninguna manera.

Por tanto, ante las consecuencias que tiene (o puede llegar a tener) la irrupción de los UAS en el espacio aéreo se debe tratar de garantizar la seguridad de todos sin frenar el desarrollo del sector, para que pueda explotar al máximo su enorme potencial.

Ante la ausencia de un marco normativo, los primeros pasos del sector se centraron en posibilitar algunas operaciones bajo un esquema de condiciones operativas muy estrictas. Más tarde, conforme se fue desarrollando la regulación en materia de UAS a nivel nacional y europeo, se fue ampliando el marco operativo y los escenarios para la operación de drones.

La entrada en vigor en 2024 del nuevo Real Decreto<sup>67</sup>, de 4 de junio, por el que se desarrolla el régimen jurídico para la utilización de UAS, ha traído consigo importantes cambios en la regulación de las actividades o servicios. Entre estas, se encuentran las actividades o servicios militares, de aduanas, policía, búsqueda y salvamento, lucha contra incendios, control fronterizo, vigilancia costera o similares, bajo el control y la responsabilidad de un Estado miembro de la UE, emprendidas en el interés general, por un organismo investido de autoridad pública o en nombre de este.

En dicho Real Decreto, se establece el régimen jurídico aplicable a las actividades o servicios realizados directamente por un organismo investido de Autoridad Pública responsable de la respectiva actividad o servicio (actividades civiles directas) y las realizadas en nombre de un organismo investido de Autoridad Pública (actividades civiles indirectas).

Adicionalmente, se establecen obligaciones en materia de registro de operadores de UAS de actividades o servicios, exenciones al requisito de sistema de identificación a distancia y disposiciones específicas sobre sus operaciones.

Por otra parte, en los últimos tiempos, se ha demostrado que el sistema tradicional para la gestión y el control del tráfico aéreo convencional es limitado. En este sentido, el sistema está conformado por una serie de servicios de tránsito aéreo (ATS, *Air Transit Services*) que se facilitan en determinados espacios aéreos, clasificados como controlados y no controlados.

El espacio aéreo controlado (clases A-E) comprende las áreas de control, las aerovías y las zonas de control, mientras que el espacio aéreo no controlado (clases F-G) comprende el resto del espacio aéreo en el que se prestan servicios ATS pero no servicio de control.

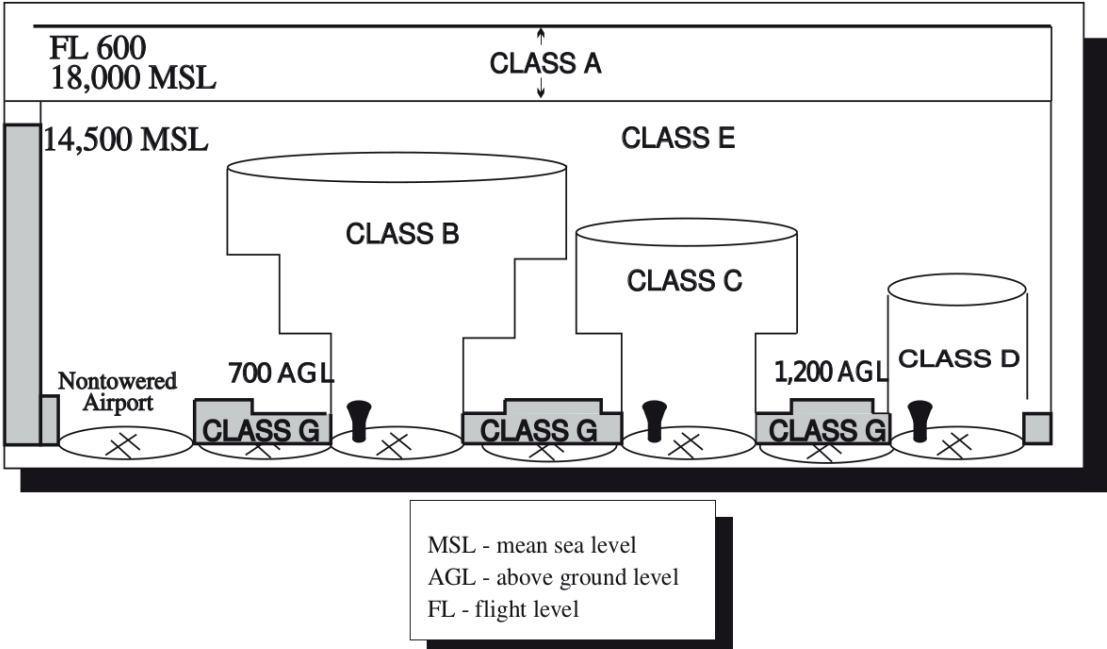


Figura 20. Clases de Espacio Aéreo según OACI. Fuente: Wikipedia

67. [https://www.boe.es/diario\\_boe/txt.php?id=BOE-A-2024-11377](https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2024-11377)



En el espacio aéreo controlado, los encargados del tráfico aéreo son los controladores. Estos son responsables de prestar los servicios ATS, emitiendo autorizaciones e instrucciones a las tripulaciones de vuelo en el caso del servicio de control. En el caso de las aerovías, no se espera que la inmensa mayoría de los UAS tengan capacidad para volar a las alturas típicas de operación de aeronaves convencionales.

Por otra parte, el control prestado en las áreas y zonas de control convencionales, normalmente mediante radares, no fue diseñado e implementado para encargarse de la gestión y control del tráfico de UAS.

Por tanto, este sistema no sería eficaz para controlar las operaciones de UAS, muchos de ellos de pequeño tamaño y volando a alturas muy bajas. Es necesario realizar las adaptaciones pertinentes, en cuanto a la organización del espacio aéreo a baja cota, junto con el desarrollo de nuevos sensores que detecten este tipo de aeronaves para que el sistema sea operativo y eficaz con los UAS.

En este sentido, en la Unión Europea se está desarrollando de manera coordinada y armonizada el denominado concepto U-Space. Se trata de un conjunto de sistemas, servicios y procedimientos específicos que tienen el objetivo de integrar y gestionar el tráfico de UAS en el espacio aéreo, siendo esencial en aquellos entornos de complejidad y exigencia máximas.

El 26 enero de 2023 entraba en vigor el paquete de regulación sobre U-Space incluido el Reglamento U-Space (2021/664)<sup>68</sup> y, en el año 2024, se publicó el Real Decreto 517/2024, que desarrolla el régimen jurídico para la utilización civil de sistemas de aeronaves no tripuladas UAS complementando las disposiciones europeas con aquellas normas que son competencia del Estado español [deroga al RD 1036/2017].

Sin embargo, también se debe tener en cuenta que, a las alturas típicas de operación en espacio aéreo U-Space, los principales sensores del sistema de control y gestión del sistema aéreo convencional actuales pueden no ser eficaces y carecer de la cobertura necesaria para la detección, identificación y control de los UAS.

Así, nuevos y/o mejorados sensores se están desarrollando y probando, tanto para complementar el sistema de control y gestión del tráfico aéreo, como para los sistemas contra drones (en adelante, sistemas C-UAS).

Por último, el concepto U-Space proporcionará seguridad operacional en lo que se refiere a aquellas aeronaves colaborativas, que operen según las normas establecidas. No obstante, el sistema también podrá encontrarse con aeronaves no colaborativas, negligentes o de uso malintencionado, las cuales pueden llegar a suponer una amenaza para la seguridad. Por ello, en determinadas zonas críticas, como aeropuertos o instituciones de Estado, el sistema deberá disponer de medios para establecer un perímetro de protección y enfrentarse a estas amenazas, los llamados sistemas C-UAS.

También habrá escenarios en los que no se dispondrá de estos sistemas y habrá que emplear otros medios para protegerse, previa evaluación de riesgos para determinar la mejor acción para llevar a cabo la neutralización de la amenaza.

Todo ello pone de manifiesto la necesidad de desarrollar un sistema para el control y la gestión del tráfico aéreo, que tenga en cuenta las necesidades y particularidades específicas de los UAS, y que, a su vez, sea interoperable e integrable con los sistemas actuales de protección ciudadana.

Así, la Agencia Estatal de Seguridad Aérea (AESA) es el organismo del Estado, adscrito a la Secretaría de Estado de Transporte del Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible, que vela para que se cumplan las normas de aviación civil en el conjunto de la actividad aeronáutica de España.

Esta Agencia tiene las misiones de Supervisión, Inspección y Ordenación del Transporte Aéreo, la Navegación Aérea y la Seguridad Aeroportuaria. Evalúa los riesgos en la seguridad del transporte y tiene potestad sancionadora ante las infracciones de las normas de aviación civil.

AESA trabaja para que se cumplan las normas de seguridad en el transporte aéreo en España, para promover el desarrollo, establecimiento y aplicación de legislación aeronáutica nacional e internacional de seguridad aérea y protección a los pasajeros.

De hecho, los cinco ejes principales en base a los cuales se desarrollan los objetivos de la AESA son:

1. Preservar la seguridad del transporte aéreo de acuerdo con los principios y normas vigentes en materia de aviación civil.

<sup>68</sup> [https://eur\\_lex.europa.eu/legal\\_content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32021R0664&from=EN](https://eur_lex.europa.eu/legal_content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32021R0664&from=EN)

2. Promover el desarrollo y establecimiento de las normas aeronáuticas nacionales e internacionales en materia de seguridad aérea y protección al usuario del transporte aéreo, así como de los procedimientos para su aplicación.
3. Promover una cultura de seguridad en todos los ámbitos de la aviación civil.
4. Proteger y defender los intereses de la sociedad, y en particular de los usuarios, velando por el desarrollo de un transporte aéreo seguro, eficaz, eficiente, accesible, fluido, de calidad y respetuoso con el medio ambiente.
5. Desarrollar sus competencias atendiendo a las necesidades de la aviación civil, en términos de calidad, eficacia y eficiencia y competitividad.

De forma complementaria, según establece la Ley de Seguridad Aérea 21/2003<sup>69</sup>, corresponde al Ministerio de Defensa la vigilancia, control y defensa del espacio aéreo de soberanía española, así como el control de la circulación aérea general en tiempos de conflicto armado como responsable principal de la defensa aérea de España.

Así, el Ejército del Aire y del Espacio es el responsable de aportar los medios para la vigilancia, control y defensa del espacio aéreo de soberanía nacional, misión permanente que ejerce a través del Mando Operativo Aéreo y el Mando Operativo Espacial, directamente subordinados al Jefe de Estado Mayor de la Defensa con dependencia operativa del Mando de Operaciones.

De igual forma, el EA debe contribuir a la seguridad de aquellos eventos de alta visibilidad que se determinen.

Para ello, el Ejército del Aire y del Espacio dispone actualmente de un Sistema de Vigilancia y Control Aéreo (SVICA). Dicho sistema no fue diseñado originalmente para la vigilancia y el control de los sistemas UAS LSS.

En el ámbito de las Fuerzas Armadas, existen diversos programas orientados a dotar a la Fuerza de capacidad de protección C-UAS LSS, que disponen de un sistema local de mando y control, pero no están conectados entre sí, ni existe capacidad de generar una situación aérea general (en adelante RAP, *Recognized Air Picture* – Imagen Reconocida Aérea) ni una situación aérea de la capa baja RLP (*Recognized LSS Picture* – Imagen reconocida de los LSS).

En la actualidad, existen diversas iniciativas C-UAS civiles enfocadas a la seguridad pública, como la del Ministerio del Interior, con el sistema SIGLO-CD utilizado en caso de eventos de alta visibilidad y para la protección de infraestructuras críticas y determinados organismos públicos.

Del mismo modo, el Ministerio de Transporte, Movilidad y Agenda Urbana está desarrollando el proyecto DOMUS. Este proyecto es uno de los seis proyectos seleccionados por la alianza público-privada europea SESAR (*Single European Sky ATM Research* – Investigación en ATM sobre Cielo Único Europeo) *Joint Undertaking* (empresa común) para desarrollar demostraciones del concepto U-Space, según el modelo federado de provisión de servicios y reproduciendo todos los parámetros a tener en cuenta para asegurar la convivencia de drones con el resto de actores que hacen uso del espacio aéreo, entre otros, la aviación comercial.

Todo ello, bajo el liderazgo y la coordinación de un administrador central, ENAIRE, permitirá la gestión automatizada de los vuelos a poca altitud (de tipo VLL: *Very Low Level*) de un gran número de aeronaves no tripuladas.

Coordinar ambos escenarios (defensa del espacio aéreo y la seguridad pública) requiere una cooperación efectiva entre los actores implicados (Ministerio de Interior con FCSE, CNPIC (Centro Nacional de Protección de Infraestructuras Críticas), Departamento de Seguridad Nacional, Ejército del Aire y del Espacio, etc.

Como mención especial, para la protección de aeropuertos, hasta ahora, el único protocolo de actuación coordinada es el de AESA de 2019 con la consideración de que ese espacio aéreo sobre los aeropuertos es y será utilizado para dar servicios al ciudadano, ya sean públicos o privados (explotación comercial).

## 2. IMPLANTACIÓN DEL CONCEPTO U-SPACE. ASPECTOS DE SEGURIDAD

El sistema ATM convencional ha mostrado tener limitaciones para ocuparse también del tráfico de UAS. Esto se debe a que, en su momento, el objetivo de diseño del sistema ATM no era la detección de objetos de pequeño tamaño como los UAS.

Además, estas aeronaves suelen operar a muy baja cota, lo cual es otro requisito que el sistema ATM no tuvo en cuenta durante su diseño y despliegue.

69. <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2003-13616>



*Imagen 61. UAS tipo Micro. DJI Mavic. Fuente: Facebook Fuerzas Armadas Ucranianas. Permisos solicitados.*

Asimismo, este nuevo enfoque, cuya pretensión es que se tenga en cuenta también la operación de UAS durante la gestión y el control del tráfico aéreo, no busca disponer de un sistema ATM en todo el espacio aéreo.

Su propósito es, por un lado, garantizar el control y la gestión del tráfico de UAS en los espacios aéreos en los que se presten servicios U-Space y, por otro, proteger aquellas zonas que se consideren de interés especial o de protección crítica.

## **2.1. Control y gestión convencionales**

### **2.1.1. Sistemas de navegación aérea**

Cuando el tráfico aéreo empezó a aumentar considerablemente, se puso de manifiesto la necesidad de gestionarlo, controlarlo y ordenarlo con el fin de proporcionar una navegación segura, fiable y rápida y que no limitase o condicionase el crecimiento de la aviación y las mejoras continuas de la seguridad operacional, la eficiencia y la regularidad de las operaciones.

Así, un Sistema de Navegación Aérea tiene el objetivo de proporcionar los servicios de navegación a las aeronaves, en todas las fases de vuelo de sus operaciones de forma que

les permita seguir las rutas establecidas y, con ello, gestionar el espacio aéreo de manera óptima, para que la capacidad del sistema satisfaga la demanda existente al mismo tiempo que se garantiza la seguridad de las operaciones.

Los proveedores de servicios de gestión de tránsito aéreo y de navegación aérea son los encargados de prestar los servicios y funciones necesarias para la gestión segura de las operaciones aéreas.

Se incluyen aquí los siguientes servicios:

- **ASM, Air Space Management Services** - Servicios de gestión del espacio aéreo.
- **ATS, Air Transit Services** - Servicios para la gestión del tránsito aéreo.
- **CNS, Communications, Navigation and Surveillance Services** - Servicios de Comunicaciones, Navegación y Vigilancia.
- **AIS, Aeronautical Information Services** - Servicios de Información Aeronáutica.
- **ATFM, Air Traffic Flow Management** - Servicios de Gestión del Flujo de Tráfico Aéreo.
- **FPD, Flight Procedure Design Services** - Servicios de Diseño de Procedimientos de Vuelo.

En definitiva, el objetivo principal es la gestión dinámica e integrada del tráfico y del espacio aéreo, para asegurar que sea operacionalmente seguro, eficiente y económico, mediante el despliegue de infraestructuras y la provisión de servicios continuos, en colaboración con todas las partes implicadas.

Se trata de un sistema donde el factor humano adquiere una importancia enorme. Son los controladores aéreos y los pilotos de las aeronaves los responsables de controlar complejos sistemas en tiempo real. Son ellos también los encargados de gestionar de manera flexible y tomando decisiones rápidas cualquier incidente que pueda ocurrir, lo que supone uno de los principales condicionantes del sistema ATM/CNS.

La gestión del tránsito aéreo consiste en un conjunto de funciones de vuelo y de tierra necesarias para la gestión dinámica e integrada del espacio aéreo. Se asegura así el movimiento seguro y eficiente de las aeronaves durante todas las fases de operación mediante los servicios de tránsito aéreo, la gestión del espacio aéreo y la gestión del flujo de tráfico aéreo.

### 2.1.2. Gestión del Espacio Aéreo

El objetivo de la gestión del espacio aéreo (ASM) es optimizar la utilización del espacio aéreo disponible, dado que se trata de un recurso limitado, para satisfacer a numerosos usuarios, tanto civiles como militares, de la manera más eficiente posible.

Se refiere tanto a la forma de asignar el espacio aéreo a sus distintos usuarios (a través de rutas, zonas, niveles de vuelo, etc.), como a la forma de estructurarlo para prestar servicios de tránsito aéreo. El desarrollo del espacio aéreo debe ser flexible y reactivo a los cambios en las necesidades de los usuarios para así optimizar la capacidad del sistema y el rendimiento de la red, a través de una gestión fluida y colaborativa de sus posibles configuraciones y el intercambio de información entre todas las partes.

Dentro de esta función, un concepto clave es el “Uso Flexible del Espacio Aéreo (Concepto FUA, *Flexible Use of Air Space*)”. El espacio aéreo no puede ser considerado puramente militar o civil, sino que debe ser un espacio continuo en el que poder acomodar las necesidades de todos los usuarios en cada momento y en la medida de lo posible.

Así, se desarrolla en tres niveles según las tareas de coordinación cívico-militares:

- **Nivel 1 – Estratégico.** Se definen las políticas nacionales de espacio aéreo y se establecen las estructuras de espacio aéreo predeterminadas.
- **Nivel 2 – Pre-táctico.** Se asignan diariamente estructuras y zonas del espacio aéreo en función de las necesidades de los usuarios.
- **Nivel 3 – Táctico.** Se utiliza en tiempo real el espacio aéreo, permitiendo la operación segura y coordinada de tráfico operacional y general.

### 2.1.3. Servicios de Tránsito Aéreo

Los proveedores de servicios de tránsito aéreo (ATS) tienen como objetivos principales el prevenir colisiones entre aeronaves, así como entre aeronaves y obstáculos y acelerar y mantener ordenado el movimiento del tránsito aéreo, en aquellas regiones del espacio aéreo y/o aeródromos en los que hayan sido designados.

Los servicios ATC, por su parte, son prestados principalmente por controladores aéreos y, por tanto, se basan en las intervenciones de los propios controladores y en la comunicación directa de estos con las tripulaciones de vuelo.

Para el control del tráfico aéreo, los controladores emiten autorización e instrucciones de control a las aeronaves, para aplicar separaciones adecuadas en distancia y altitud entre ellas, vigilando la seguridad y manteniendo ordenado el tránsito de aeronaves. El servicio se divide en tres partes, relacionadas con las fases de vuelo: Control de Área, Control de Aproximación y Control de Aeródromo.

Por su parte, los servicios FIS (*Flight Information Service* – Servicios de Información de Vuelo) pueden ser prestados por controladores o por personal FIS específico, mientras que el servicio AFIS (Servicio de Información de vuelo de aeródromos) es prestado por personal AFIS especializado. A su vez, tanto el personal ATC como el personal FIS son los encargados de proporcionar el Servicio de Alerta a aquellas aeronaves que se encuentren en situaciones de emergencia.

### 2.1.4. Servicio de Comunicaciones-Navegación-Vigilancia

El propósito principal de los servicios CNS es suministrar el soporte adecuado al desarrollo, gestión y control de la



navegación y la circulación aérea a través del conocimiento de la posición de las aeronaves en todo momento, así como el cumplimiento de sus planes de vuelo con total seguridad y de manera fluida y eficiente, sin entrar en conflicto con otras aeronaves también presentes en el espacio aéreo.

Este servicio se compone de tres pilares:

- **Servicio de Comunicaciones (C, Communications):** su función es proporcionar soporte a las comunicaciones Tierra/Aire, Tierra/Tierra y Tierra/Espacio, ya sea vía comunicaciones voz o datos, tanto entre dependencias de control de tránsito aéreo y las aeronaves, como entre distintas dependencias entre sí.
- **Servicio de Navegación (N, Navigation):** proporciona a las aeronaves la información relativa a su posición en el espacio y en el tiempo, además de la necesaria para moverse de un punto a otro del espacio aéreo.
- **Servicio de Vigilancia (S, Surveillance):** su labor es determinar las posiciones relativas de las aeronaves con el fin de establecer unas distancias seguras de separación entre ellas. Los controladores reciben la posición, la identificación, la altitud y la actitud de las aeronaves y, en aeródromos, de otros vehículos en superficie.

## 2.2. Marco normativo

Para poder explotar todo el potencial del sector, además del indispensable desarrollo de nuevas tecnologías que permitan la consolidación de aplicaciones y servicios novedosos, es preciso disponer de una normativa adecuada que permita el desarrollo eficiente y sostenible del sector, al mismo tiempo que se garantiza la seguridad, protección y privacidad gracias a una tecnología que responda a dicha normativa. En este sentido, tanto a nivel nacional como a nivel europeo, se han realizado importantes avances en materia de regulación.

Ante la ausencia de una normativa común, los primeros pasos para posibilitar operaciones con aeronaves no tripuladas consistieron en regulaciones nacionales que permitían ciertas operaciones bajo condiciones muy estrictas.

Por ejemplo, en el caso de España, la aprobación de la Ley 18/2014<sup>70</sup> permitió las primeras operaciones de carácter profesional, pero únicamente lejos de entornos urbanos, fuera del espacio aéreo controlado y siempre manteniendo a la vista la aeronave.

Con el paso del tiempo, se fue adquiriendo experiencia y algunos países desarrollaron marcos normativos menos restringidos que permitieron ampliar el abanico de escenarios

en los que era posible utilizar los UAS. Así, en España se aprobó el Real Decreto 1036/2017<sup>71</sup>, que regulaba la utilización civil de las aeronaves pilotadas por control remoto. Paralelamente, en el ámbito europeo, para dar respuesta al enorme crecimiento que experimentaba el sector, se realizaron importantes avances en términos de regulación y normativa comunitaria en materia de UAS.

En primer lugar, se adoptó el Reglamento (UE) 2018/1139<sup>72</sup> con el que entraron en vigor las nuevas normas europeas comunes en el ámbito de la aviación civil y se actualizó el marco jurídico de los UAS de uso civil. Así, se establecieron normas comunes y homogéneas a nivel europeo, de aplicación a todos los UAS, independientemente de su uso y tamaño.

Posteriormente, en 2019, se publicaron dos nuevos reglamentos cuya finalidad era garantizar la seguridad de las operaciones de UAS al mismo tiempo que se protegía la seguridad y privacidad de los ciudadanos y se regulaba la libre circulación de UAS:

- **Reglamento Delegado (UE) 2019/945<sup>73</sup>:** establece los requisitos para el diseño, la fabricación y la comercialización de UAS, así como de los accesorios de identificación a distancia y reglas aplicables a los operadores de terceros países.
- **Reglamento de Ejecución (UE) 2019/947<sup>74</sup>:** establece las normas y procedimientos para la operación de UAS, así como para el personal y las organizaciones que participen en dichas operaciones.

Esta normativa comunitaria reemplazó a las distintas normativas nacionales que existían en Europa (como el Real Decreto 1036/2017 en España). Sin embargo, la norma europea dejó la regulación de algunos aspectos bajo responsabilidad de los Estados, los cuales se encuentran en un periodo transitorio para ajustarse al nuevo marco comunitario y desarrollar esas cuestiones que Europa dejó a su elección.

En el caso de España, el 25 de junio de 2024, entró en vigor el nuevo Real Decreto 517/2024 por el que se desarrolla el régimen jurídico para la utilización civil de sistemas de aeronaves no tripuladas (UAS) y que sustituye al Real Decreto 1036/2017 complementando la regulación europea sobre UAS. Con la actualización de esta normativa, se permite al

70. <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2014-10517>  
71. <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2017-15721>  
72. <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2018-81360>  
73. <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2019-81002>  
74. <https://www.boe.es/doue/2019/152/L00045-00071.pdf>

sector adaptarse a los requisitos establecidos en la norma europea, así como a las necesidades del sector aeronáutico, apostando por la estabilidad y seguridad jurídica para su desarrollo.

El Real Decreto 517/2024 trae consigo una importante modificación de diversos aspectos normativos relativos, tanto a operaciones con aeronaves no tripuladas en el espacio aéreo de soberanía española, como los relativos a la formación de pilotos a distancia en categoría “específica” bajo autorización operacional.

Además, se incluyen importantes modificaciones en lo relativo a las actividades de aeromodelismo y exhibiciones aéreas con UAS, modificaciones de las edades mínimas de pilotos a distancia o la modificación y adaptación del régimen jurídico relativo a las actividades civiles con UAS o la reducción de los requisitos de seguros mínimos en determinadas categorías operacionales entre otros.

Por otro lado, en 2021, la Comisión Europea publicó un marco regulatorio para la gestión del tráfico de UAS y su integración segura con el resto del tráfico aéreo convencional, aunque no entró en aplicación hasta enero de 2023.

Este marco regulatorio es lo que se denomina Concepto U-Space (Reglamento de Ejecución (UE) 2021/664<sup>75</sup>) y está siendo desarrollado en el marco del programa SESAR JU (*Joint Undertaking*) de forma coordinada a nivel europeo para permitir multitud de tipos de operaciones con UAS, especialmente las de mayor complejidad.

El paquete normativo sobre U-Space establece un marco regulador a nivel europeo que define los requisitos técnicos y operativos, así como las tareas y responsabilidades de los actores involucrados en el desarrollo e implantación del concepto U-Space.

En el escenario español, el mencionado Real Decreto 517/2024 incluye también artículos y disposiciones relativos al régimen de competencias en materia de U-Space, siendo este el inicio del despliegue e implementación de U-Space en España.

Por otra parte, el 31 de agosto de 2023, EASA (la Agencia de Seguridad Aérea de la Unión Europea) publicó el documento de opinión relacionado con la presentación de un marco regulatorio de UAS en referencia a la “Movilidad Aérea

Avanzada y las normas de certificación y aeronavegabilidad continuada”.

EASA redactó este documento de opinión, codificado como 03/2023<sup>76</sup>, con la idea de plasmarlo en un reglamento. Las fases para la introducción de la regulación pasan por la contribución de grupos de expertos dedicados a cada uno de los aspectos afectados.

Los objetivos específicos de las modificaciones propuestas son:

1. Garantizar un nivel elevado y uniforme de seguridad para los UAS sujetos a certificación y los operados en la categoría específica y para operaciones con aeronaves tripuladas VCA (*VTOL Capable Aircraft*, Aeronaves con capacidad de despegue y aterrizaje vertical).
2. Permitir a los operadores operar aeronaves VCA tripuladas de forma segura en el cielo único europeo (SES, *Single European Sky* – Cielo Único Europeo).
3. Crear las condiciones para la operación segura de UAS y de aeronaves VCA tripuladas en U-Space.
4. Promover la innovación y el desarrollo en el campo de la movilidad aérea innovadora (IAM, *Innovative Air Mobility* Movilidad Aérea Innovativa) estableciendo al mismo tiempo un marco regulatorio eficiente, proporcionado y bien diseñado, libre de requisitos gravosos y complejos que podrían obstaculizar el desarrollo del mercado de UAS.
5. Armonizar el marco regulatorio en todos los Estados miembros de la UE mejorando la claridad, llenando los vacíos y eliminando las inconsistencias inherentes a los sistemas regulatorios fragmentados.
6. Fomentar un marco regulatorio centrado en las operaciones, proporcionado y basado en el riesgo y el desempeño, considerando aspectos importantes como la privacidad, la protección de datos personales y la seguridad.

Según el Reglamento de Ejecución UE 947/2019<sup>77</sup> y sus posteriores modificaciones, la identificación remota es obligatoria para UAS o drones en la Unión Europea, a partir del 1 de enero de 2024. Según su artículo 23, la fecha del 1 de enero de 2024 se estableció como la entrada en vigor de todo el reglamento, incluyendo los aspectos relativos al identificador remoto.

El sistema de identificación remota viene definido en el artículo 3 del Reglamento Delegado UE 945/2019<sup>78</sup>, en

75. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32021R0664&from=EN>

76. <https://www.easa.europa.eu/en/document-library/opinions/opinion-no-032023>

77. <https://www.boe.es/doue/2019/152/L00045-00071.pdf>

78. <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2019-81002>

su punto 33. Según la Parte 6 del anterior reglamento modificado, la identificación remota debe ser tal que cumpla los siguientes requisitos:

- a. Permitir la carga del número de registro del operador del UAS de conformidad con el artículo 14 del Reglamento de Ejecución (UE) 947/2019 y únicamente aplicando el proceso proporcionado por el sistema de registro.
- b. Tener un número de serie físico único, que cumpla la norma ANSI/CTA-2063 *Small Unmanned Aerial Systems Serial Numbers*, fijado en el UAS y su embalaje o en su manual del usuario de manera legible.
- c. Garantizar en tiempo real, durante toda la duración del vuelo, la transmisión periódica directa desde el UAS, utilizando un protocolo de transmisión abierto y documentado, de manera que pueda ser recibida directamente por los dispositivos móviles existentes dentro del alcance de transmisión, de, al menos, los siguientes datos:
  1. **El número de registro del operador de UAS y el código de verificación** proporcionados por el Estado miembro de registro durante el proceso de registro.
  2. El **número de serie físico único del UAS**, que cumpla la norma ANSI/CTA-2063.
  3. La **marca de tiempo, la posición geográfica y su altura** sobre la superficie o punto de despegue.
  4. La **trayectoria del UAS**, medida en el sentido de las agujas del reloj a partir del norte geográfico, y **la velocidad respecto al suelo** del UAS.
  5. La **posición geográfica del piloto remoto** o, si no está disponible, el **punto de despegue**.
- d. Garantizar que el usuario no pueda modificar los datos indicados en el apartado c.
- e. Haber sido comercializado con un manual del usuario en el que figure la referencia del protocolo de transmisión utilizado para las emisiones de identificación a distancia directa, así como instrucciones para:
  - A. Instalar el módulo en el UAS;
  - B. Cargar el número de registro del operador del UAS.

Por lo tanto, desde la fecha indicada, el operador del dron está obligado a cargar en el sistema de identificación remota el número de registro de operador de UAS recibido durante el proceso de registro. En caso de que el operador posea varios drones, se debe cargar el mismo número de registro

de operador de UAS en todos los drones. Los estados de la UE podrían identificar zonas geográficas UAS donde la identificación remota no fuese obligatoria.

Las Autoridades y Fuerzas y Cuerpos de Seguridad podrán supervisar con sus dispositivos de detección dichas operativas, y contrastarlas con el número de registro del operador UAS indicado en el sistema de identificación remota, pero este cometido no es el único que indica la norma. Como bien indica el reglamento y por lo expuesto anteriormente, se debe contar con una base de datos accesible por el público con carácter abierto que, a día de hoy, no existe.

La identificación a distancia directa es un paso importante para mejorar la seguridad y la gestión de los drones en el espacio aéreo<sup>79</sup>.

## 2.3. Estado actual del desarrollo de U-Space

Las previsiones de crecimiento de la industria de los UAS a nivel global, unidas a las limitaciones del sistema convencional para la gestión del tráfico aéreo, pusieron de manifiesto la necesidad de desarrollar e implementar un sistema para la gestión del tráfico de UAS.

En este sentido, por todo el mundo, se empezaron a desarrollar sistemas para la gestión de dicho tráfico aéreo no tripulado llamados sistemas UTM (del inglés, *Unmanned Traffic Management*).

En el caso europeo, el sistema UTM que la Unión Europea está desarrollando de forma coordinada desde el año 2017 ha sido denominado U-Space, y prevé una implantación paulatina de este concepto en el espacio aéreo europeo, sobre todo en grandes ciudades, donde se espere un gran número de operaciones con UAS y se pueda explotar al máximo su potencial.

En un primer momento, el desarrollo de U-Space se organizaba en cuatro fases, cada una de ellas implicando un nivel más alto de automatización y conectividad. Sin embargo, los horizontes temporales marcados durante esos primeros pasos fueron demasiado optimistas y no se están cumpliendo.

<sup>79</sup> A partir del 1 de enero de 2024, los drones que operen dentro de la categoría abierta (excepto C0 & C4) y específica, que incluye los utilizados en escenarios nacionales o estándar de la UE, deberán estar equipados con un sistema de identificación remota. Ya hay algunas empresas que han lanzado módulos capaces de proporcionar un sistema de este tipo, cada uno de ellos acompañado de una «Declaración de conformidad de la UE». La lista se puede consultar en el siguiente enlace: <https://eudroneport.com/es/blog/lista-de-dri-certificados/>

- **Fase U1 – Servicios básicos:** identificación y registro electrónico o el sistema de geoconsciencia.
- **Fase U2 – Servicios iniciales:** planificación de vuelos, aprobación de permisos, seguimiento y rastreo e interacción convencional con el ATC.
- **Fase U3 – Servicios avanzados:** resolución de conflictos entre aeronaves y detección y evasión de obstáculos.
- **Fase U4 – Servicios completos:** implementación total del U-Space, alto nivel de automatización e interconexión entre todos los implicados.

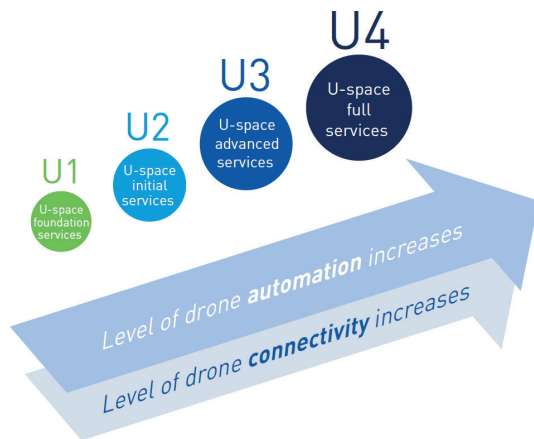


Figura 21. Fases previstas para el desarrollo de U-SPACE. Fuente: SESAR. CORUS Concept of Operation. Permisos solicitados.

Entre los beneficios que ofrecerá la implantación de U-Space se encuentran:

- Impulsar un sistema escalable y dinámico de control y gestión del tráfico, integrado con la aviación tripulada y accesible para todos en todo momento.
- Garantizar la seguridad de todos los usuarios del espacio aéreo, así como de las personas e infraestructuras en tierra, con un enfoque centrado en el riesgo.
- Aprovechar las infraestructuras aeronáuticas, y de otros sectores, existentes para acelerar su implantación.
- Minimizar el impacto medioambiental y mejorar la interoperabilidad en las ciudades, al tiempo que se respeta la privacidad de los ciudadanos.
- Permitir operaciones de UAS en entorno de complejidad máxima y alta densidad.

## 2.4. Concepto U-Space

El concepto U-Space se entiende como un conjunto de servicios y procedimientos que se están desarrollando de manera específica y coordinada a nivel europeo para

encargarse de la gestión del tráfico de UAS, al mismo tiempo que se garantiza su acceso ordenado, eficiente y seguro al espacio aéreo, en condiciones igualitarias para todos los potenciales usuarios y de manera sostenible, todo ello sobre la base de desarrollos técnicos con un alto grado de digitalización y automatización.

Su propósito es lograr la integración segura de los UAS en el espacio aéreo y la gestión automatizada de sus operaciones para permitir un elevado número de ellas, muchas de ellas simultáneas, especialmente en entornos de máxima complejidad (espacios aéreos de baja altitud y en entornos urbanos), en convivencia y coordinación con el actual sistema de gestión del tráfico aéreo que gestiona la aviación convencional, permitiendo el desarrollo de nuevos mercados y la materialización del potencial de crecimiento económico esperado.

El concepto U-Space se apoya en dos pilares elementales e interdependientes:

- Por un lado, se encuentran los **volúmenes del espacio aéreo U-Space** que se refiere a las zonas geográficas para la operación de UAS en las que, para garantizar la seguridad, eficiencia e interoperabilidad de las operaciones, se prestan los servicios U-Space que se hayan establecido como mínimos y obligatorios.
- Los **servicios U-Space** son el otro elemento clave, están basados en servicios digitales y en la automatización de funciones, diseñados para facilitar un acceso protegido, eficiente y seguro a los espacios aéreos U-Space para un gran número de UAS.

Así, actualmente el Reglamento U-Space establece cuatro servicios obligatorios para volar en cualquier espacio aéreo U-Space:

1. **Servicio de identificación de red.** Proporciona la identidad de los operadores de UAS, así como información de la ubicación, la trayectoria y el rumbo de los UAS durante sus operaciones.
2. **Servicio de geoconsciencia.** Proporciona información sobre condiciones operacionales, limitaciones del espacio aéreo o restricciones temporales existentes en el espacio aéreo U-Space en cuestión.
3. **Servicio de autorización de vuelo.** Garantiza que las operaciones que se realicen en un mismo espacio aéreo U-Space estén libres de conflictos con otros UAS y con zonas UAS en las que haya restricciones.



4. **Servicio de información de tráfico.** Proporciona información sobre cualquier otro tráfico, tripulado o no tripulado, que pueda encontrarse en las proximidades o en la ruta prevista de los UAS.

Asimismo, existen dos servicios adicionales, opcionales, que podrían establecerse como obligatorios, si así se considerara necesario tras la correspondiente evaluación de riesgos asociada a cada espacio aéreo U-Space:

- A. **Servicio de información meteorológica,** para apoyar la planificación y ejecución de los vuelos, y
- B. **Servicio de supervisión de la conformidad,** para avisar de posibles desvíos respecto del perfil de vuelo establecido en la autorización de vuelo.

El despliegue del concepto U-Space trae consigo la introducción de dos nuevos proveedores de servicios:

- Por un lado, los proveedores de servicios comunes de información (**CISP, Common Information Services Provider**) son los encargados de prestar un servicio que consiste en la difusión de datos estáticos y dinámicos que permitan el buen funcionamiento del concepto U-Space a todos los agentes involucrados en él.  
Este tipo de proveedor es fuente única y confiable de toda la información común en aquellos espacios aéreos U-Space que estén bajo su responsabilidad, pudiendo solamente designarse uno para cada volumen de espacio aéreo en el que se presten servicios U-Space.
- Por otro lado, los servicios U-Space son prestados específicamente por entidades certificadas como proveedores de servicios U-Space (**USSP, U-Space Services Provider**), pudiendo existir uno o varios en cada volumen de espacio aéreo U-Space, y teniendo los operadores la posibilidad de elegir con cuál de ellos establecer un contrato para la gestión de sus operaciones.  
Este tipo de proveedores se coordinarán activamente con otros USSPs y otros proveedores ATS para intercambiar información y mantener un correcto funcionamiento de las operaciones.

Ambos tipos de proveedores deberán certificarse y son relevantes en la elección del modelo de prestación de servicios U-Space (centralizado o distribuido) que el Reglamento U-Space deja a elección de los Estados:

- En el **modelo centralizado**, se designa a un proveedor CISP único en la totalidad o en algunos de los espacios aéreos U-Space para actuar como punto focal único de

información común y centralizar las coordinaciones entre USSPs y los proveedores ATS.

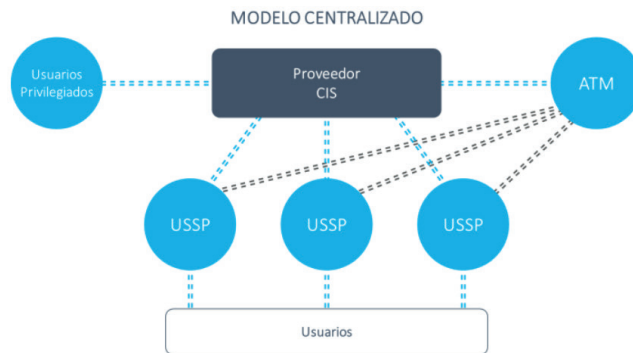


Figura 22. Modelo centralizado de U-Space.  
Fuente: AESA. Permisos solicitados.

- En cambio, **en el modelo distribuido**, no se contempla la figura del proveedor CISP y las coordinaciones se realizan de manera directa, sin intermediarios, y es el Estado el que proporciona la información común.

## 2.5. Estado del despliegue de U-Space en España

En el caso de España, hace años que existen iniciativas que han considerado la implantación y el despliegue de U-Space entre sus actuaciones, tales como el Plan Estratégico para el desarrollo del sector civil de los drones en España 2018-2021<sup>80</sup> o la Estrategia de Movilidad Segura, Sostenible y Conectada 2030<sup>81</sup>.

Además, el nuevo Real Decreto 517/2024, por el que se desarrolla el régimen jurídico para la utilización civil de sistemas de aeronaves no tripuladas (UAS), también contiene disposiciones y artículos en materia de U-Space relativos al régimen de competencias y complementa la regulación europea sobre UAS, permitiendo al sector adaptarse a los requisitos establecidos en la norma europea, así como a las necesidades del sector aeronáutico, apostando por la estabilidad y seguridad jurídica para su desarrollo.

Asimismo, recientemente se ha publicado formalmente la segunda edición del **Plan de Acción Nacional para el Despliegue de U-Space en España (PANDU) 2022-2025**<sup>82</sup>, cuyo objetivo es impulsar el despliegue del concepto U-Space y la implementación de los servicios U-Space a nivel nacional, involucrando y coordinando a todas las partes

80. <https://www.transportes.gob.es/el-ministerio/planes-estrategicos/drones-espania-2018-2021>

81. <https://esmovilidad.transportes.gob.es/ejes-estrategicos>

82. [https://cdn.transportes.gob.es/portal-web-drupal/aviacion/plan\\_de\\_despliegue\\_u-space\\_v2.pdf](https://cdn.transportes.gob.es/portal-web-drupal/aviacion/plan_de_despliegue_u-space_v2.pdf)

implicadas mediante la definición de acciones de alto nivel que servirán de punta de lanza para guiar las actuaciones para el despliegue inicial (2022-2025).

El Plan establece la hoja de ruta para lograr el desarrollo e implantación temprana y efectiva del U-Space, fijando cuatro objetivos:

- **Objetivo 1** - Actuaciones en materia de espacio aéreo, centradas principalmente en la zonificación: definición de zonas geográficas de UAS y designación de espacios aéreos U-Space, evaluaciones de riesgos en el espacio aéreo o reconfiguración dinámica del espacio aéreo.
- **Objetivo 2** - Implantación del modelo de prestación de servicios nacional, la designación del proveedor único CISP y el establecimiento del modelo de tarificación de servicios.
- **Objetivo 3** - Despliegue de los servicios U-Space y habilitadores para su prestación, con especial importancia de la certificación de los nuevos proveedores de servicios (CISP y USSP).
- **Objetivo 4** - Establecimiento de los mecanismos de cooperación y colaboración entre administraciones, organismos y otras partes implicadas, así como la divulgación del concepto U-Space.

## 2.6. El primer paso hacia la movilidad aérea urbana

Las posibles aplicaciones del U-Space se agrupan bajo el término 'Servicios Aéreos Innovadores', un nuevo concepto que recientemente está desarrollando EASA<sup>83</sup>.

Dentro de este concepto, se incluye la movilidad aérea innovadora (IAM) que distingue entre la movilidad aérea urbana (UAM, *Urban Air Mobility* – Movilidad Aérea Urbana) y el transporte aéreo regional/internacional.

En este sentido, la UAM<sup>84</sup> se define como un sistema de transporte aéreo, tanto de pasajeros como de mercancías, en entornos principalmente urbanos e impulsado por los últimos avances tecnológicos (propulsión eléctrica, baterías mejoradas, despegues y aterrizaje vertical, avances en conectividad 5G).

Se espera que las grandes ciudades sean uno de los espacios aéreos donde se concentren un mayor número de operaciones de UAS, dado el increíble potencial del sector.

La implantación de U-Space solamente sería el primer paso para permitir la UAM ya que supondrá la integración completa de todos los medios de transporte y podría contribuir muy positivamente a mejorar los problemas de movilidad y contaminación de las grandes ciudades.

En estos escenarios UAM, con el apoyo del concepto U-Space, está prevista la operación desde aeronaves eléctricas de despegue y aterrizaje vertical (eVTOL, *electric Vertical Take-Off and Landing* – Eléctrico con Aterrizaje y Despegue Vertical) para el transporte de pasajeros o tareas de emergencia, hasta UAS de pequeño tamaño para todo tipo de operaciones aéreas: vigilancia, control y seguridad, transporte de material médico, reparto de paquetería, inspecciones, etc.



Imagen 62. UAS dedicado a entrega de paquetería. Fuente: Freepik, generada por IA

83. <https://www.easa.europa.eu/en/domains/drones-air-mobility/drones-air-mobility-landscape/basics-explained/innovative-air-mobility-and-services>

84. <https://www.easa.europa.eu/en/light/topics/urban-air-mobility>

## 3. SEGURIDAD. “SAFETY & SECURITY”

### 3.1. Riesgos

Aunque los UAS se han establecido como una tecnología provechosa para diversos sectores, también pueden ser utilizados con fines hostiles para llevar a cabo actos ilícitos o simplemente usarse erróneamente o desde el desconocimiento de la normativa existente. Su operación puede llegar a suponer una amenaza cuando tiene un potencial impacto negativo en términos de seguridad, privacidad o medio ambiente, perjudicando a otros usuarios del espacio aéreo, personas que estén en tierra, infraestructuras, bienes o propiedades.

La operación de UAS conlleva un riesgo físico indudable. En el aire, se pueden producir incidentes con otras aeronaves, tripuladas o no tripuladas o pueden vigilar zonas no autorizadas. En tierra, pueden suponer una amenaza para las personas o las infraestructuras.

Además, estos riesgos son independientes de si las operaciones han sido autorizadas o no, podrían deberse simplemente a un fallo durante la operación.

Sin embargo, el riesgo físico no es el único riesgo derivado de la operación de UAS, también existen grandes riesgos en materia de privacidad, propiedad intelectual y seguridad operacional.

Así, los riesgos asociados a la operación de UAS se pueden clasificar en tres grandes grupos, teniendo en consideración que, en estos casos, se estarán empleando de forma malintencionada:

- **Riesgos de Seguridad.** Existe el riesgo de que se utilicen los UAS para llevar a cabo ataques físicos (lanzamiento de cargas dañinas (cargas explosivas, químicas, etc.), colisión provocada contra personas/vehículos/edificios, perturbación del funcionamiento de infraestructuras o de la operación de otras aeronaves) o actividades de contrabando en fronteras o prisiones.
- **Riesgos de Privacidad.** Los UAS se pueden emplear para capturar y procesar información que podría comprometer la privacidad de otros: espionaje y seguimiento de personas o vehículos, vigilancia y reconocimiento de instalaciones sensibles o, incluso, reconstrucciones espaciales en 3D.
- **Riesgos de Penetración.** Gracias a su accesibilidad espacial y las múltiples posibilidades de cargas de pago,

es posible su uso como herramientas de apoyo para tratar reunir información confidencial o controlar/hackear sistemas, crear canales de comunicación encubiertos o aprovechar brechas en la ciberseguridad.

Por último, no deben olvidarse los riesgos asociados a imprudencias u operaciones sin ningún tipo de mala intención, como personas que desconocen la normativa vigente, intrusiones involuntarias en espacios aéreos no permitidos u operadores que sobrepasan sus límites de operación.

A medida que aumentan las prestaciones y el rango de aplicaciones y servicios de los UAS, la amenaza que pueden llegar a suponer crece también. Asimismo, los UAS LSS están al alcance de cualquier individuo, dado su bajo coste y fácil manejo.

En este sentido, los riesgos de la operación de UAS pueden clasificarse según las intenciones de los operadores, aunque también deberían tenerse en cuenta otros aspectos relevantes como el lugar en el que se desarrolla la operación, en:

- **Acciones no intencionadas o errores humanos.** Normalmente causadas por UAS de uso recreativo u operadores profesionales.
- **Acciones malintencionadas con un nivel de perturbación bajo-medio.** Por ejemplo, situar los UAS en posiciones estratégicas para espionaje o protestas.
- **Acciones malintencionadas con un nivel de perturbación alto.** Por ejemplo, actos terroristas mediante el uso de UAS.
- **Acciones previstas.** Se trata de acciones civiles o militares de las que el Estado tiene conocimiento, pero no por ello dejan de suponer un riesgo para la seguridad derivadas de algún tipo de error técnico o humano.
- **Acciones masivas.** Son acciones que pueden incluir a todas las anteriores pero que se efectúan con uno o varios enjambres de drones actuando simultáneamente o de forma coordinada sobre uno o varios objetivos críticos lo cual supone una mayor amenaza y la necesidad de disponer de una capacidad superior para su interceptación.

Hoy, los sistemas de vigilancia de muchas infraestructuras críticas no son capaces de detectar los UAS. No se dispone de información precisa y a tiempo sobre la ubicación de las posibles amenazas. De hecho, en entornos críticos como los aeropuertos, la detección suele depender de las propias personas ubicadas en la zona. De este modo, la

detección es tardía, no se dispone de medios para evaluar adecuadamente las posibles amenazas ni, por tanto, para, tomar las decisiones correspondientes.

El sistema que se proponga para el control y gestión del tráfico de UAS deberá disponer de un sistema de alerta centralizado que permita avisar de la posible actividad de UAS no autorizada, aunque no exista mala intencionalidad. Asimismo, el sistema deberá contar con sistemas C-UAS adecuados que incluyan sistemas de información, sensores e interceptadores y que permitan garantizar la protección de determinados lugares críticos civiles y militares (no se protegerá todo el espacio aéreo nacional).

Para complementar esto, se equipará tanto a las Fuerzas Armadas como a las Fuerzas y Cuerpos de Seguridad con los medios necesarios para poder contrarrestar potenciales amenazas y mitigar al máximo los riesgos y el posible impacto de la operación de UAS.

### 3.2. Sistema de control y gestión del tráfico

Con el objeto de implementar una solución para la mejora de la red ATM para el control y gestión del tráfico aéreo, se inició el proyecto Cielo Único Europeo (SES). Este fue el pilar para la posterior creación del programa SESAR JU, cuya intención se ha centrado en definir, desarrollar y desplegar las estrategias necesarias para aumentar el rendimiento de la

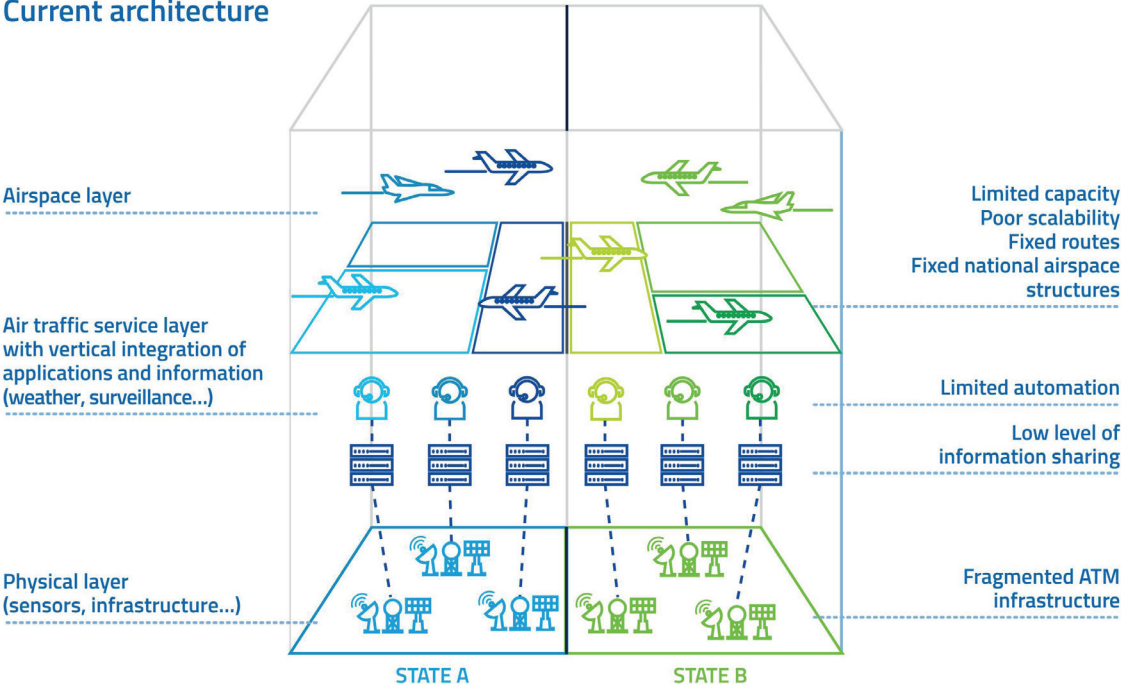
gestión del tránsito aéreo y establecer un sistema inteligente a nivel europeo para el transporte aéreo.

Además, este programa ha servido como punto de partida e impulso para el U-Space. Entre las ideas desarrolladas por el programa SESAR y que se han utilizado para el desarrollo de esta iniciativa específicamente para UAS se encuentran:

- Minimizar la fragmentación del espacio aéreo.
- Cimentar una infraestructura adecuada para respaldar operaciones de cada vez mayor complejidad y aprovechar todo el potencial del sector.
- Transformar el sistema ATM en uno más modular, automatizado e interoperable.
- Aprovechar las nuevas tecnologías digitales y de visualización.
- Integrar con seguridad todos los tipos de vehículos aéreos, incluidos los UAS.
- Mejorar los rendimientos en todas las fases de vuelo para una mayor fluidez y eficiencia del tráfico.

Es posible afirmar que la operación de UAS va a ser controlada y gestionada de un modo similar al tráfico aéreo tradicional, pero con las adaptaciones necesarias para ello. Así, organismos y autoridades competentes van a ser los mismos que los responsables para la aviación tripulada, con los cambios en la normativa, organización y gestión pertinentes.

#### Current architecture





## Future architecture

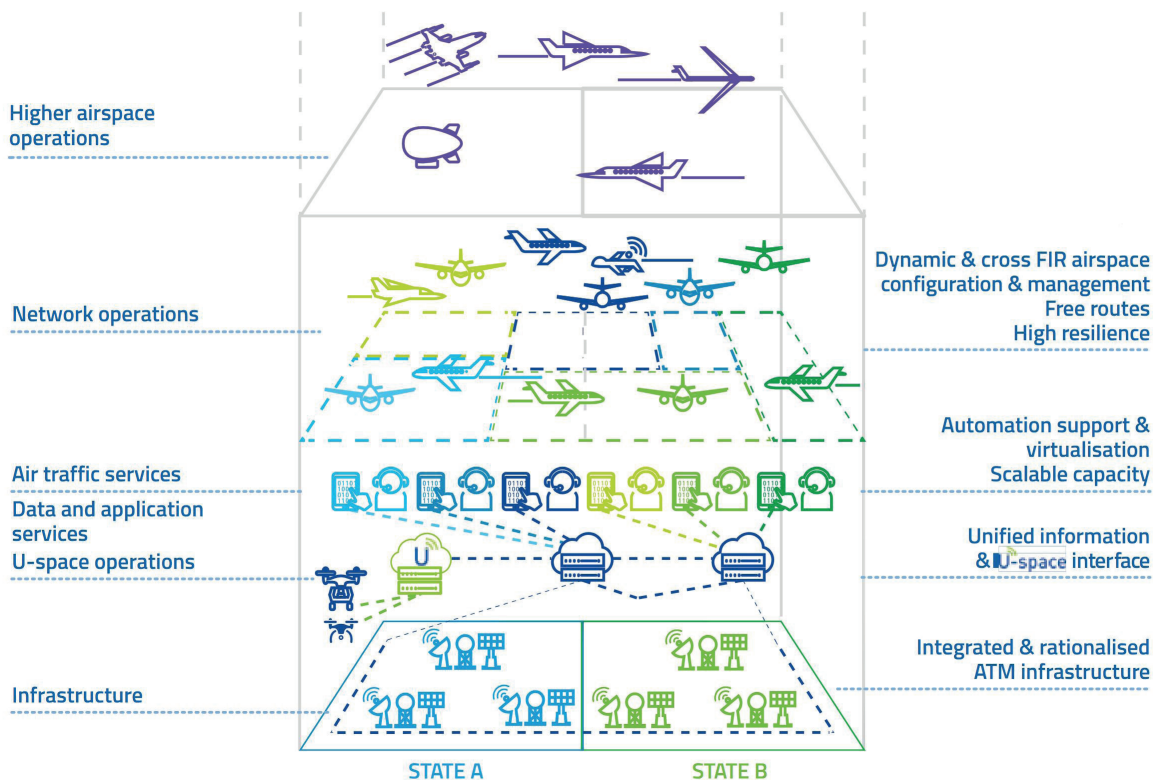


Figura 23. Evolución del Cielo Europeo. Arquitectura actual vs futura. Fuente ENAIRE. Permisos solicitados.

### 3.3. Espacio aéreo

La adecuación del espacio aéreo a las necesidades de los UAS es una de las principales cuestiones a tratar para poder establecer un sistema de control y gestión de UAS que se adapte correctamente a la operativa de estas aeronaves.

Para ello, a nivel global se están desarrollando múltiples iniciativas UTM, como el U-Space europeo o el concepto UAM, especialmente centradas en la digitalización y automatización de funciones para facilitar la integración de los UAS en el espacio aéreo y encaminarnos hacia una movilidad aérea conectada e integrada, sobre todo en las grandes ciudades.

Las previsiones muestran que un porcentaje muy elevado de las operaciones de UAS, de uso profesional y recreativo, se van a desarrollar en el espacio aéreo de muy baja altitud VLL o de baja cota, el cual suele extenderse hasta los 120 metros de altura desde el suelo aproximadamente.

Por ello, hay que centrar los esfuerzos en revisar y adecuar este espacio aéreo para garantizar la seguridad de las operaciones, tanto de la aviación tripulada como de la no tripulada.

Se entiende que aquellos UAS que vayan a operar por encima del espacio aéreo (más allá de los 120 metros de altura) tendrán unas dimensiones y prestaciones similares al tráfico tripulado convencional, por lo que su detección, control y gestión será similar.

## 4. ORGANIZACIÓN DEL ESPACIO AÉREO DE BAJA COTA

Así, el proyecto CORUS<sup>85</sup> (*Concept of Operations for European UTM Systems*) del programa SESAR plantea una división del volumen de espacio aéreo de baja cota en tres tipos, en función de los servicios proporcionados en cada uno de ellos y, por tanto, el tipo de operación que se permite:

85. <https://www.sesarju.eu/projects/corus>

**Tipo X.** No se ofrece ningún servicio de resolución de conflictos. Garantizar la seguridad de las operaciones es responsabilidad de los pilotos a distancia.

Un buen ejemplo de este tipo de espacio aéreo podría ser una zona rural en la que se realicen operaciones con UAS para agricultura.

En este caso, se realizan vuelos sobre zonas predefinidas (principalmente VLOS, *Visual Line Of Sight* – Línea de visión, pero también BVLOS, *Beyond Visual Line Of Sight* – Más allá de la Línea de Visión) y no habrá grandes riesgos de conflictos en vuelo.

El único riesgo sería la aviación tripulada que vuele mediante VFR (Visual Flight Rules – Reglas de Vuelo Visual) y que pudiera operar en la zona. Para evitarlo, bastaría con notificar con antelación la zona y los tiempos de operación, ya que no siempre será necesario pedir permiso para llevar a cabo la operación.

**Tipo Y.** Únicamente se ofrece resolución estratégica de conflictos (antes del vuelo), junto a información de tráfico durante el vuelo.

Las actividades de inspección y mantenimiento de infraestructuras en un entorno semiurbano conforman una buena muestra para las operaciones en este espacio aéreo. En este caso, los principales riesgos serían la proximidad a infraestructuras o las interferencias eléctricas/electromagnéticas.

Además, se recomienda encarecidamente al posible tráfico VFR en la zona que utilice los servicios U-Space.

**Tipo Z.** Se ofrece resolución estratégica y táctica de conflictos (antes y durante el vuelo). Se distingue entre:

- **Zu:** resolución de conflictos proporcionada por U-Space.

La entrega de paquetería BVLOS en zonas urbanas es un buen ejemplo. Al tratarse de una operación compleja, los requisitos son más estrictos, especialmente para garantizar la navegación y la separación con otros UAS. Se podrán definir distintos niveles de operación, en función de las capacidades de los UAS.

- **Za:** resolución de conflictos proporcionada por el sistema ATM.

Se considera espacio aéreo controlado, por lo que aeronaves tripuladas y no tripuladas necesitarán la autorización del sistema ATM para poder operar.

Se debe garantizar que el tráfico tripulado y el tráfico no tripulado van a segregarse dinámicamente, mediante reconfiguraciones del espacio aéreo.

El mejor ejemplo podrían ser operaciones en entorno aeroportuario o el despegue/aterrizaje de taxis aéreos en vertipuertos.

Así, el acceso al espacio aéreo de los tipos Y y Z requiere de un plan de operaciones aprobado además de una formación específica, un equipo técnico adecuados y conexión al sistema U-Space.



Figura 24. División del volumen de espacio aéreo de baja cota según el proyecto CORUS.  
Fuente SESAR. U-space Concept of Operations. Permisos solicitados.

Por otro lado, debido a la notable variedad de UAS en términos de prestaciones y capacidades que existe en el mercado también se debe tener en cuenta, a la hora de estructurar el espacio aéreo de baja cota, dónde se van a concentrar las operaciones de UAS.

En un mismo entorno de operación, por ejemplo, una zona urbana, el tratamiento de la operación de un UAS de pequeño tamaño diseñado para el transporte de paquetería no se puede comparar con la operación de un taxi aéreo dedicado al transporte de personas.

Asimismo, la cada vez mayor relevancia que está adquiriendo la movilidad aérea urbana, pone de manifiesto la necesidad de organizar adecuadamente el tráfico según sus capacidades.

En este sentido, iniciativas como AMU-LED<sup>86</sup> (*Air Mobility Urban – Large Experimental Demonstrations* – Movilidad Aérea Urbana, Grandes Demostraciones Experimentales), cuyo objetivo es la integración de los UAS en entornos urbanos para potenciar el UAM, proponen separar el espacio aéreo de baja cota en dos capas:

- **Capa superior (altas prestaciones):** se trataría de un espacio aéreo de tipo Z, dedicado principalmente a la operación de UAS de gran tamaño, como los taxis aéreos u operaciones de emergencia. Generalmente, se realizarían operaciones más complejas y largas, con la posibilidad de sobrevolar distintos entornos de operación, y se requeriría un rendimiento óptimo de los sistemas CNS así como un plan de contingencia ante un posible fallo.

Por su parte, la operación de UAS más pequeños, de menores prestaciones, estaría prohibida para asegurar la separación (al ser vuelos de baja cota también se asegura la separación con tráfico tripulado).

- **Capa inferior (prestaciones estándar):** se correspondería con el espacio aéreo en el que se permitiría la operación del resto de UAS, en general, los de menor tamaño, pudiendo ser volúmenes de tipo X, Y y Z, en función de las necesidades de cada zona (principalmente densidad de operaciones y complejidad del entorno).

A corto plazo, ambas capas se mantendrán dentro del espacio aéreo VLL de baja cota para garantizar la distancia de separación con la aviación tripulada que vuela mediante VFR y que pueda estar operando por encima de ellos.

Más adelante, conforme el número de operaciones UAS aumente y los medios para la aviación tripulada que vuelen mediante VFR mejoren, se podrá valorar ampliar el límite de la capa superior por encima del espacio aéreo VLL de baja cota.

Esta cuestión también se debería tener en cuenta para aquellos escenarios en los que hubiera edificios de gran altura, en los que su sobrevuelo podría no estar contenido en el espacio aéreo de baja cota. Al principio bastaría con restringir las operaciones por encima de estos edificios, pero más adelante sería necesario redefinir el espacio aéreo sobre la ciudad.

Otro aspecto a tener en cuenta para esta división de espacios será el despegue/aterrizaje de los UAS destinados a operar en la capa superior. Es posible que estas operaciones tengan que hacerse desde vertipuertos situados en el espacio aéreo correspondiente a la capa inferior, es decir, tendrán que atravesar la capa de baja cota para poder alcanzar la de altas prestaciones.

---

86. <https://www.sesarju.eu/projects/AMU-LED>



Imagen 63. Recreación de un vertipuerto. Fuente: Freepik, generada por IA

Para ello, una posibilidad sería el uso de “corredores/pasillos dinámicos” para conectar los vertipuertos con la capa superior.

Así, cuando un corredor estuviera activo, solamente los UAS de la capa superior podrían operar en ellos, quedando restringida la operación del resto de UAS a los periodos en los que el corredor se desactivara, garantizando la separación en todo momento y optimizando el uso del espacio aéreo.

Este concepto es similar a lo que el Reglamento de Ejecución (UE) 2021/664<sup>87</sup> denomina “Reconfiguración dinámica del espacio aéreo”, es decir, una modificación temporal del espacio aéreo U-Space para acomodar puntualmente la demanda de tráfico tripulado. En el caso de los corredores, sería una “Reconfiguración dinámica para los UAS de altas prestaciones”.

Esta solución podría darse tanto en el espacio aéreo de tipo Zu, como en espacio aéreo controlado, es decir, de tipo Za.

Así, el proceso para la activación/desactivación de los corredores dinámicos sería diferente en cada volumen de espacio aéreo:

- **En espacio aéreo de tipo Zu (U-Space)**, serán los USSPs los responsables de activar/desactivar los corredores para el despegue/aterrizaje de los UAS de altas prestaciones, así como de garantizar que el resto de UAS no entran en él.
- **En espacio aéreo de tipo Za**, los USSPs tendrán que solicitar autorización a las dependencias ATC correspondientes y, solamente cuando la reciban, podrán activar el corredor para el despegue/aterrizaje.

87. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32021R0664&from=EN>



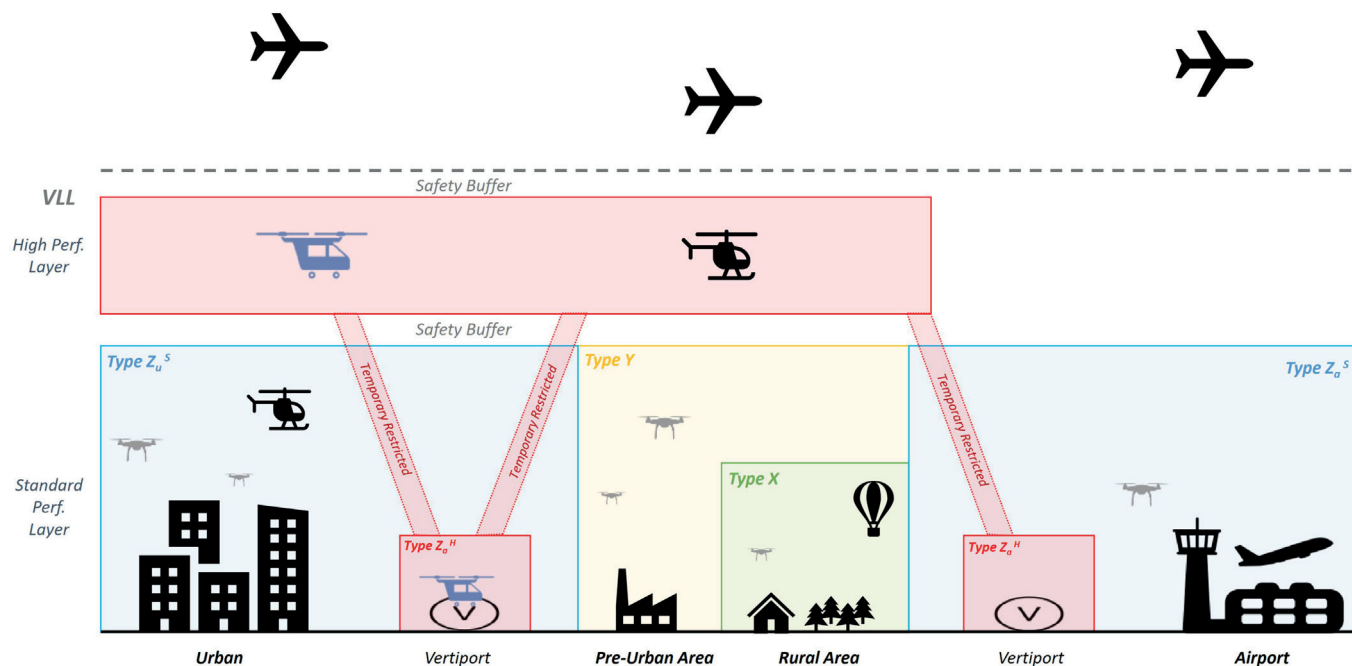


Figura 25. Estructuración del espacio aéreo. VLL adecuado para el tráfico UAS. Fuente: ENAIRE- Permisos solicitados.

## 5. SOLUCIONES NACIONALES C-UAS

### 5.1. SIGLO-CD (Sistema Global contra Drones).

En España, ya existen algunas soluciones C-UAS, como es el caso del sistema SIGLO-CD (Sistema Global contra Drones), perteneciente a la Secretaría de Estado de Seguridad.

Se trata de un sistema C-UAS que utiliza un sistema de información y equipos sensores e interceptadores para la prevención y protección de los ciudadanos.

Entre los objetivos principales del sistema SIGLO-CD se encuentra la interoperabilidad con otros sistemas C-UAS, tanto de las Fuerzas y Cuerpos de Seguridad Autonómicos, como de terceros operadores tales como empresas privadas de seguridad, lo cual permitiría aumentar significativamente el despliegue y la cobertura del sistema.

El sistema se ha desplegado en la Comunidad de Madrid para la protección de las principales instituciones del Estado durante su fase I (2021-2022) en la cual se han instalado unidades para la detección de largo alcance y equipos de neutralización basados en la perturbación de las

señales, todo ello gestionado mediante una plataforma web centralizada.



R&S  
ARDRONIS



DJI Aeroscope



Portable

Fija

Imagen 64. Diferentes detectores de RF para soluciones C-UAS. Fuente: Isdefe-UPM. Estado del Arte de las tecnologías anti-dron

A pesar de sus buenas prestaciones en la fase inicial, estas capacidades no se consideran suficientes para las previsiones de tráfico de UAS que se esperan en el futuro.

Por ello, el sistema debe evolucionar y ha dado comienzo la Fase II (2022-2024), la cual pretende extender la protección a la mayor parte de las grandes ciudades de España.

Para poder hacerlo, el desarrollo tecnológico deberá ir a la par, incrementando el número de sensores para la detección y la posterior neutralización y, por tanto, aumentando la efectividad y las prestaciones del sistema. Concretamente, esta Fase II incluye:

- Despliegue territorial en 50 nuevas sedes (detección y neutralización).
- Cobertura en todas las capitales de provincia y otras ciudades.
- Integración con bases de datos para obtener información de interés policial tanto de drones como de pilotos.
- Implementación de un software de mando y control que mejore y amplíe las funcionalidades ya disponibles.
- Añadir funcionalidades de auditoría y Big Data.
- Incorporar técnicas de inteligencia artificial para ayuda a especialistas policiales.



Figura 26. Arquitectura básica de Siglo-CD. Fuente MIN. INTERIOR

Entre las prestaciones actuales del sistema SIGLO-CD se encuentran:

|                                               |                             |
|-----------------------------------------------|-----------------------------|
| <b>Tecnología:</b>                            | Decodificación RF + Jamming |
| <b>Tiempo de respuesta para la detección:</b> | Inferior a 120 segundos     |
| <b>Alcance de detección:</b>                  | 15 km                       |
| <b>Precisión en la localización:</b>          | hasta 5 metros (GPS)        |
| <b>Neutralización:</b>                        | Manual                      |
| <b>Capacidad para acometer un enjambre:</b>   | Enjambres de hasta 3 UAS    |
| <b>Tipo de seguimiento:</b>                   | En tiempo real              |
| <b>Capacidad de seguimiento:</b>              | +100 UAS                    |

Tabla 20. Prestaciones actuales del sistema SIGLO-CD. Fuente: elaboración propia

5.2. Subsistema de vigilancia, control y Coordinación aéreo en el entorno UAS LSS. SUCCAUL. Contribución de la Conciencia Situacional para la capa baja.

Al igual que sucede con el sistema ATM convencional, el sistema global para la gestión y el control del tráfico de UAS requerirá de unos servicios CNS adecuados y suficientes para suministrar apoyo en las tareas de desarrollo, gestión y control de la operación de UAS.

Para ello, los servicios tienen que dar soporte a todas las comunicaciones que conforman el sistema global, a la navegación de los UAS, a través del conocimiento de la posición de las aeronaves en todo momento, y a la vigilancia del sistema, para garantizar que se cumplen las autorizaciones concedidas a cada vuelo y se respetan las condiciones y limitaciones de cada espacio aéreo.

El problema es que las soluciones CNS convencionales no siempre son válidas para su uso por parte de los UAS, por lo que se debe recurrir a soluciones alternativas cuyas prestaciones serán clave para el acceso y la integración de los UAS al espacio aéreo, la implementación de sistemas automáticos de detección de UAS o la aplicación de inteligencia artificial para la detección de patrones de comportamiento malicioso o enjambres.

Asimismo, estas prestaciones determinarán la capacidad del espacio aéreo. Se establecerán unos requisitos mínimos cuyo cumplimiento garantizará la seguridad de las operaciones de UAS.

En función del tipo de espacio aéreo, los requisitos mínimos exigidos podrán ser más o menos estrictos.

Actualmente, las FAS no disponen de una capacidad integral que permita prevenir, detectar, identificar, decidir y, en su caso, neutralizar los UAS LSS que, operando fuera de la cobertura del Sistema de Defensa Aérea, sean empleados de forma hostil o imprudente contra las unidades desplegadas en ejercicios o instalaciones militares, en territorio nacional. La solución propuesta, siempre dentro de territorio nacional, consiste en la implementación de un **Subsistema de Vigilancia, Control y Coordinación Aéreo en el entorno UAS LSS, comúnmente llamado SUCCAUL**, a partir de la integración, análisis y procesado de todos los datos disponibles procedentes de los diversos actores con responsabilidad en este ámbito, ya sea de sistemas de control y gestión del tráfico (ENAIRE), de Protección Civil (SIGLO-CD) o de Protección de la Fuerza (sistemas C-UAS de las FAS), con el objeto de detectar en tiempo real tráfico UAS que pudiera suponer una amenaza a la seguridad y emitir las alertas y recomendaciones de actuación correspondientes.

Para ello, se deben conectar los sistemas C-UAS LSS de las FAS, FCSE y otras entidades externas, así como por los sistemas civiles de gestión (U-SPACE).

Este sistema se asociará al Sistema de Vigilancia y Control Aéreo y se integrará de forma gradual y progresiva en función de la evolución tecnológica. La gestión integrada del espacio aéreo aporta importantes

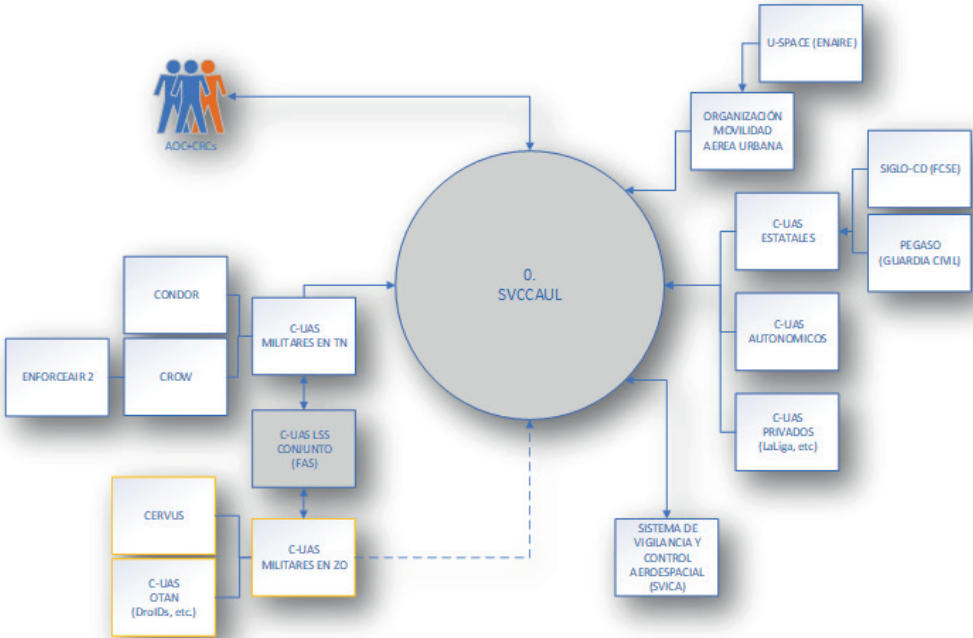


Figura 27.. Arquitectura SUCCAUL. Fuente: elaboración propia

beneficios en la defensa C-UAS-LSS. Proporciona alerta temprana ante amenazas aumentando el tiempo mínimo disponible de reacción para proteger al personal y material, reduciendo los posibles daños y mejorando el ciclo de decisión propio frente al adversario.

Asimismo, permite el empleo coordinado de UAS-LSS amigos en la zona, evitando interferencias entre los diferentes sistemas y que se produzcan incidentes de fuego amigo.

Es necesario integrar la información proporcionada por los sistemas civiles de gestión del tráfico de UAS-LSS, con el objetivo de discriminar los tráficos colaborativos de los que puedan constituir una amenaza, para generar una RLP de muy baja cota lo más completa posible.

El empleo de herramientas de inteligencia artificial permitirá detectar patrones, generar alertas, recomendar medidas de protección inmediata del personal e instalaciones y el medio de neutralización más apropiado para cada situación.

El grado de integración dependerá de los acuerdos que se establezcan y de la interoperabilidad entre los sistemas C2 de las organizaciones involucradas. SUCCAUL recibirá información de los sistemas de detección activos y pasivos, así como de fuentes externas disponibles (civiles, OTAN, UE, FAS, etc.) para procesarla y difundirla en forma de servicios o productos elaborados.

Algunos de los sistemas con los que tendría que interoperar son los siguientes:

- **SISTEMAS C-UAS DE LAS FAS EN TERRITORIO NACIONAL:** actualmente existen sistemas C-UAS adquiridos por el EA, como el sistema CROW<sup>88</sup> o el ENFORCE AIR 2<sup>89</sup>, ambos operados por el EADA, que deberán interoperar con SUCCAUL cuando éste se encuentre disponible.

Asimismo, se encuentra en pleno proceso de obtención el programa "SISTEMAS CONTRA UAS (C-UAS)", concretamente en fase DDV (Documento de Viabilidad). Dicho programa dará una solución conjunta C-UAS a las Fuerzas Armadas, teniendo en consideración sistemas primarios (incluyendo la variante naval), sistemas móviles o transportables y sistemas portátiles.

- **CONDOR:** la DGAM inició en febrero de 2018 una prospectiva de mercado de sistemas C-UAS LSS desde su vertiente de innovación denominada Proyecto CONDOR<sup>90</sup>, que nace como consecuencia de las lecciones aprendidas del Proyecto RAPAZ<sup>91</sup> y tiene como objetivo el análisis y evaluación de diferentes tecnologías C-UAS LSS disponibles en el mercado para su aplicación en el campo militar.

- **PLATAFORMA U-SPACE DE ENAIRE (CISP):** ENAIRE, como proveedor de servicio de información común, tiene la responsabilidad de poner a disposición y facilitar el intercambio de información común de la Autoridad Competente y USSP con los clientes.

Los servicios que proporcionará a través de su plataforma fueron descritos en el punto 2.4 Concepto U-Space:

- **SIGLO-CD (Sistema Global Contra Drones):** como se ha comentado anteriormente, es una red integral de sistemas C-UAS, basada en equipamiento específicamente diseñado para la prevención y protección de los ciudadanos. En su despliegue se han instalado diversas unidades detectoras de largo alcance y equipos de neutralización, mediante perturbación de señal.
- **Guardia CIVIL (PEGASO<sup>92</sup>),** Policía Especialista en Gestión Aeronáutica y de Seguridad Operacional): se trata de un grupo funcional con los cometidos de control, inspección, confección de denuncias, elaboración de informes y asesoramiento a otras Unidades, en todo lo relacionado con la normativa de Aviación Civil, así como los usos de los sistemas UAS. Disponer de equipos detectores de drones que generan alarmas de vuelos en las zonas en las que se encuentran desplegados.
- **Otros sistemas C-UAS autonómicos:** allí donde no se implemente SIGLO-CD tendrán que establecerse acuerdos de cooperación para la interoperabilidad de los sistemas C-UAS que cada Comunidad Autónoma emplee y SUCCAUL, para una mayor protección del territorio.

Se hace necesario diseñar sistemas más automatizados y migrar del ciclo de *human in the loop* al de *human on the loop*, es decir, pasar de un sistema semiautónomo a uno supervisado, donde el software de mando y control (C2) sea capaz de integrar la detección, la identificación y la neutralización, para finalmente tomar la decisión más adecuada.

No debemos olvidar que toda la actividad C-UAS tiene que ser considerada como una parte más de la defensa aérea integral, capaz de proteger nuestras instalaciones de cualquier amenaza proveniente, no sólo de las capas aéreas más bajas, sino también llegar a las más altas. Y todo ello

88. <https://www.indracompany.com/es/anti-drone-system>

89. <https://d-fendsolutions.com/es/enforceair-2/>

90. <https://www.tecnologiaeinnovacion.defensa.gob.es/es-es/Contenido/Paginas/detalleiniciativa.aspx?iniciativaID=329>

91. <https://www.tecnologiaeinnovacion.defensa.gob.es/es-es/Contenido/Paginas/detalleiniciativa.aspx?iniciativaID=227>

92. <https://especialidadesguardiacivil.es/equipo-pegaso-guardia-civil/>



sin dejar de comunicarse o interoperar con los sistemas de armas que nos protegen de las amenazas de superficie, ya que estos drones pueden ser utilizados como distracción de un ataque principal o para saturar nuestras defensas aéreas.

Sólo así se tendrá la suficiente preparación para hacer frente a las amenazas actuales y futuras, concebidas en las tres dimensiones.

Toda esta evolución de los sistemas C-UAS debe ir en línea con el programa SUCCAUL, que integrará a todos los sistemas C-UAS de las Fuerzas Armadas, pudiendo compartir trazas e información entre ellos.

Del mismo modo y de forma colaborativa, SUCCAUL llegará a interoperar con el sistema SIGLO-CD de las FCSE, U-Space

de la UE y otros desarrollos que pudieran ser de interés para la vigilancia y control del espacio aéreo español en su capa más baja, implementando estándares de interoperabilidad comunes entre todos.

En definitiva, SUCCAUL permitiría adaptar y complementar el sistema de defensa aérea para que sea capaz de enfrentarse a la amenaza UAS, tal y como establece el Consejo de Seguridad Nacional en su documento "Drones y Seguridad Nacional, un estudio multidimensional<sup>93</sup>".

De este modo, dispondremos de una defensa más efectiva contra estos pequeños dispositivos aéreos que, con el propósito de realizar todo tipo de acciones maliciosas, no dejarán de evolucionar.

## CONCLUSIONES

Se ha expuesto el modelo de gestión de tránsito aéreo ATM y se ha contrastado con la iniciativa U-Space y el papel de ENAIRE como CIS-Provider, dentro de la implantación del concepto U-Space. Se ha descrito el gran reto de la seguridad que tiene el uso de los UAS cuando haya numerosos vuelos.

Se han identificado todos los actores que podrán operar un UAS, Ministerio del Interior (sistema de gestión de UAS denominado Siglo-CD), Ministerio de Defensa, operadores civiles, etc. y el SUCCAUL, sistema de supervisión central de UAS y las diferencias de este sistema, en cuanto a su alcance y objetivo, con el Sistema de Mando y Control Aéreo de los Centros de Mando del EA.

Está claro que este nuevo mundo de los UAS LSS ha traído una época de incertidumbre e inseguridad debido a su velocidad de crecimiento y desarrollo tecnológico.

Las especiales características de los UAS LSS los hacen en muchas ocasiones casi invisibles para nuestros sistemas, pudiendo acceder a nuestras unidades, instalaciones y personal por sorpresa, y por ello se debe ser extremadamente cautelosos con este problema.

El elemento crítico en esta cadena debe ser la detección y por tanto ha de ser la cuestión clave en esta capacidad de los sistemas C-UAS. Sin una detección fiable no se pueden activar todos los procedimientos, sistemas y organizaciones de C-UAS establecidos, y seguiríamos siendo vulnerables frente a esta amenaza.

Por lo tanto, no hay otra solución que seguir trabajando en equipo con todo tipo de socios industriales y partes interesadas, buscando la colaboración, la cooperación y la coordinación para resolver todas las lagunas de seguridad que se puedan encontrar en este ámbito.

Aunque estos UAS LSS son pequeños, es evidente que pueden crear grandes problemas y dificultades y suponen una amenaza real y un reto que no se puede despreciar.

El EA es responsable de proporcionar protección en el dominio aéreo, incluida la capa de baja altitud, pero todos los ejércitos y la Armada tienen el reto de integrarlo en sus operaciones. Esta tarea nunca ha sido fácil, y a ello hay que sumar ahora esta nueva amenaza. Es un reto que se debe afrontar con profesionalidad, compromiso y optimismo.

En resumen, en las Fuerzas Armadas, ante esta responsabilidad, se están desarrollando eficazmente sus actuales capacidad C-UAS y sus planes para mantenerla actualizada con el objetivo de integrarla en el sistema de vigilancia y control aéreo, al tiempo que mejora la coordinación y el control de todos los sistemas C-UAS nacionales.

93. <https://www.dsn.gob.es/sites/dsn/files/Drones%20y%20Seguridad%20Nacional%20ACCESIBLE.pdf>

# REFERENCIAS

1. Briones Valero, H. A. y Remis González, J. M. (2024). El Ejército del Aire y del Espacio, a la vanguardia de la defensa C-sUAS. Revista de Aeronáutica y Astronáutica, n° 929, 87.  
[https://publicaciones.defensa.gob.es/media/downloadable/files/links/r/a/raa\\_929.pdf](https://publicaciones.defensa.gob.es/media/downloadable/files/links/r/a/raa_929.pdf)
2. VV. AA. (s.f.). Dossier XXX Seminario Internacional de la Cátedra Kindelán. Counter-UAS. Revista de Aeronáutica y Astronáutica n° 911, 269. Abril 2022.  
<https://publicaciones.defensa.gob.es/revista-de-aeronautica-y-astronautica-911-revistas-papel.html>
3. Departamento de Seguridad Nacional (2023). Drones y Seguridad Nacional - Un estudio multidimensional 2023.  
<https://www.dsn.gob.es/sites/default/files/documents/Accesible%20GT%20Drones%20y%20SN.pdf>
4. Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible (s. f.). Plan de Acción Nacional para el despliegue del U-Space. 2022-2025. Segunda edición.  
[https://cdn.transportes.gob.es/portal-web-drupal/aviacion/plan\\_de\\_despliegue\\_u-space\\_v2.pdf](https://cdn.transportes.gob.es/portal-web-drupal/aviacion/plan_de_despliegue_u-space_v2.pdf)
5. Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible (s. f.). Plan Estratégico para el desarrollo del sector civil de los drones en España 2018-2021  
<https://www.transportes.gob.es/el-ministerio/planes-estrategicos/drones-espania-2018-2021>
6. Ministerio de Vivienda y Agenda Urbana. (s. f.). Estrategia de Movilidad Segura, Sostenible y Conectada 2030 (es.movilidad)  
<https://www.mivau.gob.es/areas-de-actividad/arquitectura-vivienda-y-suelo/urbanismo-y-politica-de-suelo/urbanismo-y-sostenibilidad-urbana/estrategia-espana%CC%83ola-de-movilidad-sostenible-eems>
7. ENAIRE (s. f.). Estrategia Europea de Drones.  
<https://www.enaire.es/servicios/drones>
8. European Commission (2022). *A Drone Strategy 2.0 for a smart and sustainable unmanned Aircraft Eco-System in Europe*. SWD(2022) 366.  
[https://transport.ec.europa.eu/document/download/1cb5fb4f-4252-4f97-abf4-c4a167b1c7d2\\_en?filename=COM\\_2022\\_652\\_drone\\_strategy\\_2.0.pdf](https://transport.ec.europa.eu/document/download/1cb5fb4f-4252-4f97-abf4-c4a167b1c7d2_en?filename=COM_2022_652_drone_strategy_2.0.pdf)
9. DronePort, E. (2023). U-Space: Una visión general integral de la infraestructura. EU Drone PortTM<sub>EU</sub>  
<https://eudroneport.com/es/blog/u-space-una-vision-general-integral-de-la-infraestructura/>
10. SESAR JOINT UNDERTAKING (s. f.). El futuro del transporte aéreo.  
[https://www.sesarju.eu/sites/default/files/documents/reports/magazinecitizens\\_ES\\_web.pdf](https://www.sesarju.eu/sites/default/files/documents/reports/magazinecitizens_ES_web.pdf)
11. ENAIRE (s.f.). Cielo único europeo.  
[https://www.enaire.es/sobre\\_enaire/presencia\\_internacional/cielo\\_unico\\_europeo](https://www.enaire.es/sobre_enaire/presencia_internacional/cielo_unico_europeo)
12. ENAIRE (s.f.) Sistemas CNS-ATM.  
[https://www.enaire.es/servicios/productos\\_y\\_servicios\\_comerciales/sistemas\\_cns-atm](https://www.enaire.es/servicios/productos_y_servicios_comerciales/sistemas_cns-atm)
13. Union Europea (2019). DOUE-L-2019-81002 Reglamento Delegado (UE) 2019/945 de la Comisión, de 12 de marzo de 2019, sobre los sistemas de aeronaves no tripuladas y los operadores de terceros países de sistemas de aeronaves no tripuladas.  
<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2019-81002>
14. Ministerio de la Presidencia, Justicia y Relaciones con las Cortes (2024). BOE-A-2024-11377 Real Decreto 517/2024, de 4 de junio, por el que se desarrolla el régimen jurídico para la utilización civil de sistemas de aeronaves no tripuladas (UAS).  
[https://www.boe.es/diario\\_boe/txt.php?id=BOE-A-2024-11377](https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2024-11377)
15. Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible. (s. f.). Concepto U-Space  
<https://www.transportes.gob.es/aviacion-civil/politica-espacio-aereo/portal-para-la-coordinacion-del-u-space-en-espana/concepto-uspace>
16. SESAR Joint Undertaking (s. f.). *Concept of Operations for European UTM Systems - CORUS*.  
<https://www.sesarju.eu/projects/corus>
17. EASA. (s. f.). *Urban Air Mobility (UAM)*.  
<https://www.easa.europa.eu/en/domains/drones-air-mobility/drones-air-mobility-landscape/urban-air-mobility-uam>

# BIOGRAFIAS



## ANDREA IGLESIAS BROCOS

Jefa del Área CIS Aérea y Naval de la Dirección de Tecnologías para Defensa y Seguridad en ISDEFE.

Ingeniera de Telecomunicación por la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación de la Universidad de Vigo con especialidad en Comunicaciones y en posesión del DEA (Diploma de Estudios Avanzados) de dicha escuela; máster en Paz, Seguridad y Defensa por el Instituto Universitario General Gutiérrez Mellado y especialista universitaria en Inteligencia por dicho Instituto.



Previo a su andadura isdefeña Andrea comenzó su trayectoria profesional como ingeniería de radio en NEO-SKY 2002, S.A. -actual MAS MOVIL- llegando a ocupar el puesto de gerente de cliente. A principios del año 2006 cambio de registro y trabajó como secretaria técnica de FENIE (Federación Española de empresas de telecomunicaciones y energía).

Miembro del Grupo de Defensa y Seguridad del Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación. En diciembre de 2013 fue una de las coautoras del informe "Telecomunicaciones Militares para el Despliegue de Fuerzas en Misiones Humanitarias y de Mantenimiento de la Paz" editado por el COIT.

## ISMAEL LÓPEZ MÁRQUEZ

Ingeniero informático por la Universidad Pontificia Comillas (ICAI). Certificado en Gestión de Proyectos PMP y PRINCE2 Practitioner, así como en *Ethical Hacking* (CEH) entre otros.

Comenzó su carrera profesional en Isdefe en el año 2005 con el programa de I+D para el Mando y Control de Operaciones Anfibias (SMCOA). Fue premiado por el Centro de investigación y Desarrollo de la Armada (CIDA) por los proyectos diseñados en este ámbito.



Posteriormente fue responsable de la coordinación de los trabajos de virtualización del Sistema de Mando y Control del Ejército de Tierra (SIMACET v5). También desarrolló, durante 6 años, tareas de asesoramiento a la representación nacional del Comité Director de BMD (*Ballistic Missile Defense*) de la OTAN. A continuación, se encargó del análisis y definición del nuevo Sistema de Mando y Control para la Gestión de Emergencias (SIMGE) en la UME (Unidad Militar de Emergencias).

Actualmente, desarrolla su actividad en el Estado Mayor del Ejército del Aire y el Espacio, concretamente en la sección de Mando y Control. Aquí se encarga de la coordinación de distintos programas de Mando y Control entre los que se encuentra la obtención del programa SUCCAUL, el apoyo a la División de Operaciones del EMA para sistemas UAS y C-UAS y la coordinación de la implementación de sistemas relacionados en el programa BACSI (Base Aérea Conectada, Sostenible e Inteligente).





# UAS militares

## Tendencias actuales y nuevos retos

Diego Bueno Pérez  
José María Sanz Nogales

“Recientemente hemos completado la primera parte del proyecto de formación de pilotos de UAV; en este tiempo se ha formado a 10.000 pilotos. Es decir, el Ejército de los Drones trata del desarrollo integral del sector de los UAV, tanto desde el punto de vista de la producción como de su uso.”

Mykhailo Fedorov, ministro ucraniano de Transformación Digital.

En la introducción histórica sobre el empleo de los UAS militares, se ha podido observar que estos sistemas no aportaron un valor significativo ni supusieron un gran avance en capacidades hasta la guerra de Vietnam. Desde su empleo en dicha guerra, y posteriormente, en los conflictos árabes-israelíes, han ido ganando importancia en las operaciones.

Se trata ahora de extraer las principales lecciones aprendidas sobre el uso de estos sistemas en los conflictos más recientes de este siglo XXI, en las que se han ido empleando cada vez con más intensidad.

Se repasará el cambio de protagonismo desde la irrupción de los grandes sistemas estratégicos de principio de siglo, hacia sistemas de pequeño tamaño, de uso individual o en unidades tipo compañía o subgrupo táctico, con especial mención a los drones comerciales letalizados, la mayoría artesanales, cuyo uso comenzó en Siria y se intensificó a partir del año 2023 en la guerra de Ucrania, con la evolución a los sistemas FPV o de visión en primera persona.

A continuación, se tratarán dos temas recientes, pero de gran importancia para el sector de los UAS militares.

El primero es la tendencia actual a priorizar la necesidad de grandes cantidades de sistemas “sacrificables”, del inglés *attritable* en vez de pocos sistemas de alta calidad. Se está comprobando en los programas del Departamento de Defensa norteamericano como la iniciativa *Replicator*.

El segundo tema trata de cómo la inteligencia artificial y las últimas tendencias en procesamiento a bordo están expandiendo las capacidades y las funcionalidades de los UAS militares, hasta poder vislumbrarse un futuro a corto plazo en donde muchas tareas de planificación del vuelo y de guiado podrían ser realizadas de forma completamente autónoma.

Acabará el capítulo con unas reflexiones hacia donde se prevé que vaya la evolución de esta sinergia entre los UAS y la inteligencia artificial, aunque, como se está comprobando diariamente, la realidad supera muchas veces cualquier tipo de previsión, y la innovación tecnológica va, en innumerables ocasiones, muy por delante de nuestra capacidad de predecirla.





# 1. TENDENCIAS ACTUALES. LECCIONES APRENDIDAS DE LOS CONFLICTOS RECIENTES

## 1.1. Lecciones aprendidas de la guerra del Nagorno Karabaj (2020)

El conflicto de Nagorno Karabaj fue un enfrentamiento breve en el tiempo, pero con unas consecuencias que aún se están analizando, por la importancia que tuvo en su desenlace el empleo de UAS militares.

En esta guerra, en el año 2020, se enfrentaron el pequeño y moderno ejército azerí (apoyado en parte por Turquía y disponiendo de sistemas de origen israelí) frente al más grande y anticuado ejército armenio, con el apoyo y la mayoría de los componentes materiales de origen ruso.

Las pérdidas armenias fueron cuantiosas, en especial vehículos y sistemas de defensa aérea y fueron debidas sobre todo a los sistemas UAS de ataque, a munición merodeadora, y a los UAS ISR como sensores para transmitir la posición de los objetivos a la artillería de precisión.



Imagen 65. Munición merodeadora IAI HAPSY. UAS de ataque de un sólo uso OWA (One Way Attack), usada en Nagorno Karabaj. Fuente: Wikipedia. Autor Julian Herzog. Creative Commons 4.0

Este conflicto supuso el primer toque de atención sobre el advenimiento del empleo masivo de UAS militares tácticos y de pequeño tamaño y su papel decisivo a partir de entonces en las operaciones bélicas.

A raíz de ello, algunos analistas militares (*The Principles of War*, 2021) enumeraron una serie de lecciones aprendidas

preliminares, ante la sorprendente efectividad de los UAS usados mayoritariamente por Azerbaiyán:

1. **Vulnerabilidad en terreno abierto de las unidades blindadas, infantería y artillería remolcada.** Los sistemas de vigilancia con imágenes térmicas, especialmente durante la noche, permiten a los UAS proporcionar ISR en áreas extensas. Esto ha llevado a algunas fuerzas a preferir operar en entornos urbanos, donde el terreno complejo les permite mantenerse por debajo del umbral de detección y reducir el tiempo necesario para recuperar la cobertura de edificios.
2. **Importancia de la guerra electrónica (EW).** La batalla en el espectro electromagnético se vuelve cada vez más crucial. Tanto desde el punto de vista de sistemas de EW embarcados en UAS como el empleo de estos medios para contrarrestarlos.
3. **Coordinación entre UAS y fuerzas de maniobra.** La comunicación y coordinación efectiva entre los UAS y las fuerzas terrestres son fundamentales para mejorar el apoyo aéreo cercano a las tropas en contacto.
4. **Replanteamiento de la defensa aérea.** Se requiere un esfuerzo significativo para desarrollar redes de defensa aérea capaces de prevenir ataques de UAS, ya que las defensas aéreas clásicas resultan ineficaces. Se requieren sistemas Contra-UAS eficaces.
5. **Desafíos logísticos.** Aparece la necesidad urgente de desarrollar un nivel adecuado de protección contra UAV en las zonas de retaguardia, donde se concentran los almacenes logísticos que surten los batallones y las brigadas desplegadas en primera línea.
6. **Necesidad de desarrollo de sistemas Contra-UAS** a todos los niveles, incluida la protección a nivel compañía o pelotón.
7. **UAS en la guerra de engaño.** Sobre todo, en misiones de saturación de defensas aéreas AD enemigas y supresión de estas (SEAD). Con un doble objetivo, reducir los arsenales de medios (misiles AA) del enemigo y descubrir la posición exacta de sus efectores.
8. **Potenciación de los fuegos de contrabatería y profundidad.** Los UAS mejoran la capacidad de atacar sistemas de artillería enemiga, al descubrir desde el aire las bocas y los lanzadores de misiles enemigos en el momento del lanzamiento.
9. **Se plantea en algunos foros el fin del apoyo aéreo cercano tradicional.** Los UAS son económicos de adquirir y mantener, y sobre todo, no incluyen personal



a bordo. Su entrenamiento conlleva menos inversión en comparación con los pilotos que realizan apoyo aéreo cercano. Esto podría llevar a que, en algunas naciones, los UAS compongan la principal herramienta para apoyo aéreo cercano, en detrimento de los helicópteros de ataque tradicionales.

#### 10. Implicaciones para el dominio de la información.

Las operaciones con UAS proporcionan contenido valioso para campañas de operaciones informativas. Por ejemplo, el gobierno de Azerbaiyán utilizó videos de ataques exitosos para reforzar la narrativa de que estaban ganando la guerra, lo que debilitó la moral de las fuerzas armenias al mostrar su incapacidad para esconderse, defenderse o contraatacar contra los UAV azerbaiyanos.

### 1.2. Primeras lecciones de la Invasión rusa de Ucrania. 2022

Desde el comienzo de la invasión, en febrero de 2022, han sido muchos los análisis publicados sobre la evolución del conflicto y el creciente empleo de los UAS.

Los principales aspectos que se destacan son los siguientes:

#### **Interoperabilidad. Uso de drones y redes de mando y control en la guerra de Ucrania.**

Como ya se ha comentado, una de las claves del éxito en el empleo de pequeños drones por parte de las fuerzas ucranianas es la integración de la información que aportan sus sensores en las redes de mando y control y la interoperabilidad de la información obtenida con puestos de mando avanzados y sistemas de gestión del campo de batalla.

Los UAS portan sensores y los sensores proporcionan cantidades ingentes de datos, que, convenientemente procesados, producen valiosa información. Disponer de esa información actualizada proporciona una enorme ventaja operativa en los enfrentamientos.

Las redes de mando y control se ramifican hasta nivel combatiente, basadas en sencillas aplicaciones para tabletas o móviles, y permiten compartir en tiempo casi real la posición de objetivos visualizados mediante todo tipo de sensores en drones o cámaras, así como por parte de los combatientes o incluso, y es una de las novedades de esta guerra, la población civil.

Un ejemplo de estas redes es la denominada Delta, que es una herramienta enmarcada en el concepto de operación

*Network Centric Warfare* – Guerra en Red, desarrollado en USA en los años 90, y que hace uso de los elementos más innovadores de la “edad de la información” actual, en particular, la telefonía móvil y las redes privadas de satélites comerciales de comunicaciones.

Cabe mencionar aquí la labor que, desde el ministerio de innovación, desarrollo de la educación, ciencia, tecnología y transformación digital de Ucrania, realiza su responsable, Mykhailo Fedorov<sup>94</sup>.

Desde esa oficina se está apoyando tecnológicamente la defensa de Ucrania, ya sea con iniciativas como *Army of Drones*, dedicados a incentivar la fabricación de UAS para el combate, desarrollos de redes de comunicaciones novedosas, sistemas de detección de UAS basados en telefonía móvil, uso de Inteligencia Artificial para combatir la desinformación, etc.

#### **Cambios de paradigma en el combate. Nuevos conceptos en logística, nuevas doctrinas.**

Otro de los aspectos que las lecciones de este conflicto obligan a revisar, son los conceptos de operación en la cadena de aprovisionamiento y despliegues logísticos.

Podría parecer que, ante la inoperancia de la fuerza aérea enemiga, fuera seguro establecer a unos 10 o 15 km del frente una base logística relativamente camuflada, o un área de municionamiento y aprovisionamiento de combustible a cubierto, pero no está siendo el caso.

En este conflicto, los sistemas no tripulados forman una red de miles de ojos en el cielo, capaces de enviar en tiempo casi real la posición de vehículos enemigos aun cuando se encuentren muy alejados de la línea de contacto. Estos UAS son tan pequeños y pueden volar tan bajo que pasan entre los árboles y avanzan kilómetros en territorio enemigo sin que sean muchos de ellos detectados y neutralizados, y consiguen explorar áreas de la retaguardia donde se suponía que se estaba a cubierto.

Con estas herramientas, nada parece pasar desapercibido para ambos bandos, por lo menos en una amplia franja a ambos lados de la línea de contacto.

Aparece un concepto militar que integra sistemas de reconocimiento avanzados, como los UAS, con sistemas de artillería y ataque de precisión, y es conocido como *Reconnaissance-Strike Complex* (RSC).

94. <https://www.kmu.gov.ua/en/profile/mikhaylo-fedorov>

Su objetivo es reducir el tiempo entre la detección del objetivo y su neutralización (*kill-chain*), permitiendo un ciclo de ataque altamente automatizado y eficiente.

El RSC se basa en una red de sensores, inteligencia artificial y enlaces de comunicación en tiempo real que permiten a las fuerzas militares identificar, rastrear y atacar objetivos con una rapidez y precisión sin precedentes. Este sistema se apoya principalmente en UAS small y tácticos (los rusos emplean el Orlan 10) para proporcionar vigilancia persistente y guía de fuego de artillería en tiempo real.

Hasta aquí las ventajas de los UAS, pero también es necesario mencionar las limitaciones del empleo de estos sistemas en el campo de batalla, que las hay y son numerosas, como se verán a continuación.

### Limitaciones en el empleo de los UAS de pequeño tamaño.

Se han nombrado las ventajas del empleo masivo, sin importar grandes pérdidas, de estos pequeños UAS, pero también tiene importantes inconvenientes o limitaciones que hay que conocer y tener en cuenta, y que se pueden resumir en los siguientes puntos:

- Cuando en una zona pequeña del frente se encuentran desplegados cientos de sistemas de cada contendiente, es necesario realizar una **labor extra de verificación (lo que en inglés se llama deconflict) para poder distinguir cuáles son los del enemigo**, y así tratar de reducir las pérdidas propias, si se emplean medios C-UAS.
- Se está dependiendo, en muchas capacidades, de unos sistemas de los cuales **los países occidentales no tienen control sobre la fabricación de sus componentes**, y su suministro depende de terceros países (China, sobre todo) y de las líneas internacionales de transporte y comercio.
- Se están obteniendo **lecciones aprendidas, prácticamente de un solo conflicto, la guerra de Ucrania**, con sus condicionantes geográficos, políticos, climatológicos, etc. Estas lecciones pueden que no sean extrapolables a otros posibles futuros conflictos como una guerra en el Pacífico, en el desierto o en zonas polares, o entre países con menores diferencias en capacidad militar que en el caso de Ucrania y Rusia.
- Es complicado que, mediante la innovación y la inversión en tecnología, un bando saque una ventaja estratégica duradera, ya que **es relativamente sencillo extraer mediante ingeniería inversa las innovaciones** de cualquier sistema perdido o capturado por el enemigo.

- Aunque son sistemas no tripulados, su éxito depende casi por completo de las **habilidades, experiencia y buen hacer de los operadores humanos**, y el acceso de estos a comunicaciones y datos en tiempo real.
- Los UAS de pequeño tamaño son **mucho más vulnerables a las condiciones climatológicas que los sistemas de tamaño grande o mediano**. Esto los hace incapaces de volar con lluvia intensa o fuerte viento. La menor calidad de sus cámaras también los hace muy vulnerables a la presencia de niebla o humo en el área. Por lo que puede ocurrir que el campo de batalla sólo sea transparente cuando hace buen tiempo.
- Este tipo de UAS derivados de equipos comerciales **carecen muchas veces de la resistencia a contramedidas o la resiliencia necesaria para superar acciones de guerra electrónica del enemigo**. En algunos casos se protegen frente a la pérdida de señal GNSS e incluso a interferencias en el control, aumentando su coste y complejidad, pero aun así pueden seguir siendo vulnerables al *"hacking"* o suplantación del control por otro operador, y a los ciberataques.

## 1.3. Análisis sobre el uso de UAS en la guerra de Gaza. 2023

La guerra de Gaza es otro conflicto reciente con presencia de UAS que se ha desarrollado en Oriente Próximo.

El conflicto se inició el 7 de octubre de 2023 con el ataque terrorista a territorio israelí del grupo palestino Hamas, apoyado y armado por Irán, y que se desencadenó en varios frentes: la operación militar israelí en la franja de Gaza, los enfrentamientos en el sur del Líbano entre Israel y los milicianos, también apoyados por Irán, de Hezbolá, el intercambio de misiles y UAS entre Israel e Irán y las acciones de los grupos milicianos hutíes en Yemen, contra el tráfico marítimo comercial en el estrecho de Bab el-Mandeb y el Mar Rojo.

En el mencionado ataque terrorista de Hamas, los milicianos golpearon las complejas y modernas infraestructuras de seguridad de Israel, que controlaban el acceso a su territorio desde la franja de Gaza (supuestamente una de las fronteras más vigiladas y protegidas del planeta), mediante drones que lanzaron explosivos sobre las cámaras, radares y demás sensores, que estaban colocados en postes elevados y protegidos sólo en su parte inferior, teniendo toda la parte superior al descubierto.

Es, por lo tanto, una de las primeras demostraciones de lo que los expertos llevan advirtiéndolo desde hace tiempo: el acceso incontrolado de los grupos terroristas y organizaciones criminales a esta tecnología, y su empleo masivo como herramienta de terror y desestabilización.

Aunque el aspecto más innovador en este enfrentamiento es el extenso uso que se está haciendo por parte de Israel de las herramientas de inteligencia artificial, aplicadas al reconocimiento facial y a la vigilancia biométrica, a la

generación de potenciales objetivos y al empleo de sistemas de armas autónomos (LAWS, *Lethal Autonomous Weapons Systems*) y semi-autónomos (semi-LAWS).

El objetivo final del empleo de estas herramientas de IA es acortar lo que los militares estadounidenses denominan S2S (*Sensor-to-Shooter timeline*), o tiempo que transcurre desde que se identifica un objetivo con un sensor hasta que se le abate con un efector.



Imagen 66. UAS SMALL Shield AI V-BAT preparándose para despegar desde el USS Michael Monsoor (DDG 1001)  
Fuente: U.S. Navy photo by Mass Communication Specialist 3rd Class Megan Alexander. Dominio público



## 2. CANTIDAD O CALIDAD. SOLUCIONES E INICIATIVAS INNOVADORAS

### 2.1. Las cifras de la guerra de Ucrania

Palabras de Brandon Tseng, ex Navy SEAL y cofundador de la empresa Shield AI, inicialmente una empresa de software que ha ampliado su negocio con la adquisición de Martin UAV, fabricantes del sistema UAS V-BAT:

*Antes de 2001, en Estados Unidos todo eran plataformas tripuladas, muy caras y exquisitas, aviones de combate, helicópteros, de todo tipo. Después, de 2001 a 2020, aprendimos a luchar con drones. Y, desde 2020 hasta ahora, y durante los próximos 20 años, nos estamos moviendo hacia un mundo de drones inteligentes y asequibles.*

El número de unidades de UAS empleados en la guerra de Ucrania que se están publicando a través de crónicas periodísticas y de informes de los centros de investigación, como el RUSI<sup>95</sup> (*Royal United Services Institute for Defence and Security* – Instituto Real de Servicios Unidos para Defensa y Seguridad) o el CSS<sup>96</sup> (*Center for Security Studies* – Centro de Estudios de Seguridad), hacen ver que diariamente se emplean (y se pierden) varios miles de sistemas UAS FPV en ambos bandos.

No se tiene una información veraz y contrastada acerca de estadísticas de éxito, pero, teniendo en cuenta las pérdidas de vehículos, sistemas de armas e infraestructuras documentadas por fuentes abiertas<sup>97</sup> en ambos lados, se puede suponer que una buena parte de ellas es debida a estos sistemas.

Según la plataforma UNITED24 en X<sup>98</sup> (enero 2024), con relación a las pérdidas rusas: “Más del 50% de los equipos y del personal son destruidos por drones y el otro 50% son destruidos con ayuda de drones”.

95. <https://rusi.org/>

96. <https://css.ethz.ch/en/>

97. <https://www.oryxspioenkop.com/2022/02/attack-on-europe-documenting-equipment.html>

98. [https://x.com/U24\\_gov\\_ua/status/1745819871328313534](https://x.com/U24_gov_ua/status/1745819871328313534) “Drones save lives daily, as every day we watch the enemy movement and don't let them approach unnoticed. Over 50% of equipment and personnel are destroyed by drones, and the other 50% are destroyed with assistance from drones”

99. <https://www.diu.mil/replicator>

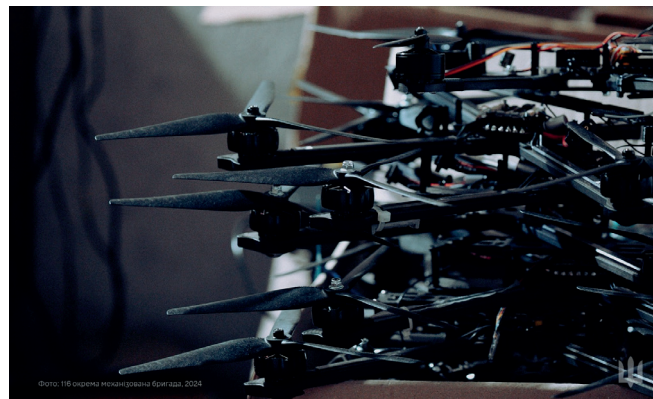


Imagen 67. Fabricación de drones OWA artesanales en Ucrania. Fotografía: web Flickr del Estado Mayor Ucrainiano. Permisos solicitados.

Estos datos demuestran, una vez más, esos cambios de concepto que se están mencionando en este capítulo y que consisten en pasar de un número reducido de sistemas complejos, y altamente capaces, a un número enorme de sistemas sencillos, baratos y de pequeño tamaño, donde la calidad viene dada por la cantidad o masa de maniobra.

Este cambio de tendencia que se está viendo en el conflicto de Ucrania, se está traduciendo rápidamente en algunos países occidentales en iniciativas industriales y de adquisición, como la más conocida iniciativa americana denominada *Replicator*.

### 2.2. La iniciativa Replicator

Como respuesta a este nuevo escenario impuesto en la guerra de Ucrania, y demostrando una gran capacidad de asumir las lecciones aprendidas de los recientes conflictos, el Departamento de Defensa norteamericano puso en marcha un plan en agosto de 2023 denominado iniciativa *Replicator*<sup>99</sup>.



Imagen 68. Imagen virtual del programa Replicator del Departamento de Defensa americano. Fuente: imagen generada por IA (Perplexity).



Esta iniciativa también viene motivada para contrarrestar el enorme esfuerzo tecnológico del ejército chino, sobre todo en aspectos como los conceptos A2/AD<sup>100</sup> (*Anti-Access; Area Denied*, Anti-Acceso y Denegación de Área), de defensa aérea y misiles antibuque, según el cual, en caso de conflicto en el área indo-pacífico, las pérdidas en cualquier acción ofensiva serían muy elevadas.

El proyecto se basa en acelerar al máximo la mejora en las capacidades de su ejército, a través de las innovaciones en sistemas de armas.

Para ello, se centra en eliminar los obstáculos sistémicos, en especial los burocráticos y administrativos, que son los cuellos de botella que impedían que las innovaciones y disrupciones de la industria de defensa llegaran a materializarse en equipamiento disponible, en el mínimo tiempo posible.

Es pues, una manera de mejorar y agilizar los procesos de adquisición y alinearlos con los avances tecnológicos de la industria y se focaliza en analizar la demanda y trasladarla inmediatamente al sector comercial, para que puedan dar una rápida respuesta a esas necesidades, usando para ello la tecnología más avanzada.

Las empresas comerciales, con esta información, pueden impulsar soluciones tecnológicas emergentes y dedicar esfuerzos de I+D que mejoren las capacidades militares, precisamente en los aspectos que se han identificado como críticos.

Como se ha comentado, la idea que subyace detrás, además de lo visto en escenarios europeos, es la preocupación por contrarrestar el esfuerzo militar que está desarrollando China en el área del Pacífico y contrarrestarlo con la última tecnología, plasmada en miles de sistemas no tripulados, baratos y sacrificables, para poder ser empleados en masa en ese teatro de operaciones.

Se entiende por “sacrificable” una plataforma sin tripulación lo suficientemente barata como para poder ser usada en misiones de alto riesgo asumiendo que se pierda en grandes cantidades, pero, a la vez, capaz de ser relevante y determinante en dichas misiones.

En resumen, las claves de los sistemas que persigue la iniciativa son:

- Sistemas sin tripulación y multidominio (terrestres, aéreos, marítimos y submarinos).
- Sencillez y precio asequible.
- Ciclos de desarrollo iterativo rápido.
- Producción en masa.

### 2.3. Otras iniciativas

Actualmente, los mayores programas de adquisición de UAS militares están centrados en la guerra de Ucrania y tienen como objetivo el obtener ingentes cantidades de estos sistemas para ambos contendientes.

En el lado ucraniano destaca *Army of Drones*<sup>101</sup> que es una iniciativa conjunta del Ministerio de Transformación Digital y la plataforma gubernamental de recaudación de fondos UNITED24<sup>102</sup>. Se puso en marcha en julio de 2022, y cuenta incluso con celebridades como el actor Mark Hamill como embajador y donante.

Se trata sobre todo de un programa de compra y donación de UAS comerciales, que pretende, según el propio presidente del país, que Ucrania cuente con un millón de estos sistemas en 2024.

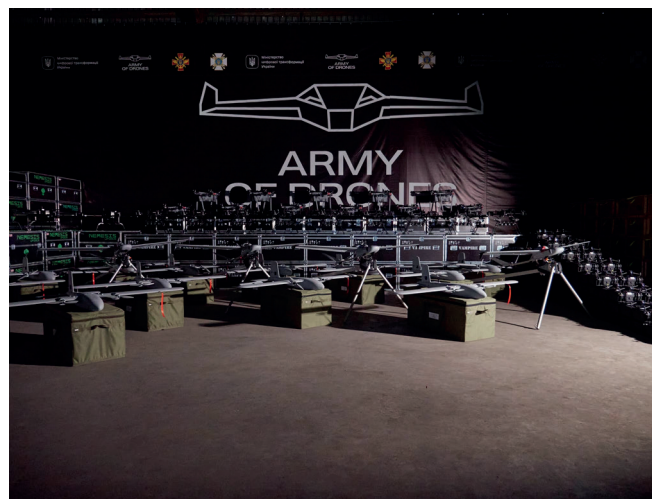


Imagen 69. Imágenes publicitarias de ARMY OF DRONES. Fuente: Facebook de Mykhailo Fedorov. Permisos solicitados

100. El término A2 (Anti-Accesso) significa la acción de dificultar u obstaculizar la proyección de fuerzas militares de otras naciones hacia un área determinada. Las medidas A2 comprenden cualquier acción realizada por un oponente que tenga el efecto de ralentizar el despliegue de fuerzas militares hacia un teatro de operaciones (TO).

El término AD (Denegación de Área) significa la acción de dificultar u obstaculizar la operación de otras naciones dentro de un área determinada. Las medidas AD abarcan cualquier acción que niegue las capacidades del oponente y su libertad de acción, proporcionando una ventaja decisiva en el TO a los niveles operacional y táctico.

101. <https://www.ukrainianworldcongress.org/united24/>

102. <https://u24.gov.ua/>

Además de *Army of Drones*, se cuentan con otras iniciativas de fabricación, también impulsadas por el Ministerio de Transformación Digital de Mykhailo Fedorov, como Brave1<sup>103</sup>, que no sólo se circunscribe al ámbito de los UAS, sino que abarca una gran variedad de sistemas tecnológicos de defensa, e incluye a empresas ucranianas y extranjeras, y que según el propio ministerio supone:

- Acceso a las empresas participantes en las innovaciones de defensa ucranianas con un procedimiento especial para socios extranjeros.
- Asociación y cooperación entre las partes interesadas de los sectores público y privado.
- Apoyo organizativo, acceso a lanzamientos, congresos, reuniones, subvenciones e inversiones.
- Participación en eventos de networking, demostraciones, jornadas técnicas, etc.
- Desarrollo y ensayo de tecnologías avanzadas ucranianas e internacionales.
- Oportunidades de inversión en el desarrollo de tecnologías de defensa ucranianas de vanguardia.

Por lo que respecta al lado ruso, se están desarrollando programas similares, más centralizados y enfocados a la fabricación artesanal por grupos de voluntarios de UAS FPV, además de impulsar la fabricación local de sistemas OWA bajo licencia, como los UAS iraníes Shahed (testigo) 131 y 136, denominados Geran 1 y 2 (geranio) en las fuerzas rusas.

Como se ha visto en este epígrafe, las lecciones aprendidas del conflicto de Ucrania sobre la importancia de la cantidad, el bajo coste y la inmediatez, empiezan a adaptarse en Occidente, siendo en el Departamento de Defensa americano y, en menor medida, en el británico, donde están teniendo más influencia en la planificación militar.

## 2.4. Soluciones innovadoras

Para contrarrestar la intensa presencia de la guerra electrónica en el frente, desde el lado ruso se desarrolló una innovadora solución técnica que sustituya los enlaces de radiofrecuencia por una conexión entre la estación de control y el UAV basada en una fibra óptica ligera, que se va desenrollando desde una bobina que se instala a bordo.

Inicialmente las bobinas de fibra permitían unos pocos kilómetros de alcance, pero en los sistemas que se han ido empleando en 2025 se ha ido aumentando a unas decenas

de kilómetros, llegando a confirmarse sistemas de hasta 40 km de alcance.

Estos FPVs controlados por fibra óptica han pasado de tener un uso anecdótico a principios de 2024 a convertirse en la gran mayoría de los sistemas de este tipo fabricados en 2025, por ambos contendientes.

Otra innovación en los conceptos de operación de los UAS en este conflicto han sido los sistemas de ataque a gran distancia, basadas en una gran variedad de sistemas UAS, tanto específicos de ataque como modificaciones de aviones comerciales radiocontrolados. Con estos sistemas Ucrania ha atacado objetivos en el interior de Rusia, llegando a superar los 1.000 km de alcance, aunque se desconoce la precisión lograda en el objetivo.

## 3. NUEVOS RETOS. EL EMPLEO DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL

### 3.1. La niebla de la guerra

La doctrina clásica de la “niebla de la guerra”, de Carl von Clausewitz describe la incertidumbre inherente en el campo de batalla, un factor que impacta de manera crítica en la toma de decisiones y en las operaciones militares.

En este apartado se examina si el empleo masivo de tecnologías como UAS, sensores e inteligencia artificial ha mitigado la niebla de la guerra o, por el contrario, ha contribuido a su espesamiento debido a la sobrecarga de información.

Mientras que algunos argumentan que la automatización y la inteligencia aumentada pueden reducir la incertidumbre, otros sostienen que la incapacidad para procesar tanto volumen de datos en tiempo real amplifica el caos y la confusión.

#### 3.1.1. ¿La niebla se disipa...?

Aunque muchas veces es atribuida directamente a Clausewitz, la famosa expresión de la “niebla de la guerra” tiene su origen en el coronel británico Lonsdale August Hale, autor del libro *Tactical Studies of the Battles of Columbe-Nouilly and Vionville*, sobre la guerra franco-prusiana en 1870.

En 1896 la usó para comentar las ideas de Clausewitz sobre la falta de información como uno de los elementos definitorios

103. <https://brave1.gov.ua/en/>

de los conflictos bélicos, expresada de forma brillante en la famosa cita de su libro “De la Guerra”:

*La guerra es el reino de la incertidumbre. Las tres cuartas partes de los factores en que se basan las acciones bélicas están envueltas en una niebla de mayor o menor incertidumbre. Se exige un juicio sensato y perspicaz, una inteligencia entrenada en desvelar la verdad.*

Han pasado 228 años y la propia evolución de los conflictos está propiciando una acelerada carrera en desarrollar sistemas de todo tipo que ayuden a mitigar esta incertidumbre.

Esos sistemas nos proporcionan miles de sensores en el cielo y, según algunos autores, puede que esto ocasione que dicha niebla se disipe en determinadas zonas y nos puede dejar situaciones en las que no haya donde esconderse.

En palabras de algunos de esos expertos, se estaría más cerca del concepto, ya citado, de “Campo de Batalla Transparente”, al menos a nivel local y en las proximidades de la línea de contacto, donde la densidad de UAS es mayor.

### **3.1.2. ¿...o la niebla se espesa?**

Está claro que aún hay mucho que evaluar y numerosas lecciones que extraer y aprender del conflicto de Ucrania. No todos los especialistas están de acuerdo en que estemos ante el fin de la niebla de la guerra. Otros plantean lo contrario, que la proliferación de elementos tecnológicos está haciendo que se espese aún más.

Desde esta corriente de opinión, a pesar de los sensores, los datos, la información, la inteligencia, etc., al final, en los puestos de mando, las decisiones son más difíciles de tomar y hay incluso mayor incertidumbre, principalmente porque ahora hay mucho menos tiempo para tomarlas.

Se encuentran inundados de datos, cada segundo les puede llegar gigabytes de información en forma de videos, mensajes, audios, fotografías, emisiones de radio, señales radar, imágenes satélites, datos HUMINT (*Human Intelligence*, inteligencia elaborada por recursos humanos sobre el terreno), datos OSINT (*Open Source Intelligence*, inteligencia de fuentes abiertas, procesada por personal con acceso a redes sociales y publicaciones web), etc.

Además, la dependencia de sistemas automatizados y de la IA para interpretar los datos puede aumentar el riesgo de errores, especialmente en contextos de guerra electrónica, campañas de desinformación o ciberataques, que alteren

la fiabilidad de dichos datos y conduzcan a decisiones erróneas.

## **3.2. La guerra del algoritmo**

En el campo de batalla moderno, y supuesto que hay unas fuerzas similares entre los contendientes, la ventaja decisiva la tiene la nación que domina la toma de decisiones: la capacidad de aprovechar los datos y el análisis de la situación para predecir las acciones del adversario, automatizar las respuestas y optimizar las operaciones.

El resultado de ello es que los líderes militares pueden visualizar el campo de batalla en sus puestos de mando en tiempo casi real.

La toma de decisión requiere datos del estado del frente actualizados, y hoy en día, esos datos vienen en gran medida de sistemas no tripulados. El aumento de capacidades que proporcionan los UAS en la guerra, tanto para al combatiente a nivel operacional como para los mandos y analistas de inteligencia a niveles táctico y estratégico, es exponencial.

En determinadas circunstancias puede darse el caso de no poder aprovechar tanta información por falta de personal o medios de proceso. Aquí es donde entra a jugar el procesamiento mediante algoritmos de inteligencia artificial. Es la llamada guerra del algoritmo.

La guerra del algoritmo supone la integración de algoritmos avanzados en las operaciones militares para mejorar la toma de decisiones a través de las funciones de combate de inteligencia, maniobra, fuegos, logística y el mando y control.

Todo ello se consigue aprovechando la potencia de cálculo de la IA para garantizar ventajas estratégicas y tácticas duraderas en el campo de batalla.

Comprender las ventajas, los retos, los riesgos y la evolución futura de esta tecnología de vanguardia es fundamental para que los generales que deciden desde el puesto de mando hasta los mandos intermedios y combatientes en el campo de batalla mantengan el dominio de las decisiones.

Las ventajas ya se han visto, una ayuda fundamental para procesar esa ingente cantidad de datos e incluso proporcionar análisis basados en estadísticas sobre la idoneidad de determinadas decisiones a tomar frente a otras.

Las desventajas, la absoluta dependencia de la tecnología, de los ordenadores y del software. La necesidad de

confiar la vida de los combatientes a los resultados de análisis estadísticos y a las respuestas de los algoritmos, de los cuales, en muchos casos, no se tiene la suficiente información.

Esto es, dicho código no suele ser transparente, es difícil trazar el origen porque los han programado subcontratistas y, a veces, el grado de confianza en ellos no es absoluto.

Además, el aumento de dependencia en los sistemas informáticos y en las redes digitales de comunicaciones nos hace más vulnerables a los ciberataques y a infraestructuras que, o están expuestas, o a veces no están bajo el control de los combatientes, como las líneas de alimentación eléctrica de los centros de datos, las líneas de comunicaciones, los medios de transmisión, etc.

### **3.3. Aplicaciones de la IA en los UAS. Mejora de las capacidades**

No se trata aquí de describir en detalle conceptos y técnicas propias de la inteligencia artificial, sino centrarnos en establecer un marco de referencia y describir las principales funcionalidades de la inteligencia artificial en el campo de los UAS militares. El lector puede profundizar en los detalles técnicos o en los diferentes algoritmos que se comentan a través de las innumerables publicaciones técnicas al respecto.

#### **3.3.1. La inteligencia artificial no es algo nuevo**

La inteligencia artificial se remonta a los años 50 del pasado siglo, con unos tímidos comienzos basados en los trabajos de Alan Turing y otros pioneros, que en algunos casos se iniciaron durante la II Guerra Mundial ante la necesidad de descifrar en tiempo real las comunicaciones enemigas codificadas.

Durante los años 60 se continuó un desarrollo lento, a nivel académico, con avances destacados en sistemas de árboles de decisión, lógica simbólica o herramientas interactivas con el usuario.

La escasez de sistemas informáticos, sus enormes necesidades de espacio y sus elevados costes de operación y mantenimiento, ralentizaron los posibles avances en este ámbito, y se llegó a la década de los 70 con un enfriamiento de las expectativas en este campo, que fue conocido como el “invierno de la IA”.

En la década de los 80 se iniciaron investigaciones sobre redes neuronales artificiales y algoritmos de aprendizaje automático, con figuras destacadas como Geoffrey Hinton, Yann LeCun y Yoshua Bengio. Estos avances sentaron las bases para el reconocimiento de patrones y el procesamiento de datos.

Es ya entrado el siglo XXI cuando se van produciendo importantes avances cada vez más rápidos, debido en parte a la evolución de la tecnología y el hardware, disponibilidad, miniaturización y abaratamiento de complejos procesadores y al empleo de electrónica de consumo de acceso masivo.

#### **3.3.2. El hardware para la Inteligencia Artificial**

Desde hace unos años, el empleo de GPU (*Graphic Processing Units*, unidades de procesamiento de gráficos) comerciales se ha extendido enormemente, debido a la superior potencia de cálculo para algoritmos de IA frente a las CPU (*Computer Processing Unit*, traducido habitualmente como unidad central de proceso).

Esto es debido, básicamente, a que las GPUs están optimizadas para cálculos en matrices gráficas y procesan los datos en paralelo, convirtiéndose por ello en excelentes herramientas para el cálculo matricial, básico en los algoritmos de Aprendizaje Automático, o *Machine Learning* (ML) de la IA.

Las CPUs por el contrario, aunque pueden trabajar más rápido, lo hacen de forma más secuencial, en serie, y son menos eficientes para dichos cálculos algebraicos matriciales o en paralelo.

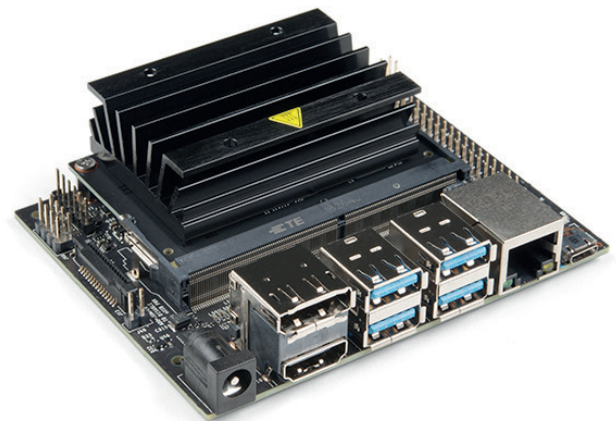


Imagen 70. SoC Nvidia Jetson Nano, con el tamaño de una tarjeta de crédito, desarrolla 1,3 TeraFLOPS y tiene un precio de unos 150 \$. Fuente: Wikipedia. Autor: SparkFun Electronics. Creative Commons 2.0.



El futuro a corto plazo de estos elementos de proceso pasa por los sistemas SoC (*System-on-Chip* – Sistemas integrados en un Chip). Los SoC integran múltiples componentes, como CPU, GPU, y unidades de aceleración específicas, en un único chip. Esto reduce la latencia, el consumo energético, el tamaño (muy importantes para los UAS) y los costes.

Ejemplos destacados incluyen chips como los desarrollados por NVIDIA (Jetson) y Google (TPU Edge), diseñados para aplicaciones en dispositivos móviles y para *Edge Computing* (procesamiento a bordo).

Las GPU seguirán siendo relevantes en el futuro inmediato debido a su versatilidad y potencia, pero están emergiendo tecnologías complementarias y especializadas:

- **TPU** (*Tensor Processing Units* - Unidades Procesadoras de Tensores): diseñadas específicamente para redes neuronales, estas unidades reducen el consumo energético y mejoran el rendimiento en tareas de inferencia. Por tensor se entiende conceptos matemáticos similares a matrices, pero de mayor número de dimensiones.
- **ASIC** (*Application-Specific Integrated Circuits* - Circuitos Integrados Específicos para Aplicaciones): chips personalizados para tareas específicas, como la aceleración de aprendizaje automático, ofreciendo máxima eficiencia para aplicaciones concretas.
- **FPGA** (*Field-Programmable Gate Arrays* - Matrices de Puertas Programables en Campo): proporcionan flexibilidad y alta eficiencia energética en aplicaciones personalizadas, pero su complejidad de programación limita su adopción masiva.
- **Neuroprocesadores**: procesadores inspirados en arquitecturas neuronales (ejemplo: Intel Loihi) diseñados para aplicaciones avanzadas de inteligencia artificial y aprendizaje en tiempo real.
- **Procesadores cuánticos**: dispositivos que aprovechan las propiedades de la mecánica cuántica, como la superposición y el entrelazamiento, para realizar cálculos complejos a velocidades mucho mayores que los procesadores tradicionales. Ejemplos: Microsoft Majorana, Intel Eagle e Intel Condor.

### 3.3.3. La democratización del conocimiento. Todo está en Internet

La aparición de sencillas y baratas placas de desarrollo y de microcontroladoras, muy extendidas en el mundo del hardware y software libre (desarrollos de acceso libre para las comunidades de usuarios) como las microcontroladoras Arduino<sup>104</sup> o los mini procesadores Raspberry Pi<sup>105</sup>, han democratizado aún más los avances y los desarrollos en el mundo de la IA, sacándolos de los laboratorios de grandes empresas y universidades y trasladándolos a pequeñas empresas de programación de código abierto.

En paralelo al desarrollo del hardware, los lenguajes de programación de acceso libre han permitido el trabajo colaborativo de miles de entusiastas, que generan algoritmos y librerías de datos en código abierto disponibles en multitud de repositorios, junto con librerías de datos para pruebas, entrenamientos e incluso competiciones. Ejemplo: Kaggle<sup>106</sup>.

Las fuentes abiertas hacen que el gran público tenga acceso instantáneo a los avances en código, elaborados en plataformas y entornos de colaboración como GIT<sup>107</sup> y similares. Internet actúa en estos casos como una enorme y global universidad, en la cual se puede aprender lo bueno, pero también lo malo, de la tecnología.

Se puede obtener información de casi cualquier cosa en texto, en audio o en videos. También actúa como una enorme y accesible biblioteca donde encontrar cualquier referencia, ejemplo o incluso preguntar y obtener respuestas a dudas o cuestiones en foros como Discord<sup>108</sup>.

Todo ello complementado con el uso de las herramientas LLM (*Large Language Models* - Grandes Modelos de Lenguaje, el más conocido es ChatGPT<sup>109</sup>) que permiten un diálogo con internet y la posibilidad de recabar información de manera mucho más fácil y rápida.

Se puede incluso pedir que el modelo de lenguaje escriba el código de los algoritmos en los lenguajes que se requieran, particularizándolo con el problema que se quiere resolver. También hay asistentes basados en IA en los editores de código más comunes.

104. <https://www.arduino.cc/>

105. <https://www.raspberrypi.org/>

106. <https://www.kaggle.com/>

107. <https://github.com/>

108. <https://discord.com/>

109. <https://chatgpt.com/>

### 3.3.4. Clasificación de los algoritmos. Los últimos avances en la aplicación de la IA

Dentro de ese ecosistema actual de código y algoritmos, podemos distinguir diversos métodos y aproximaciones más usados en aplicaciones de UAS militares y que caracterizan las áreas actuales de desarrollo de la IA en este campo.

En primer lugar, el llamado **Aprendizaje Profundo o Deep Learning** (DL), que se refiere a un subconjunto de potentes algoritmos de aplicación en múltiples ramas del *Machine Learning* (ML), como son aprendizaje supervisado, no-supervisado, semi-supervisado y por refuerzo.

Se emplea para ello redes neuronales artificiales (ANN, *Artificial Neural Networks* – Redes Neuronales Artificiales) profundamente conectadas, llamadas redes neuronales profundas (DNN, *Deep Neural Networks* – Redes Neuronales Profundas).

Estas redes neuronales artificiales profundas están compuestas por múltiples capas de neuronas artificiales, lo que permite que los modelos aprendan representaciones de datos a múltiples niveles de abstracción.

Este enfoque imita la estructura del cerebro humano, donde las neuronas están interconectadas y procesan la información en capas jerárquicas y están demostrando buen funcionamiento en tareas como el reconocimiento de imágenes, la traducción automática y el análisis de texto.

El Aprendizaje Profundo permite por tanto un procesamiento más efectivo y preciso de la información.

En segundo lugar, el **Aprendizaje Reforzado o Reinforcement Learning** (RL), que es una rama de la IA donde los agentes toman decisiones en un entorno para maximizar recompensas acumuladas.

En el Aprendizaje Reforzado los agentes aprenden a través de la exploración y retroalimentación de recompensas y castigos. Ejemplos incluyen robots que navegan laberintos, agentes que juegan al ajedrez o al Go<sup>110</sup> para mejorar sus estrategias y aplicaciones prácticas, como la optimización de la cadena de suministro y la conducción de vehículos autónomos.

El Aprendizaje Reforzado permite a los agentes aprender comportamientos óptimos mediante la experiencia directa y la retroalimentación.

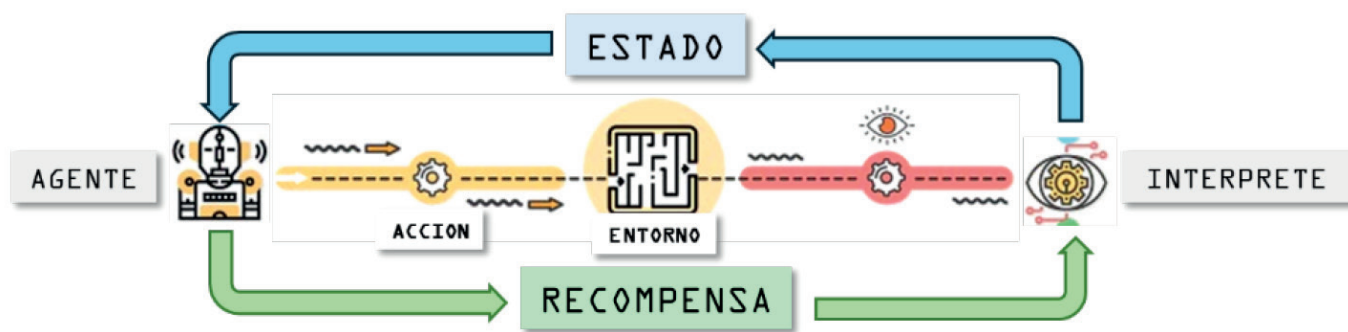


Figura 28.. Esquema de Experiencia-Recompensa en un modelo de Aprendizaje Reforzado. Fuente: elaboración propia

Si el resultado de esa decisión es beneficioso, el agente aprende automáticamente a repetir esa decisión en el futuro, mientras que si el resultado fuera perjudicial evitará volver a tomar la misma decisión.

Estos algoritmos son, sin duda, los más empleados en los sistemas de UAS con IA integrada. A diferencia de otros algoritmos convencionales, los RL no requieren un

conocimiento explícito con las ecuaciones diferenciales que gobiernan la dinámica del sistema que pretenden controlar.

Este detalle es importante porque no puede conocerse de antemano las condiciones exactas en la que van a operar los UAS.

Sin embargo, estos algoritmos requieren en su entrenamiento entornos de simulación realistas, que representen de forma suficientemente plausible las condiciones de operación que puede enfrentar estos UAS.

110. El juego del **GO** es un sencillo y antiguo juego de mesa de estrategia. Su historia se remonta al menos a 3.000 años. Extendido primero en China y Japón, en la actualidad abarca todo el mundo.  
<https://playgo.to/es>

En caso contrario, estos algoritmos presentarían un desempeño pobre cuando operen en escenarios reales.

En tercer lugar, la mezcla de los dos algoritmos anteriores, el **Aprendizaje de Refuerzo Profundo o Deep Reinforcement Learning (DRL)**, que combina lo mejor de cada uno, empleando el proceso de toma de decisiones a través del método de prueba y error, pero aplicando el aprendizaje profundo para resolver esos estados de decisión cuando el número de variables es muy elevado, o matricialmente, de una elevada dimensión, por ejemplo en el caso del procesamiento de imágenes en la visión por computador.

### 3.3.5. Misiones ISR. Procesamiento de imágenes

Inicialmente, el empleo de los UAS en misiones de ISR se basaba en la transmisión de la imagen “en crudo”, con metadatos de posición y parámetros de vuelo, a la estación de control o a la pantalla de control del combatiente.

Normalmente el procesado de la información se hacía en la estación de control, ya fuera de manera directa por los propios usuarios del sistema o por analistas que accedían a las imágenes, o empleando el hardware de la estación, ejecutando los algoritmos de procesamiento.

Esta forma de empleo tiene básicamente las siguientes desventajas:

1. Se requiere un **gran ancho de banda del enlace de comunicaciones** para enviar todo el video en la más alta calidad posible y con todos los metadatos incluidos, durante todo el tiempo de la misión.
2. El operador o analista de la información tiene que estar pendiente de la pantalla y analizar en tiempo real toda la información durante la duración de la misión. El **grado de estrés y de fatiga en misiones de varias horas de duración es elevado**, y esto provoca menos capacidad de procesar la información y más probabilidad de tomar decisiones incorrectas.

En vista a estos problemas, y una vez desarrollado el hardware adecuado, como se ha visto anteriormente, se está trabajando en realizar el procesamiento de las imágenes a bordo, y para ello se emplean las GPUs y SoCs mencionados y algoritmos basados en redes neuronales convolucionales (CNN: *Convolutional Neural Networks*), que son las estructuras más ampliamente utilizadas en IA para resolver problemas relacionados con el procesamiento de imágenes, como pueden ser:

- Detección de objetivos en tiempo real: las imágenes capturadas por las cámaras de los UAS se procesan con algoritmos de IA para detectar objetivos en tiempo real.
- Seguimiento de objetivos: las imágenes de los UAS se emplean para hacer el seguimiento de objetivos de interés en movimiento.
- Reconocimiento de objetivos: los algoritmos de IA pueden entrenarse con imágenes procedentes de las cámaras de los UAS, para reconocer objetivos o patrones de interés.
- Vuelo autónomo: los algoritmos de IA se emplean para conseguir el vuelo autónomo de los UAS.

El seguimiento del objetivo se implementa con un filtro adaptativo por ganancia programada. Este control permite al UAS hacer el seguimiento del objetivo en condiciones de velocidad variable y resuelve el problema de la inestabilidad y no linealidad del vuelo UAS.

El rendimiento de los algoritmos destinados a la detección de objetivos puede verse afectado por ocultamientos del objetivo, clutter de fondo de la imagen, variaciones rápidas en la iluminación y en el punto de vista cámara-objetivo. La calidad de la imagen también se ve afectada por el movimiento relativo UAS-objetivo.

Existen variaciones de estos algoritmos que son capaces de mejorar la calidad en el seguimiento de objetivos en entornos complejos.

### 3.3.6. Aplicaciones de la IA al Mantenimiento predictivo en UAS

Otro campo de aplicación de la IA, muy desarrollado en la actualidad es el mantenimiento predictivo, que busca establecer una programación proactiva de tareas de mantenimiento, a partir de las observaciones sobre el estado de funcionamiento del UAS.

Para ello, se requieren los datos de funcionamiento procedentes de los sensores embarcados, y su historial de vuelo. En términos generales, la idea consiste en encontrar anomalías o patrones en estos datos, que permitan anticipar posibles problemas (normalmente mecánicos) de funcionamiento en estos UAS.

En otras palabras, la detección de anomalías permite anticipar tareas de mantenimiento con el fin de evitar averías antes de que estas se produzcan.

De esta manera, se consiguen extender la vida útil del UAS, minimizando al mismo tiempo los costes de mantenimiento de la plataforma.

El mantenimiento predictivo requiere una serie de actuaciones que se resumen en los siguientes puntos:

1. Monitorización constante del estado del UAS.
2. Detección efectiva de anomalías en el estado de funcionamiento del UAS.
3. Interpretación de las anomalías para la predicción de posibles fallas.
4. Almacén de datos históricos estructurados.

Como ejemplo de mantenimiento predictivo aplicado a UAS podemos destacar estudios en los cuales se monitorizan las vibraciones de los motores de propulsión del UAS y se implementa una metodología, basada en el cálculo de indicadores de salud y de vida útil restante, que consiste en:

- Monitorizar de las señales de vibración. Almacenar los datos.
- Extraer las características principales de las señales en forma de atributos, que definen en términos generales la dinámica de dichas señales. El análisis de los atributos permite evaluar si el motor se encuentra actualmente en una condición normal o anormal. Un estado anormal indica una posible próxima falla de motor.
- Obtención de los indicadores de salud mediante análisis por componentes principales.
- Predecir la vida útil restante, a partir de los indicadores de salud, mediante redes neuronales.

La evaluación y el análisis de las series temporales de datos facilitan la planificación de los sistemas necesarios y los conjuntos de repuestos y herramientas necesarios, en función de la duración y de la intensidad de la campaña prevista.

Para grandes sistemas tipo MALE o HALE, un paso más allá puede ser el disponer de gemelos digitales de los mismos, basados en modelos entrenados con los datos de los sistemas reales. Permiten obtener previsiones más fiables, cuando se alimentan los modelos virtuales con datos reales y se comparan los resultados del sistema real con el gemelo digital.

### 3.3.7. IA aplicada a enjambres

La inteligencia de enjambres se refiere a la capacidad de formar grupos con dos o más UAS, coordinados de manera autónoma para operar de forma conjunta, de manera que se generan capacidades emergentes.

Como ya se vio al tratar el tema de las misiones, los UAS en un enjambre deben ser capaces de coordinarse, colaborar y comunicarse entre ellos en tiempo real, conociendo la posición y los roles de cada uno.

Normalmente, la sincronización entre los UAS se realiza mediante algoritmos avanzados de ML.



*Imagen 71. Imagen de vuelo múltiple de UAS. Primeras experiencias para lograr un enjambre coordinado real. Fuente: web US ARMY. Dominio público.*

La inteligencia de enjambres persigue una mejora en la resiliencia y escalabilidad de los sistemas. También busca una mejora en la capacidad para cubrir operaciones complejas mediante la división y distribución de tareas.

En el ámbito de la inteligencia de enjambres, a nivel preliminar, destaca el trabajo desarrollado en la actualidad para la futura aplicación en el FCAS de los sistemas *Remote Carrier* con estas capacidades.

Se están desarrollando, en este ámbito, algoritmos de aprendizaje distribuido federados, donde en un enjambre de UAS, el líder o el que ocupa la posición de vuelo más avanzada actúa de relé de comunicaciones para los UAS traseros, por analogía con la aeronave tripulada del sistema FCAS, eliminado de este modo la necesidad de estaciones de comunicación terrestres.



Cada UAS trasero genera su propio modelo de aprendizaje federado que luego transmite al UAS en cabeza. Posteriormente, el UAS líder del enjambre genera un modelo maestro de consciencia situacional completo, que devuelve a los UAS traseros.

En cuanto a diferencias en la topología de las servidumbres y la jerarquía de tomas de decisión por parte de los componentes de los enjambres se incluyen a continuación las principales:

- **Jerarquía centralizada**, con coordinación individual pero donde las decisiones vienen dadas por un UAS líder, un sistema tripulado o una estación de control terrestre. En los casos en los que el control es externo y la coordinación de los UAS es limitada, se pierde el concepto de enjambre y se debería de hablar de vuelo múltiple.
- **Jerarquía descentralizada**, donde la coordinación y las decisiones se pueden tomar de forma federada o por consenso entre todos los componentes del enjambre.

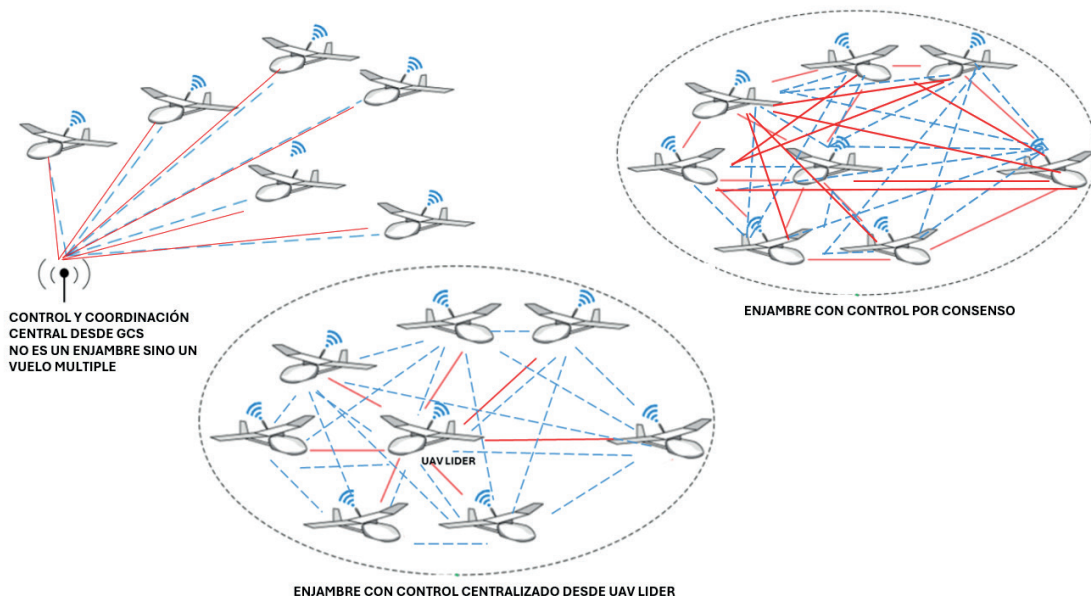


Figura 29. Esquema simplificado de jerarquías de control de vuelos múltiples y enjambres de drones. Fuente: elaboración propia.

En estos casos no es necesario que todos y cada uno de los componentes del enjambre sean idénticos, ni siquiera de similares características, sino que pueden ser muy diferentes, en cuanto a tamaño, prestaciones, capacidades y misiones. Cada uno puede tener una especialización principal y alguna secundaria para tomar el relevo de otros componentes del enjambre en el caso de que se vayan perdiendo.

Sería el caso de enjambres multidominio, con componentes en el aire, en tierra o en el entorno marítimo.

### 3.3.8. Concepto Manned – Unmanned Teaming (MUM-T). Colaboración Sistemas tripulados y no tripulados

A su vez, se pueden diseñar vuelos múltiples de UAS con un elemento central decisor, que puede ser una aeronave

tripulada, en cuyo caso se hablaría de una evolución del concepto *manned-unmanned teaming* (MUM-T).

El Centro de Aviación del Ejército de EE. UU. (*United States Army Aviation Centre*) define MUM-T como «el empleo sincronizado de soldados, vehículos aéreos y terrestres tripulados y no tripulados, robótica y sensores para lograr una mejor comprensión de la situación, una mayor letalidad y una mejor capacidad de supervivencia»<sup>111</sup>.

Como se ve, el concepto sigue evolucionando hasta incluir sistemas no tripulados multidominio, aéreos, terrestres y marítimo, junto con elementos humanos, tanto efectores como decisores.

<sup>111</sup> <https://www.japcc.org/articles/manned-unmanned-teaming/>

La aplicación de los conceptos de enjambre y MUM-T no sólo tiene una gran aplicación militar, sino que puede ser extrapolado al mundo civil, sobre todo en la lucha contra incendios, las operaciones de búsqueda y rescate, los incidentes con materiales peligrosos y la aplicación de la ley.

Los recientes avances en el desarrollo de vehículos e infraestructuras de Movilidad Aérea Avanzada (AAM, *Advanced Aerial Mobility*) / Movilidad Aérea Urbana (UAM, *Urban Aerial Mobility*) no harán sino ampliar el uso de MUM-T en el ámbito civil, con el uso de sistemas autónomos, vehículos aéreos no tripulados, aeronaves pilotadas por control remoto y aeronaves de elevación vertical.

## 4. APLICACIONES DE LA IA A LA VIGILANCIA, CONTROL Y COORDINACIÓN DE LOS UAS LSS

Al igual que en el apartado anterior, el objetivo aquí es nombrar y describir brevemente las aplicaciones, sin entrar en detalles técnicos o terminología compleja, los cuales no son objeto de este cuaderno informativo. Como se indicó, el lector puede encontrar más información sobre los algoritmos concretos mencionados en las numerosas publicaciones técnicas y libros sobre inteligencia artificial y aprendizaje automático.

### 4.1. Prevención de colisiones

La mayor limitación de un UAS en seguridad operacional es el hecho de que el operador, al no ir a bordo de la aeronave, no tenga la conciencia situacional que tiene un piloto en una aeronave tripulada.

Para evitar colisiones, los UAS pueden emplear diferentes sensores como GPS, LiDAR y cámaras de visión que pueden operar en diferentes rangos del espectro en frecuencia.

Así, por ejemplo, los sistemas GPS proporcionan información sobre la posición de los UAS. Esta información se utiliza para actualizar, en caso de que sea necesario, la planificación de las rutas con el fin de evitar colisiones.

El LiDAR y otros sensores radar pueden también emplearse en la identificación de obstáculos. Finalmente, las imágenes procedentes de cámaras pueden emplearse en algoritmos de visión por computador, para la identificación y evitación de obstáculos.

Al margen de los sensores empleados para la detección de

obstáculos, existen diferentes aproximaciones centradas en la evasión de obstáculos, que en términos generales pueden clasificarse de la siguiente manera:

- **Coordinación:** esta técnica es especialmente útil en entornos donde operan múltiples UAS y otro tipo de aeronaves. Consiste en establecer enlaces de comunicación entre los UAS. Dicha comunicación permite establecer mecanismos para la evitación de colisiones. A su vez, los mecanismos para la evasión de colisiones pueden clasificarse en sistemas de control centralizados y descentralizados.
- **Plan de vuelo:** los algoritmos de IA pueden emplearse para determinar la ruta óptima que debe seguir un UAS, evitando los posibles obstáculos. La actualización del plan de rutas puede establecerse de forma *offline*, una ruta de vuelo predefinida para cada UAS u *online* donde cada UAS actualiza la ruta óptima en función de los cambios de posición de los otros UAS.

Los últimos estudios aplican algoritmos DRL en la evasión de colisiones, en un contexto de navegación por puntos de referencia. En este caso particular, se llega a la conclusión de que el ruido de los sensores y la incertidumbre de las mediciones eran factores críticos en el desempeño de los algoritmos.

Para tratar de solucionarlo se proponen algoritmos probabilísticos y DRL para evitar colisiones y ahorrar energía. Físicamente, en el UAS, se consigue integrando datos procedentes de sensores LiDAR, cámaras de profundidad, video y ultrasonido.

Se han de procesar a bordo para evitar retrasos (aunque sean milisegundos) en los trayectos descendente y ascendente hasta la estación de control, y para no saturar el ancho de banda disponible en el enlace.

Los algoritmos de control son óptimos cuando se ejecutan en la propia aeronave, es decir, los conceptos ya mencionados de computación en el borde o *Edge Computing* (que sería mejor traducir por “computación a bordo”), y mediante el uso de procesadores específicos basados en GPUs o procesadores en paralelo.

### 4.2. Planificación de rutas

La planificación de rutas consiste en el cálculo o estimación del camino geométrico que une el punto de origen con el destino final de la forma más eficiente posible.

La planificación de trayectorias es uno de los aspectos más importantes que deben ser considerados en la operación de UAS, ya que estos dispositivos presentan una carga útil que limita el empleo de grandes baterías.

En términos generales, la planificación de rutas posibilita que el UAS cumpla con la misión encomendada bajo unas restricciones de autonomía, que normalmente vienen impuestas por las baterías.

La planificación óptima de rutas también puede verse afectada por una reconfiguración dinámica y ágil de espacio aéreo. Todo esto implica disponer de una caracterización, lo más completa posible, del tráfico aéreo, con las trayectorias y velocidades de todos los agentes que operan en el medio.

Los algoritmos de aprendizaje automático (ML) consiguen transformar la planificación de rutas en un problema de control óptimo o problema de toma de decisiones.

La idea general consiste en encontrar la secuencia de acciones que minimiza una función de costes en un horizonte temporal finito. Cálculos matriciales que son la especialidad de los procesadores GPU que se instalan a bordo de las aeronaves.

Al igual que en el caso del procesamiento de imágenes, que se vio anteriormente, el aprendizaje por refuerzo profundo (DRL) es el algoritmo de aprendizaje máquina más avanzado actualmente, que puede ser empleados en la resolución de la planificación de rutas.

Estos algoritmos resuelven problemas inherentes en los modelos de SLAM (*Simultaneous Localization and Mapping*) utilizados en entornos no conocidos, lo que se suele dar en la mayoría de las misiones ISR.

### 4.3. Uso del autopiloto

El autopiloto es un sistema de control que regula la trayectoria de vuelo, velocidad, altitud y orientación del UAV.

En términos generales, su objetivo es mantener la estabilidad del vuelo mientras se va navegando entre los diferentes puntos de ruta (*waypoints*) establecidos, haciendo que el vuelo sea lo más eficiente y seguro posible.



Imagen 72. Autopiloto VECTOR 600 de la empresa española UAV Navigation (Grupo OESIA). Fuente: web UAV Navigation

Hasta hace poco, el autopiloto de los UAS se ha basado en sistemas de control PID (proporcional-integral-derivativo). Los PID son sistemas de control tradicionales, que han sido empleados con éxito, sobre todo en la regulación de multitud de procesos industriales.

Sin embargo, la principal limitación de un PID es que es un controlador lineal y con respuesta reactiva. Proporcionan unas buenas capacidades y prestaciones en entornos estables, pero cuando las condiciones se complican, se hace necesario un control más proactivo con capacidad de adaptarse a dicho entorno.

Existen hoy en día multitud de evidencias en el campo de UAS que apuntan a la mejora en la precisión de los controles si están basados en aprendizaje reforzado (RL).

Los sistemas de autopiloto de los UAS suelen estar compuestos por un bucle interno, que proporciona el control y la estabilidad, y un bucle externo, que ejecuta las órdenes de navegación entre los puntos de ruta.

Los algoritmos RL se muestran especialmente adecuados en mejorar las prestaciones y precisión del bucle interno mientras que permiten mantener el control de actitud necesario para que el bucle externo establezca el vuelo de la aeronave.

## CONCLUSIONES

En este capítulo se ha tratado de resumir muchas ideas y conceptos sobre las tendencias más actuales y lo que nos puede deparar el futuro a corto y medio plazo, en lo relativo a las capacidades y el empleo de los UAS militares en el campo de batalla.

Se ha comenzado por describir algunas lecciones operativas sobre el empleo de los UAS en los conflictos recientes, especialmente desde finales del pasado siglo.

La principal conclusión de esas lecciones es que las naciones occidentales deben ser conscientes del enorme peligro al que nos enfrentamos y de la necesidad crítica de proteger las infraestructuras y a toda la sociedad del empleo indiscriminado de estas nuevas armas.

Por ello se reitera que la preparación y el conocimiento son fundamentales. Los UAS ya pueblan el campo de batalla, ya se sabe cómo fabricarlos de manera sencilla y barata y se ha comprobado su efectividad. La amenaza ya es real e inminente.

En ciberseguridad se realizan constantemente ejercicios de ataque-defensa, en los cuales se trata de simular exactamente las armas y capacidades que tienen los posibles agentes hostiles. Las fuerzas propias se dividen entre los que hacen de “buenos” o equipo azul, y los que hacen de “malos” o equipo rojo. Esta manera de entrenarse se ha mostrado muy efectiva a la vez que necesaria porque casi todos los días se repelen ciberataques con una tasa de éxito elevada. En el entorno, cada vez más evidente, de guerra híbrida, se espera que dichos ataques cibernéticos sean una tendencia al alza.

La industria parece que lleva la alternativa en este aspecto en concreto y ya se están viendo soluciones contra-UAS capaces de contrarrestar más variedad de sistemas artesanales y modificados. El uso de los datos y el disponer en tiempo casi real de los parámetros de empleo de estos sistemas, como frecuencias, protocolos de control, imágenes, formas, sonidos, etc. se está volviendo fundamental para poder contrarrestarlos.

Volviendo a las lecciones aprendidas de los últimos conflictos, se han comentado las iniciativas de compra masiva de UAS de pequeño tamaño, de clase I, micro y mini y del tipo OWA, que ha establecido el Departamento de Defensa de EE. UU. y las que se iniciaron en Ucrania nada más empezar la invasión rusa, impulsadas sobre todo por el ministro de Transformación Digital, Mijailo Fedorov.

En Europa, a excepción del Reino Unido, no se tiene constancia de iniciativas similares con ese nivel de ambición, aunque se está viendo, sobre todo en países fronterizos con la Federación Rusa, que los presupuestos de defensa y el gasto en UAS está aumentando considerablemente. En el ámbito de los UAS, el proyecto estrella en la Unión Europea continúa siendo el Eurodrone, un sistema muy complejo y costoso del que cada país adquirirá un número limitado de unidades. Parece que no es esa la tendencia que marcan las lecciones comentadas.

Tratando de predecir los desarrollos a corto y medio plazo en los UAS militares, se ha nombrado sobre todo la implementación de las capacidades de la inteligencia artificial a bordo de las aeronaves, tanto a nivel software mediante los algoritmos, como a nivel hardware, instalando los procesadores a bordo de las aeronaves. La actual miniaturización de estas tecnologías permite disponer de una enorme potencia de cálculo en componentes del tamaño de tarjetas de crédito.

El implementar estas técnicas capacitan a los UAS especialmente para aumentar sensiblemente su autonomía, automatizar los procesos de detección de objetivos, posibilitar la completa navegación visual basada en referencias del terreno o en el interior de instalaciones, y las mejoras en mantenimiento predictivo.

Los sistemas de autopiloto son otro probable campo de mejora de prestaciones con la implantación de algoritmos de aprendizaje reforzado y técnicas que permitan navegar en condiciones de denegación de la señal GNSS.

Se ve por ello que hay que apostar por la innovación y por la aplicación de esta tecnología en todos los niveles posibles. Es muy importante que se involucre a la industria y a las universidades para ello, y de esa manera, el salto temporal entre la aparición de las innovaciones tecnológicas y el momento en que puedan estar disponibles para los ejércitos se pueda reducir lo máximo posible.



Como se verá en el próximo capítulo, la industria ya está evolucionando, y se están desarrollando nuevas ideas y avances técnicos a diario, sobre todo, en las zonas en conflicto.

El tejido industrial y los recursos en I+D posibilitan esos avances. En Ucrania las iniciativas conjuntas del gobierno y las pequeñas empresas tecnológicas están consiguiendo evolucionar significativamente las capacidades autónomas de los UAS.

Para ello, se están empleando los más modernos algoritmos de clasificación basados en aprendizaje automatizado, reforzado, profundo o ambos, y cuya implantación se está comprobando día a día. Se está evolucionando hacia capacidades como el guiado autónomo en presencia de guerra electrónica intensa, la posibilidad de que un dron derribe otro dron en el aire y las mejoras en coordinación de vuelos múltiples, que algún día pudieran derivar en auténticos enjambres coordinados.

1. Kunertova, D. (2024). *Learning from the Ukrainian Battlefield: Tomorrow's Drone Warfare, Today's Innovation Challenge*. Center for Security Studies (CSS), ETH Zürich.  
<https://doi.org/10.3929/ethz-b-000690448>
2. Patton Rogers, J. (2024). *De Gruyter Handbook of Drone Warfare*. Berlin, Boston: De Gruyter.  
<https://doi.org/10.1515/9783110742039>
3. Hoehn, J. R., Sayler, K. M., & DeVine, M. E. (2023). *Unmanned aircraft systems: Current and potential programs* (CRS Report No. R47188). Congressional Research Service.  
<https://sgp.fas.org/crs/weapons/R47188.pdf>
4. Watling, J., & Kaushal, S. (2020, October 22). *The democratisation of precision strike in the Nagorno-Karabakh conflict*. Royal United Services Institute.  
<https://rusi.org/explore-our-research/publications/commentary/democratisation-precision-strike-nagorno-karabakh-conflict>
5. Marín Delgado, J. A. (2021). Guerra de drones en el Cáucaso Sur: lecciones aprendidas de Nagorno Karabaj. Instituto Español de Estudios Estratégicos.  
[https://www.ieee.es/Galerias/fichero/docs\\_opinion/2021/DIEEEEO21\\_2021\\_JOSMAR\\_DronesCaucaso.pdf](https://www.ieee.es/Galerias/fichero/docs_opinion/2021/DIEEEEO21_2021_JOSMAR_DronesCaucaso.pdf)
6. LISA Institute (s. f.). *Atentados con Drones: el nuevo modus operandi de las organizaciones terroristas*.  
<https://www.lisainstitute.com/blogs/blog/ataques-atentados-con-drones-terroristas>
7. Chávez, K., & Swed, O. (2020). *Off the shelf: the violent nonstate actor drone threat*. AIR & SPACE POWER JOURNAL.  
[https://www.airuniversity.af.edu/Portals/10/ASPJ/journals/Volume-34\\_Issue-3/F-Chavez\\_Swed.pdf](https://www.airuniversity.af.edu/Portals/10/ASPJ/journals/Volume-34_Issue-3/F-Chavez_Swed.pdf)
8. The Principles of War. (2021, September 18). *Lessons for UAV employment in Nagorno-Karabakh region*. The Principles of War.  
<https://theprinciplesofwar.com/uav/lessons-for-uav-employment-in-nagorno-karabakh-region/>
9. Wallace-Wells, D. (2024, 10 abril). *What War by A.I. Actually Looks Like*. The New York Times. Recuperado 22 de noviembre de 2024.  
<https://www.nytimes.com/2024/04/10/opinion/war-ai-israel-gaza-ukraine.html>
10. R. Flick, R. (2021, 1 noviembre). *Winning the counterland battle by enabling sensor-to-shooter automation*. Air Land Sea Space Application (ALSSA) Center.  
<https://www.alssa.mil/News/Article/2822476/winning-the-counterland-battle-by-enabling-sensor-to-shooter-automation/>
11. Martí Sempere, C. (2013). La industria de defensa. Principales características y eficiencia de un sector estratégico. Ministerio de Industria y Turismo. Economía Industrial, nº388, 2013.  
<https://www.mintur.gob.es/publicaciones/publicacionesperiodicas/economiaindustrial/revistaeconomiaindustrial/388/carlos%20mart%C3%AD%20sempere.pdf>
12. Andersson, J. J., & Simon, S. (2024). *Minding the drone gap: Drone warfare and the EU (EUISS Brief No. 17)*. European Union Institute for Security Studies.  
[https://www.iss.europa.eu/sites/default/files/EUISSFiles/Brief\\_2024-17\\_Drones%20%281%29.pdf](https://www.iss.europa.eu/sites/default/files/EUISSFiles/Brief_2024-17_Drones%20%281%29.pdf)
13. Watts, B. Harrison, T. (2021). *Sustaining Critical Sectors of the U.S. Defense Industrial Base*. CSBA.  
<https://csbaonline.org/research/publications/sustaining-critical-sectors-of-the-u-s-defense-industrial-base>
14. Fonfría, A. (2021). La industria de defensa en el mundo: hechos estilizados y tendencias. Revista de Estudios en Seguridad Internacional, 7(2), 1-17.  
<https://doi.org/10.18847/1.14.1>
15. Plo, A. R. R. (2022). La niebla de la guerra. Real Instituto Elcano.  
<https://www.realinstitutoelcano.org/comentarios/la-niebla-de-la-guerra/>
16. Frías Sanchez, C. J. (2024). Rusia, Ucrania y el campo de batalla «transparente». Instituto Español de Estudios Estratégicos. [https://www.ieee.es/Galerias/fichero/docs\\_opinion/2024/DIEEEEO18\\_2024\\_CARFRI\\_Rusia.pdf](https://www.ieee.es/Galerias/fichero/docs_opinion/2024/DIEEEEO18_2024_CARFRI_Rusia.pdf)

## DIEGO BUENO PÉREZ

Biografía en capítulo 1.

## JOSÉ MARÍA SANZ NOGALES

Comandante del Cuerpo de Ingenieros del Ejército del Aire y del Espacio (EA), actualmente destinado en la Jefatura de Servicios Técnicos y Ciberespacio.

Su labor se centra en el asesoramiento y desarrollo de herramientas basadas en inteligencia artificial para mejorar el conocimiento situacional y optimizar la toma de decisiones del mando.



Cuenta con 19 años de servicio en la estructura orgánica del EA, desempeñando funciones en diversas áreas, entre ellas: mantenimiento de radioenlaces digitales, mantenimiento de aviónica del F-18 (C15), control de producción y docencia en inteligencia de imágenes, inteligencia geoespacial y tratamiento digital de imágenes aplicado a la fotointerpretación.

En el ámbito académico, en 2024 obtuvo el título de Doctor por la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación de la Universidad Politécnica de Madrid, con la calificación de sobresaliente “cum laude”.

Entre 2020 y 2023, publicó varios estudios internacionales enfocados en el modelado de procesos tumorales mediante Teoría de Juegos Evolutivos y en el diseño de tratamientos terapéuticos óptimos basados en Aprendizaje por Refuerzo Profundo.





# Industria de los UAS militares

## El caso europeo y español

Diego Bueno Pérez

"La Unión Europea necesita definir su futura relación con China y otros países en áreas sensibles de alta tecnología como la microelectrónica, la computación cuántica, la robótica, la inteligencia artificial, la biotecnología..."

Ursula von der Leyen, presidenta de la Comisión Europea. Discurso sobre las relaciones UE-China.  
Marzo 2023.

Como último tema a tratar en este cuaderno, y antes de pasar a un resumen de conclusiones, se va a abordar el punto de vista industrial de los UAS militares.

Primero se verá la evolución del sector a nivel global, luego se particularizará para el caso europeo, para acabar analizando, más en detalle, la industria española.

Globalmente se van a plantear, desde la perspectiva industrial, las tres edades de los UAS mencionadas en el primer capítulo, y se verá cómo, en paralelo a la evolución de estos sistemas, las empresas encargadas de su diseño y fabricación también han ido cambiando con el tiempo.

Las crecientes cifras de volumen de negocio a nivel mundial servirán para dar una introducción a un análisis de las particularidades de esta industria en nuestro entorno europeo.

Adelantamos ya que una gran amenaza es la dependencia de componentes tecnológicos del mercado asiático y otra viene impuesta por las limitaciones presupuestarias.

Se comentarán también los profundos cambios que ha habido en la industria de defensa de los países occidentales desde el fin de la guerra fría y que se dieron a raíz de la mencionada reducción de los presupuestos militares en muchos de ellos.

Las diferentes adaptaciones de estas empresas han buscado, sobre todo, reducir costes para mantener la producción. Para ello, en muchos casos, se optó por fusiones y adquisiciones que formaran grupos industriales más robustos, y también por deslocalizar la producción, para reducir costes laborales.

Con la deslocalización y la pérdida de capacidad industrial, se sentaron las bases de la actual dependencia externa de componentes. Respecto a este punto se mencionarán las actuales iniciativas europeas y americanas para tratar de revertir esta situación.

Para terminar el capítulo se particularizará en la industria española, mencionando los programas institucionales de experimentación y los casos de éxito de la industria local, incidiendo en las fortalezas y oportunidades que hay que aprovechar y en la necesidad de continuar con el apoyo institucional.



# 1. LA INDUSTRIA DE UAS MILITARES. PRINCIPALES CONDICIONANTES DEL SECTOR

## 1.1. *Condicionantes comerciales e industriales. Cambios en la demanda y en la oferta*

El sector industrial militar tiene unos condicionantes específicos que lo hacen ser diferente a sus equivalentes en tecnología civil. Se considera, en este ámbito, que el sector está compuesto por las empresas cuya actividad se centra en suministrar los productos y servicios necesarios para las operaciones militares de los ejércitos regulares y, por lo tanto, determina en buena medida las capacidades de defensa de los países.

Desde el punto de vista de la demanda, los productos militares suelen estar sometidos a las restricciones de los presupuestos económicos, en concreto el gasto en defensa de cada país.

Pero, por otra parte, también cuentan con un nicho de mercado relativamente estable e importante, sobre todo en países con presupuestos de defensa elevados (EE. UU., China, Rusia, Reino Unido, Francia, etc.).

Aunque el mercado es relativamente estable, el volumen de negocio puede ser impredecible y volátil, dependiendo de las circunstancias geopolíticas, guerras, conflictos, crisis económicas o humanitarias, relaciones internacionales, acuerdos comerciales, etc.

Desde el punto de vista de la oferta, existe una amplia variedad de tamaños y tipos de empresas en este sector, sobre todo en los últimos tiempos, en los que las nuevas tecnologías se apoyan más en desarrollos basados en software e inteligencia artificial, que a su vez dependen en mayor medida del talento humano y emprendedor, y menos en disponer de grandes recursos materiales como plantas de producción, astilleros, etc.

Tradicionalmente los productos de defensa se han caracterizado por su gran complejidad, ya que en su diseño intervienen multitud de componentes y subsistemas, con una arquitectura plagada de diferentes interfaces y con unas enormes necesidades de interoperabilidad, que implica el cumplimiento de estrictos estándares de protocolos, comunicaciones, normas de fabricación, calidad y de pruebas.

Las clásicas corporaciones industriales de defensa han visto como empresas más pequeñas, de reciente creación, con gran componente tecnológico y dirigidas ágilmente por emprendedores, están alcanzando una cuota de mercado importante, sobre todo en el caso de sistemas no tripulados y en temas de comunicaciones y mando y control.

Además, estas tecnologías ya no son monopolio de unos pocos países, sino que aparecen empresas punteras en este sector, en zonas que hasta ahora tenían poca tradición, como Europa del Este, Turquía, Irán, India, etc.

Todo ello acompañado de la actual realidad industrial, donde se ve que el centro de masas de la producción tecnológica mundial no se encuentra en Occidente, sino que hace tiempo que se trasladó a los países asiáticos, en especial a China.

Aunque los diseños y las inversiones en I+D continúan siendo occidentales, la fabricación y la distribución dependen de estos países asiáticos y se apoyan cada vez más en acuerdos comerciales, relaciones políticas y en las líneas de comercio y transporte logístico mundiales.

Podemos resumir las particularidades, desde el punto de vista industrial y geopolítico, en los siguientes puntos:

- La innovación supone enormes costes para estas industrias, muy difícil de asumir por las de pequeño tamaño.
- Los beneficios, en el caso de haberlos, se obtienen a largo plazo, dependiendo de la situación internacional, crisis económicas o cambios de gobierno. Solamente un sólido respaldo financiero puede hacer frente a esta perspectiva.
- Los presupuestos de defensa se enfrentan a unos costes de oportunidad elevados, por lo que suelen ser revisados a la baja en función de otros posibles usos alternativos de los recursos públicos.
- La sociedad en general no percibe las posibles externalidades que tiene sus desarrollos en otros sectores de la economía (usos duales).
- Existe una fuerte competencia internacional, de naciones con mayores gastos en defensa y donde las economías de escala influyen de manera significativa. Los sistemas de armas son muy caros y un aumento en el número de pedidos y de usuarios influye mucho en una disminución de costes de fabricación. Además, los ingresos por mantenimiento y apoyo logístico de los sistemas suponen un gran porcentaje de beneficios en esta industria.

- También intervienen otros condicionantes geopolíticos y esferas de influencia. Para muchos países el elegir un suministrador de armas implica entrar en su esfera geopolítica. Es el caso de países africanos y las esferas rusa o china.

Estos condicionantes, que limitan y restringen el desarrollo de este sector, crítico para la defensa de los países occidentales, han de ser tenidos en cuenta y muy especialmente en los últimos tiempos, donde se está viendo como la citada dependencia de componentes tecnológicos se puede convertir en un elemento decisivo a la hora de plantear la defensa de los países y mantener la seguridad económica.

### 1.1.1. Condicionantes económicos. La evolución de los presupuestos de defensa en el mundo occidental

La Guerra Fría, como ya se ha comentado en el primer capítulo, se extendió desde el final de la II Guerra Mundial hasta finales del año 1991, con la disolución de la Unión Soviética y la reunificación alemana.

Desde su final, los presupuestos de defensa en los países OTAN han bajado o se han estancado. En los años 90 se hablaba de los “dividendos de la paz”, concepto que quería indicar que, gracias al fin de la competencia militar con la Unión Soviética, en el mundo occidental se podría derivar dinero hasta ahora destinado a defensa, para financiar temas sociales que generaban más rendimiento político.

En base a ello, los presupuestos de defensa en Occidente disminuyeron drásticamente durante la década de los años 90, y se estabilizaron en la primera década de siglo, coincidiendo con las guerras contra el terrorismo.

Únicamente empezaron a incrementarse a partir de 2014, cuando la anexión rusa de Crimea y el levantamiento prorruso del Dombás hicieron ver a la comunidad occidental que quizás estaban ante un preocupante giro expansionista, por parte de la Federación Rusa en Europa del Este y de China en el Pacífico.

Ha habido que esperar hasta 2020 para que dichos presupuestos vuelvan a un nivel equivalente (en dólares 2015) al que tuvieron en 1989.

**Graph 6 : NATO Europe and Canada - defence expenditure**  
(billion US dollars, based on 2015 prices and exchange rates)

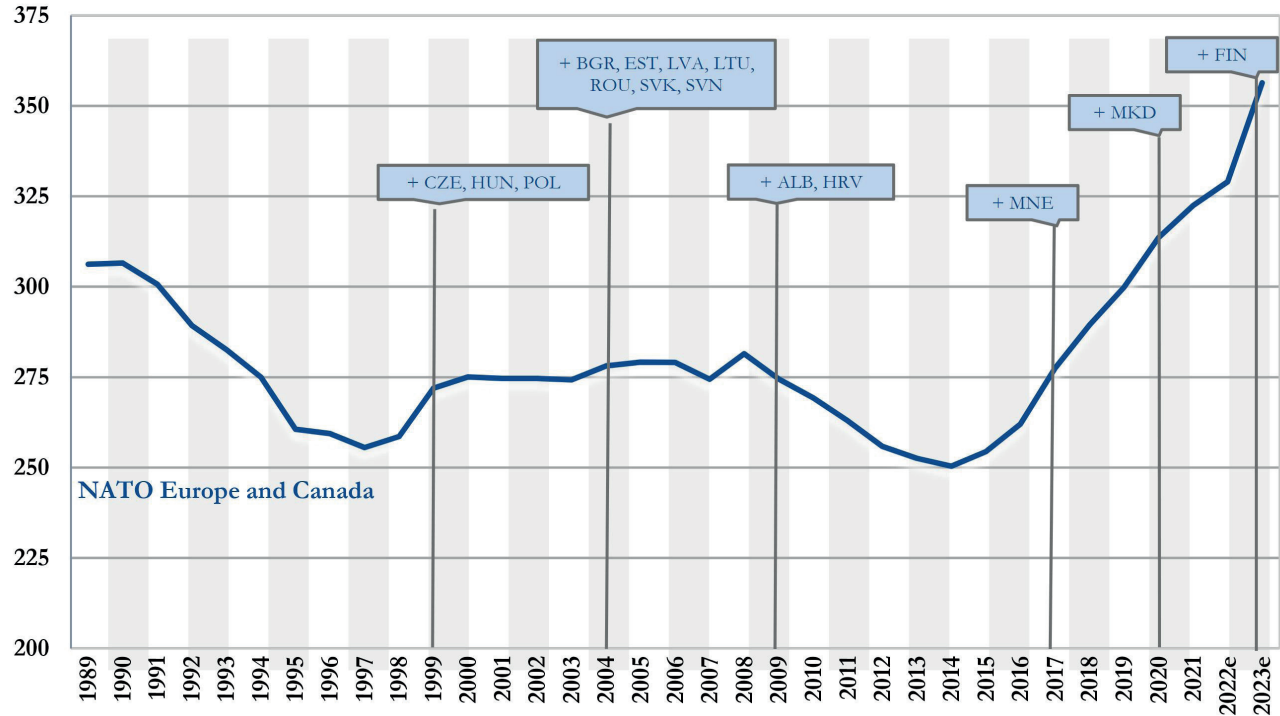


Figura 30. Gastos de Defensa en países OTAN (1989-2023). Fuente: NATO Press Release. “Defence Expenditure of NATO Countries (2014-2023)” 7 julio 2023

Centrándonos en los efectos que tuvieron estos cambios en la demanda sobre las industrias de defensa, las consecuencias fueron que se vislumbraba un futuro incierto para este sector en el mundo occidental, lo que llevó, en la mayoría de los casos, a giros en la política y gestión, que desembocaron en fusiones, adquisiciones e incluso en cierres de empresas de todos los tamaños.

Ya en el nuevo siglo, estos efectos se vieron amplificados por la creciente globalización y deslocalización, que afectó a todo el tejido industrial europeo y americano.

Realmente el proceso de concentración y fusión de empresas marcó el camino de salida en un mundo globalizado, donde los capitales circulan libremente, y la mejor forma de competir es ganar cuota de mercado (adquiriendo las cuotas de los competidores, mediante las adquisiciones) y reducir costes fijos (eliminando duplicidades en las fusiones y deslocalizando mano de obra a países con menores costes laborales).

Así, en 1994 Northrop compró Grumman por una cuantía de 21.000 millones de dólares. McDonnell Douglas y Boeing se fusionaron en 1997, en una operación de 13.000 millones de dólares, para crear The Boeing Company.

En España, en 1992, se crea la empresa tecnológica INDRA, por fusión de las empresas públicas INISEL, CESELSA,

ERITEL y DISEL, que se integraron en una única marca. En el año 2000 surgió la multinacional EADS, por acuerdo entre Aérospatiale, Matra, Daimler-Chrysler Aerospace y la española Construcciones Aeronáuticas S.A.

Ese mismo año, Bazán se fusionó con Astilleros Españoles (AES), que englobaba a los astilleros públicos exclusivamente civiles, dando lugar a IZAR.

En el año 2001 se creó MBDA, para fabricación de misiles, con la participación de BAE Systems (37,5% del capital), EADS (37,5%) y Alenia (25%).

También en el 2001, en España, el gobierno vendió Santa Bárbara a la americana General Dynamics por 831 millones de pesetas.

En 2005, otra reestructuración del sector dio como resultado la empresa actual, NAVANTIA, tras la segregación, y posterior privatización, de las factorías de Gijón, Sevilla, Manises y Sestao.

Procesos similares continuaron por Europa y EE. UU., conformando un nuevo panorama de industrias de defensa, adaptadas a los nuevos tiempos de restricciones presupuestarias y aprovechando oportunidades, tanto de búsqueda de nuevos mercados como de reducción de costes laborales mediante deslocalización.

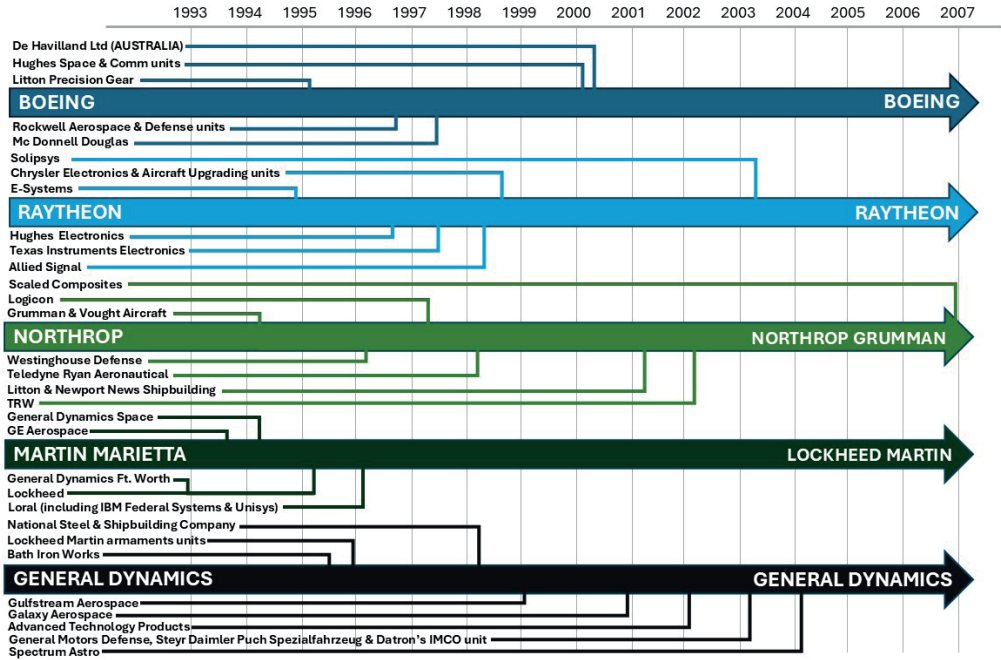


Figura 31. Principales procesos de consolidación en la industria aeroespacial de defensa americana, años 1993 a 2007.  
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de CSBA. Informe Sustaining Critical Sectors of the U.S. Defense Industrial Base (2011)



No todas las empresas se fusionaron o fueron adquiridas. Algunas de ellas tuvieron que cerrar, especialmente en Europa y sobre todo las menos tecnológicas, como la fabricación de municiones, artillería y sistemas auxiliares.

La fábrica de armas de La Vega en Oviedo cerró en 2012, la fábrica de armas de La Coruña cerró en 2013 y la Fábrica de Municiones de Granada fue vendida al grupo eslovaco MSM, filial a su vez del grupo industrial checo CSG A.S.

Como se ha podido ver hasta ahora, el sector industrial de la defensa ha estado sometido a profundos cambios y reestructuraciones a lo largo de los últimos años.

Este ha sido uno de los posibles motivos para el cambio de tendencia en la innovación y en el diseño de sistemas disruptivos, como los UAS, que ha pasado de estar únicamente lideradas por las grandes corporaciones industriales, a empezar a serlo por las pequeñas y medianas empresas de reciente creación, proveniente muchas de ellas del mundo IT (*Information Technology*, tecnologías de la información) y del desarrollo software.

## 2. SOBERANÍA TECNOLÓGICA EUROPEA

### 2.1. La Seguridad económica y sus riesgos

La seguridad económica de un país se puede definir como la capacidad de mantener a la vez la seguridad nacional y la prosperidad económica.

Recientemente (en 2023), la Comisión Europea ha establecido una estrategia<sup>112</sup> para recuperar y mantener la seguridad económica en Europa.

Se basa principalmente en tener una capacidad industrial que sea superior a la de sus adversarios, que cubra la demanda nacional y que complemente la capacidad de los países aliados.

Y resulta necesaria una estrategia para hacer frente a los retos y riesgos a los que se ven enfrentadas las economías europeas por el escenario geopolítico.

Estos riesgos se muestran a continuación:

- **Riesgos para la resiliencia de las cadenas de suministro**, incluida la seguridad energética, con énfasis en la dependencia del gas y del petróleo.

- **Riesgos de aumento de los precios, indisponibilidad o escasez de productos críticos o insumos** en la UE.
- **Riesgos para la seguridad física y cibernética de las infraestructuras críticas**, sometidos a constantes ciberataques.
- **Riesgos relacionados con la seguridad y la fuga tecnológica**. Riesgos para los avances tecnológicos de la UE, la competitividad tecnológica y el acceso a tecnologías punteras, en particular a través de prácticas malintencionadas en el ámbito digital, como el espionaje o la fuga ilícita de conocimientos.
- **Riesgo de militarización de las dependencias económicas o de coerción económica**. Riesgos de que terceros países ataquen a la UE, sus Estados miembros y las empresas de la UE a través de medidas que afecten al comercio o la inversión para lograr un cambio de estrategia en el espacio legítimo de elaboración de políticas.

Frente a estos riesgos, la Comisión Europea propone las siguientes prioridades:

1. Promover la competitividad propia de la Unión Europea;
2. Proteger la Unión frente a los riesgos económicos para la seguridad;
3. Acuerdos de Asociación con la gama más amplia posible de países que comparten nuestras preocupaciones o intereses en materia de seguridad económica.

### 2.2. Pérdida de capacidad industrial en Europa. Dependencia China

Como la propia Comisión Europea ha declarado, Europa carece de la suficiente capacidad de fabricación de microcomponentes, y en general, de sistemas de microelectrónica esenciales para el desarrollo de los procesadores, navegadores, autopilotos y demás equipamiento tecnológico, presentes en los UAS y en otros sistemas de armas avanzados.

En la presentación de la Estrategia Industrial Europea, La Comisión Europea analizó estas dependencias, llegando a las siguientes conclusiones<sup>113</sup>:

112. ESTRATEGIA EUROPEA DE SEGURIDAD ECONÓMICA. Bruselas. 20 junio de 2023. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:52023JC0020>

113. [https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/europe-fit-digital-age/european-industrial-strategy\\_es](https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/europe-fit-digital-age/european-industrial-strategy_es)

- La UE es altamente dependiente de proveedores extranjeros para el aprovisionamiento de 137 productos utilizados en ecosistemas sensibles, de un total de 5.200 productos analizados.
- Estos productos representan el 6 % del valor de todos los productos importados en Europa.
- Más de la mitad de estas dependencias corresponden a productos originarios de China y, en menor medida, de Vietnam y de Brasil.
- La vulnerabilidad es aún mayor en el caso de 34 productos, debido al escaso potencial de diversificación y de sustitución por productos elaborados en la UE. Entre ellos figuran materias primas y productos químicos utilizados en industrias de alto consumo energético y en el sector de la salud.
- Estos productos representan el 0,6 % del valor de todos los productos importados en Europa.

Muchos de estos productos se importan desde Asia, principalmente desde China, junto con Vietnam y Taiwan, y en menor medida, Corea del Sur y Japón.

No sólo Europa estaría expuesta a un posible bloqueo comercial intencionado de componentes por parte de terceros países, sino que cualquier disrupción accidental en las vías de transporte marítimas que parten del Mar de China Meridional (desde el estrecho de Taiwan hasta las islas de Sumatra y Borneo), o las que dependen del canal de Suez, estrecho de Ormuz y el estrecho de Bab al-Mandab, podría causar la paralización de las cadenas de producción de una gran parte de las empresas fabricantes europeas (y muchas americanas) de defensa.

Efectos de disrupciones en la cadena logística ya se han notado durante la pandemia de COVID-19 en los años 2020 y 2021, y en sucesos puntuales como el incidente del portacontenedores de 400 m de eslora Ever Given en el Canal de Suez (23 de marzo de 2021), en los que la producción de maquinaria y vehículos en Europa se ralentizó y, en algunos casos, se paralizó temporalmente por falta de stock de estos componentes.

Para la población europea se tradujo en una disminución de la oferta, frente al crecimiento sostenido de la demanda, que condujo a un incremento de precios y a desabastecimientos

parciales, sobre todo en automóviles, electrodomésticos y en general, electrónica de consumo.

Lo que también había detrás y no era tan evidente para el público, fue que la industria de defensa sufrió los mismos efectos de desabastecimiento y disminución de la producción, justo en unos momentos en los que la situación geopolítica requería, en muchos casos, la actualización y renovación del material militar de muchos ejércitos europeos.

China ha logrado, en la actualidad, dominar la fabricación de componentes tecnológicos, especialmente en el ámbito de los microprocesadores, componentes electrónicos, circuitos impresos, etc.

Y todo ello a pesar de que muchas de las tecnologías fundamentales para lograrlo fueron desarrolladas en Occidente.

Y no sólo eso, sino que componentes esenciales en la fabricación de UAS, en especial los de pequeño tamaño, también proceden de las líneas de producción chinas.

Esto incluye elementos como las baterías de polímero de litio y los motores de corriente continua sin escobillas.

Se puede comprobar en el siguiente gráfico como la mayoría de los componentes fundamentales en la fabricación de un UAS parten de tecnologías desarrolladas en centros de investigación y empresas occidentales, pero acaban siendo fabricadas en China:

En resumen, la externalización de la producción a China por parte de empresas occidentales ha creado una dependencia significativa de los componentes fabricados en ese país.

Esta dinámica ha permitido a China consolidar su posición como líder en la fabricación de tecnología, lo que plantea desafíos para las empresas y gobiernos occidentales que buscan mantener su competitividad en un entorno global cada vez más complejo.

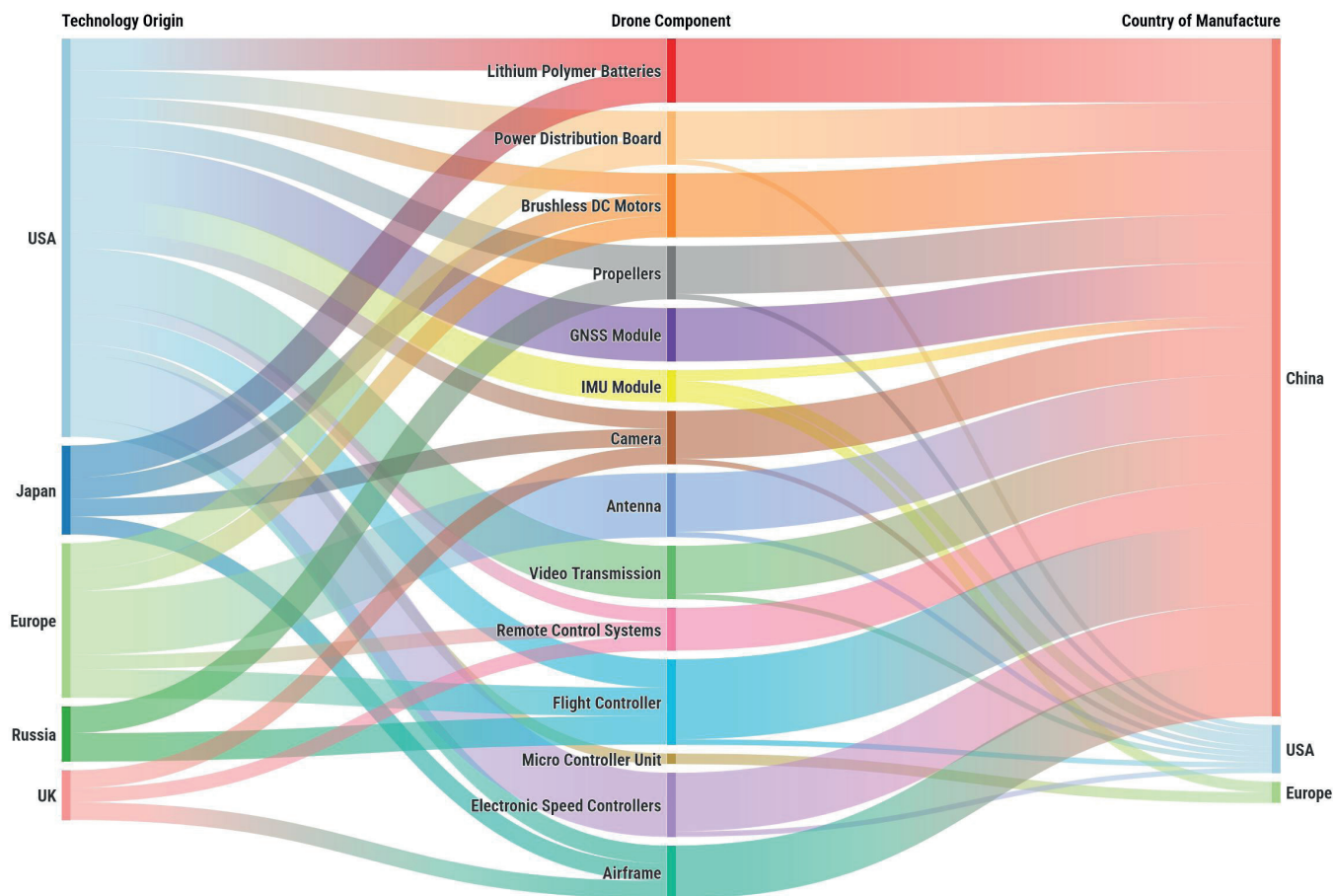


Figura 32. Diferencias entre el origen de la tecnología y la fabricación de los componentes en un sistema UAS. Fuente: MIT Technology Review. How the US and its allies can rebuild economic security. 2024. Edlyn V. Levine, Fiona Murray. <https://www.technologyreview.com/2024/07/30/1095439/usa-economic-security-competitiveness/>

## 2.3. Recuperar la Soberanía Tecnológica

En este epígrafe se ha tratado la importancia de la seguridad económica, especialmente en el entorno europeo. En este sentido, la Unión Europea, consciente de ello, ha establecido como una de sus prioridades la misión de acelerar el proceso hacia una soberanía tecnológica, como paso principal para conseguir la seguridad económica.

En 2020, Ursula Von der Leyen<sup>114</sup> describió la soberanía tecnológica como “la capacidad que Europa debe tener para tomar sus propias decisiones, basándose en sus propios valores, respetando sus propias reglas”, específicamente en relación con la tecnología.

Se ha comentado como, a consecuencia del final de la Guerra Fría, y debido a la disminución de los presupuestos

de defensa, la industria trató de sobrevivir disminuyendo los costes y fusionándose.

Una manera fácil y rápida de disminuir los costes fue la deslocalización de toda la fabricación intensiva en mano de obra, hacia países donde ésta fuera abundante y barata.

Teniendo en cuenta la globalización, los avances en transporte y comercio, y la inmediatez de las comunicaciones, la fabricación a miles de km no parecía un inconveniente sino una manera sencilla y rápida de reducir costes. No se pensó entonces en la pérdida de soberanía tecnológica que ello suponía.

114. Ursula Von der Leyen: política alemana nacida en 1958, presidenta de la Comisión Europea desde 2019. Anteriormente ocupó varios ministerios en los

Como se explicaba de manera extensa en el capítulo 2 del primer cuaderno de Capacidades Militares<sup>115</sup> de esta serie de cuadernos tecnológicos, existen múltiples iniciativas a nivel europeo para tratar de recuperar la soberanía tecnológica. Vamos a tratar aquí, muy brevemente, los que tienen relación con la industria de defensa, tanto a nivel europeo como a nivel norteamericano.

La **Ley Europea de Chips**<sup>116</sup> reforzará la competitividad y la resiliencia de Europa en tecnologías y aplicaciones de semiconductores, y ayudará a lograr tanto la transición digital como la ecológica y reforzará el liderazgo tecnológico de Europa en este ámbito.

Tras su aprobación por el Parlamento y el Consejo, el Reglamento entró en vigor el 21 de septiembre de 2023.

Se engloba dentro de la **Plataforma de Tecnologías Estratégicas para Europa (STEP)**<sup>117</sup>, que básicamente es una inyección de dinero (10.000 millones €) para la inversión en empresas tecnológicamente estratégicas, dividido en varios sub-programas y fondos:

- 3.000 millones € para *InvestEU*, con un resultado de 75.000 millones € de inversiones dada la tasa de provisión del 40 % y un efecto multiplicador medio de 10.
- 500 millones € para Horizonte Europa, complementados con 2.130 millones € de reasignación y utilización de importes liberados, con un resultado de 13.000 millones € de inversiones con un efecto multiplicador medio de 5.
- 5.000 millones € para el Fondo de Innovación, con un resultado de 2.000 millones € de inversiones, dada la experiencia hasta la fecha en el marco del Fondo de Innovación.
- 1.500 millones € para el Fondo Europeo de Defensa, que podría resultar en inversiones por valor de hasta 2.000 millones €.

Este último montante económico es el que más influirá, obviamente, en la industria de defensa europea, ya que financiará consorcios de empresas de diferentes estados miembros, que realizan actividades de investigación y desarrollo cooperativos en materia de defensa de productos y tecnologías de defensa. El Fondo también incluye

mecanismos para estimular la apertura de cadenas de suministro.

Respecto a otras iniciativas, hay que destacar que, desde el lado americano, ya en el año 2022, el Congreso de los Estados Unidos aprobó un paquete normativo similar, denominado *Chips and Science Act*<sup>118</sup>, cuyo objetivo era también inyectar fondos en la economía para apoyar la producción doméstica de semiconductores, y autorizar varios programas de investigación e inversión de agencias científicas federales sobre estos temas.

Todo ello a raíz de los estudios que indicaban la dependencia, al igual que en Europa, de componentes de la industria de defensa americana respecto a suministradores de terceros países.

Además, para fomentar esa independencia y mitigar la amenaza de componentes extranjeros en sistemas críticos, el gobierno de EE. UU. ha implementado varias líneas de trabajo en sus programas de adquisición de UAS militares, en particular las conocidas como requisitos NDAA, Lista azul y arquitectura MOSA.

Los sistemas UAS adquiridos han de cumplir con la **NDAA (National Defense Authorization Act)**<sup>119</sup>. Esta ley, específicamente la sección 848 de la NDAA de 2020, identifica ciertos componentes críticos en los UAS que no deben provenir de países considerados adversarios, como China, Irán, Rusia, entre otros.

Los componentes críticos incluyen aquellos que almacenan o transmiten datos, como enlaces de radio, cargas útiles (cámaras, sensores), sistemas de control de vuelo, y ciertos tipos de controladores electrónicos de velocidad (ESC, *Electronic Speed Control*). Es importante destacar que **la NDAA no exige que los componentes sean fabricados en EE. UU, sino que se excluya la procedencia de países adversarios.**

**La lista azul o Blue UAS**<sup>120</sup>, que es un programa de certificación que va más allá de la NDAA. Exige que los sistemas cumplan con los requisitos de la NDAA, pero también añade estándares más estrictos en ciberseguridad y estructura de la empresa.

Los productos listados en el programa *Blue UAS* deben someterse a pruebas de ciberseguridad adicionales. La certificación no es una garantía, y la lista se actualiza periódicamente, lo que ha generado cierta frustración en la industria debido a la opacidad en el proceso y la retirada de ciertos proveedores.

115. <https://www.isdefe.es/files/Cuaderno%20Capacidades.pdf>

116. [https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/europe-fit-digital-age/european-chips-act\\_es](https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/europe-fit-digital-age/european-chips-act_es)

117. [https://strategic-technologies.europa.eu/index\\_en](https://strategic-technologies.europa.eu/index_en)

118. <https://www.congress.gov/bills/117/congress/house-bill/4346>

119. <https://www.congress.gov/116/plaws/pub/92/PLAW-116publ92.pdf>

120. <https://www.diu.mil/blue-uas-cleared-list>



El concepto **MOSA (Modular Open Systems Architecture)**<sup>121</sup> se trata de un enfoque de diseño que busca estandarizar la arquitectura de los UAS, permitiendo la interoperabilidad y el intercambio de componentes y cargas útiles entre diferentes sistemas.

Al igual que en la industria de la tecnología de la información (IT) empresarial, se busca que los componentes puedan integrarse fácilmente en diferentes plataformas. MOSA busca reducir la dependencia de sistemas cerrados y fomentar la competencia y la innovación, permitiendo la integración de diferentes subsistemas de diferentes proveedores.

### 3. EVOLUCIÓN DEL SECTOR INDUSTRIAL DE UAS MILITARES

Se han visto hasta ahora a lo largo de este capítulo, los condicionantes, tanto de las industrias tecnológicas como las de defensa en el mundo occidental, en los últimos tiempos.

Si particularizamos en el sector industrial de los UAS militares vemos que se dan ambos condicionantes, al ser una industria muy tecnológica y del área de la defensa.

El mercado mundial de UAS militares ha experimentado una transformación considerable en las últimas tres décadas. Lo que comenzó como un nicho de alta tecnología dominado por unos pocos grandes fabricantes ha evolucionado hacia una industria mucho más diversa, con un crecimiento exponencial en términos de fabricantes, aplicaciones y volumen de ventas.

El volumen de negocio de los UAS militares ha crecido en las últimas tres décadas, lentamente al principio y progresivamente hasta niveles exponenciales en los últimos tiempos, impulsado, como se ha visto a lo largo de este cuaderno, por avances tecnológicos y nuevas necesidades operativas.

A continuación, se va a realizar un breve análisis de la evolución de este sector industrial a lo largo de estas últimas décadas, desde sus inicios a finales del siglo pasado hasta nuestros días<sup>122</sup>.

Para ello se distinguirán las tres fases o edades que definen su evolución y que ya se mencionaron en la introducción histórica, desde los grandes UAS MALE y HALE de los primeros años del siglo XXI hasta el desarrollo de plataformas tácticas más accesibles y la proliferación de pequeños fabricantes en la última década.

### 3.1. La industria en la primera edad (199X-2010): Los grandes UAS MALE y HALE

Desde finales del siglo pasado y durante la primera década del siglo XXI, el mercado de UAS militares estuvo dominado por grandes fabricantes como General Atomics, Northrop Grumman e Israel Aerospace Industries Ltd.

Estos producían sistemas caros y complejos, como el MQ-1 Predator, MQ-9 Reaper, RQ-4 Global Hawk y el IAI Heron, destinados a misiones ISR (Inteligencia, Vigilancia y Reconocimiento) y a ataque a tierra.

Los principales países fabricantes fueron Estados Unidos e Israel. Poco a poco se fueron sumando otras naciones, como China o Rusia.

El volumen de mercado fue creciendo, desde unos modestos cientos de millones de dólares a finales de los años 90 hasta llegar a 2010 donde el mercado global de UAS militares se estimaba entre 3.000 y 4.000 millones de dólares.

En aquella época el coste promedio de un sistema no tripulado MALE estaba entre cinco y quince millones de dólares, mientras que un UAS HALE podía superar los 200 millones de dólares por unidad.

Como referencia, el coste de un avión de caza tripulado de esa época, como por ejemplo el McDonnell Douglas F-15C en el año 1998, era de aproximadamente 30 millones de dólares.

Es decir, los sistemas no tripulados no resultaban significativamente más baratos que los tripulados, e incluso en algunos casos, el coste por hora de vuelo podría ser superior. Además, los gastos en mantenimiento e infraestructura asociados eran similares.

Las estadísticas de la época<sup>123</sup> indican que se producían más accidentes con UAS que en la aviación tripulada, y en la mayoría de los casos por fallos humanos, de pilotaje por parte de los operadores.

La explicación según los expertos era que los pilotos en las aeronaves tripuladas, además de tener una conciencia situacional más completa, al estar sentados dentro del avión

121. <https://www.dsp.dla.mil/Programs/MOSA/>

122. Datos extraídos de referencias de mercado como: <https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/unmanned-combat-aerial-vehicle-market>

123. Datos extraídos de: [https://www.researchgate.net/publication/220062264\\_Development\\_of\\_an\\_Unmanned\\_Aerial\\_Vehicle\\_Piloting\\_System\\_with\\_Integrated\\_Motion\\_Cueing\\_for\\_Training\\_and\\_Pilot\\_Evaluation](https://www.researchgate.net/publication/220062264_Development_of_an_Unmanned_Aerial_Vehicle_Piloting_System_with_Integrated_Motion_Cueing_for_Training_and_Pilot_Evaluation)

o helicóptero, sienten las maniobras, las vibraciones, los ruidos aerodinámicos y las sensaciones en su cuerpo que provocan las maniobras que realizan, percibiendo mejor cuales de ellas pueden acercar la aeronave a los límites estructurales y por lo tanto, son capaces de realizar un pilotaje más completo y seguro.

Otro factor que influía en la época eran los enlaces de comunicaciones, de tecnologías no tan avanzadas como las actuales, y con retrasos mayores en los trayectos ascendente y descendente de las comunicaciones satelitales.

En paralelo a estos grandes sistemas, se empezaron a fabricar sistemas más pequeños, que fueron adaptándose lentamente por los diferentes ejércitos. Los más conocidos fueron los sistemas MINI RQ-11 Raven, de la norteamericana

Aerovironment y el sistema SMALL/táctico RQ-7 Shadow de la también norteamericana AAI, posteriormente adquirida por TEXTRON. Por parte israelí, el sistema táctico Searcher, de la empresa IAI/Malat.

### **3.2. La industria en la segunda edad (2011-2020): mercado de UAS tácticos**

Durante la segunda década del siglo XXI, se produjo una expansión del mercado hacia UAS tácticos más pequeños y asequibles.

Nuevos países fabricantes como Turquía y China entraron en el mercado con plataformas más baratas, como el Baykar Bayraktar TB2 y el CASC CH-4.



*Imagen 73. UAS Táctico armado BAYKAR Bayraktar TB2, éxito de ventas en su categoría y empleado en los conflictos de Nagorno Karabaj y Ucrania. Fuente: Wikipedia. Crédito: Bayhaluk. Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International license.*

Los fabricantes se diversificaron geográficamente, con la entrada también de empresas europeas, capturando una porción significativa del mercado.

También aumentaron las ventas de empresas israelíes como IAI, Rafael o Elbit Systems, que comercializaron también sistemas de tamaño más pequeño, de clases I y II.

Seguían destacando las empresas americanas, es especial General Atomics, Boeing-Insitu, con el exitoso Clase I Scan

Eagle, Textron, con su sistema RQ-7 Shadow y Aerovironment, fabricante de la extensa serie de UAS clase I, Raven, Wasp y Puma.

El volumen de mercado en esta década aceleró su ritmo de crecimiento: para 2020, el mercado global había crecido a aproximadamente a más de 10.000 millones de dólares, impulsado por una mayor demanda de UAS más pequeños y tácticos.



Imagen 74. Sistema MINI de lanzamiento manual Aerovironment PUMA. Fuente: Facebook Aerovironment.

El coste promedio en esta época baja considerablemente, incluso en los UAS tácticos como el TB2 que podían costar entre 3 y 5 millones de dólares, y si se consideran los sistemas de clase I, small o mini, el precio promedio puede bajar de los 100.000 dólares, unos valores mucho más bajos que los promedios de la anterior época, y que fomentan el éxito de ventas y la proliferación de uso de estos sistemas mucho más asequibles para países con presupuestos de defensa más modestos.

En esta década también destacan los sistemas muy pequeños, de clase I micro o nano, destacando por volumen de ventas el sistema noruego Black Hornet, de menos de 20 gramos de peso, desarrollado por Prox Dynamics AS, posteriormente adquirida por la americana Teledyne FLIR.

Sistema que en la actualidad ya ha ido evolucionando hasta su cuarta generación, disponiendo de cámaras visuales y térmicas, mayor capacidad de batería, y de un sistema de navegación visual para el vuelo en interior de edificios o en zonas con señales GNSS denegadas.



Imagen 75. Sistema NANO FLIR Black Hornet. Fuente: Instagram TELEDYNE FLIR.

### 3.3. La industria en la tercera edad de los UAS (2021-2024): Diversificación y pequeños fabricantes

El cambio de paradigma en el uso y en el empleo de los UAS en el campo de batalla ha sobrepasado todas las expectativas.

En diciembre de 2017, la prestigiosa revista *Foreign Affairs* publicó un artículo titulado “Por qué los soldados no confían en los drones”<sup>124</sup>. En él se comentaba cómo las tropas y mandos intermedios preferían contar con el apoyo de sistemas tripulados frente a UAS, debido a varios motivos:

- **La mayor experiencia operativa de los pilotos** frente a los operadores de UAS. Según ellos, los pilotos, al estar en primera línea, se “dejaban la piel” al igual que ellos (concepto *skin in the game*, heredado del mundo financiero).
- **Las limitaciones tecnológicas de los UAS.** La autonomía limitada y la vulnerabilidad a interferencias electrónicas hacían que los drones no fueran considerados confiables en misiones críticas.
- **Las dudas sobre su fiabilidad y efectividad en situaciones críticas.** En especial el comportamiento bajo intensa guerra electrónica y su extrema dependencia a las condiciones climáticas.
- **Y, sobre todo, la falta de conceptos operativos o entrenamiento con los sistemas.** Las tropas no estaban familiarizadas con los UAS, lo que generaba reticencias para integrarlos en misiones tradicionales donde los sistemas tripulados ofrecían mayor seguridad percibida.

Comparando la percepción de 2017 con la realidad actual, apenas 8 años después, es evidente que la mejora en la confianza de los combatientes hacia los UAS ha sido drástica.

Lo que hace solo unos años se consideraba un recurso complementario poco fiable, hoy pasaría a ser un elemento central de cualquier operación militar moderna. Este cambio ha sido impulsado por los avances tecnológicos, la reducción de costes y el desempeño positivo que los UAS han demostrado en el campo de batalla.

<sup>124</sup>. *Foreign Affairs* “Why troops don’t trust drones”: <https://www.foreignaffairs.com/articles/united-states/2017-12-20/why-troops-dont-trust-drones>

El conflicto en Ucrania no solo ha mostrado la efectividad de estos sistemas, sino que ha cambiado para siempre la forma en que se percibe la guerra moderna. La confianza en los UAS ya no es una cuestión de debate: se han convertido en una necesidad estratégica ineludible. Y por ello, también se han convertido en una fuente de negocio y un nicho de mercado importante a nivel industrial.

En los últimos años, el mercado ha visto una enorme expansión en la cantidad de fabricantes, con el auge de los desarrollos de UAS derivados de sistemas comerciales. Esta tendencia ha sido impulsada por las más punteras tecnologías emergentes como la inteligencia artificial, la impresión 3D y la autonomía avanzada.

A partir de esta época se hace muy complicado analizar el volumen de negocio de los UAS restringidos al ámbito militar porque, como se ha visto en los anteriores capítulos, se están empleando para la guerra muchos sistemas puramente comerciales, disponibles en el mercado civil y en ocasiones con modificaciones artesanales.

Se constata también que la iniciativa ya no es de las grandes corporaciones industriales, sino que son las pequeñas y medianas empresas las que desarrollan e innovan a mayor velocidad, y tienen la agilidad suficiente para iterar en ciclos muy cortos, con nuevos desarrollos que incorporan los avances inmediatamente al mercado.

La consecuencia de ello es que estos sistemas están cada vez más especializados en una misión concreta. La enorme variedad de cargas útiles, el software y el procesamiento a bordo capacitan a los UAS a realizar muchas más misiones y funciones. Ya no se limitan a vigilar o a soltar pequeñas cargas explosivas, las misiones se corresponden cada vez más a las necesidades concretas en el frente.

Aún con estas dificultades, se podría hacer una estimación del volumen de mercado, a partir de las cifras en las que se iniciaba esta tercera edad, en 2020, con unos 12.000 millones de dólares.

Si nos ceñimos a sistemas puramente militares, la previsión puede estar en torno a 18.000 ó 20.000 millones de dólares, pero como se ha comentado, la demanda militar se está empezando a cubrir también con sistemas comerciales, sobre todo en zonas de conflicto, donde las velocidades de fabricación no se pueden adaptar a las cifras de pérdidas diarias.

El coste promedio todavía es más complicado de estimar, y habría que distinguir entre categorías o clases. Si se habla de sistemas FPV OWA artesanales, los costes de fabricación varían entre cientos de dólares, hasta algunos miles, dependiendo de si se incluyen sistemas de transmisión robustos a la guerra electrónica, sistemas de navegación visuales con algoritmos de IA y también debido al coste de la carga explosiva que incorporan.

En el caso de sistemas UAS militares tipo micro, de unos 2 kg de peso y de empleo por un combatiente, fabricados por industrias como la francesa PARROT ANAFI, y las americanas SKYDIO o REDCAT-TEAL Drones, se estaría en torno a los 25.000 dólares por plataforma.

Los sistemas militares más complejos, tipo mini, de hasta 15kg de peso pueden estar en torno a los 200.000 – 350.000 € por sistema (suelen ser dos UAS y una estación de control), y destacan fabricantes israelíes como ELBIT, alemanes como QUANTUM, de Europa del Este, como WB Group o THREOD Systems, americanas como AEROVIRONMENT, etc.

Como resumen de este análisis por fases o edades, se muestra a continuación una gráfica que muestra los cambios de tendencia en el volumen global de ventas de UAS militares en el periodo 1995-2024.

Extrapolando las tendencias actuales, se pueden proyectar tres escenarios para los próximos cinco años:

1. **Escenario optimista:** se prevé un crecimiento acelerado, con una tasa de crecimiento anual de hasta 10%, lo que llevaría el mercado a superar los 25.000 millones de dólares en 2030, impulsado por el auge de la IA y los sistemas autónomos. Se consideraría pequeña la influencia de derivados comerciales y UAS artesanales en el mercado de defensa.
2. **Escenario medio:** un crecimiento estable del 6-7%, alcanzando un mercado de 22.000 millones de dólares para 2030.
3. **Escenario pesimista:** factores económicos y geopolíticos podrían ralentizar el crecimiento a un 4-5%, con un mercado de 20.000 millones de dólares para 2030. Básicamente una guerra comercial con China que limitara la llegada de componentes a Occidente.

Como resumen, el mercado de UAS militares ha experimentado un crecimiento exponencial, pasando de unos pocos grandes fabricantes a una industria global diversa con una multitud de pequeños y medianos productores.



## Evolución del volumen de ventas global de UAS militares (199X-2024)

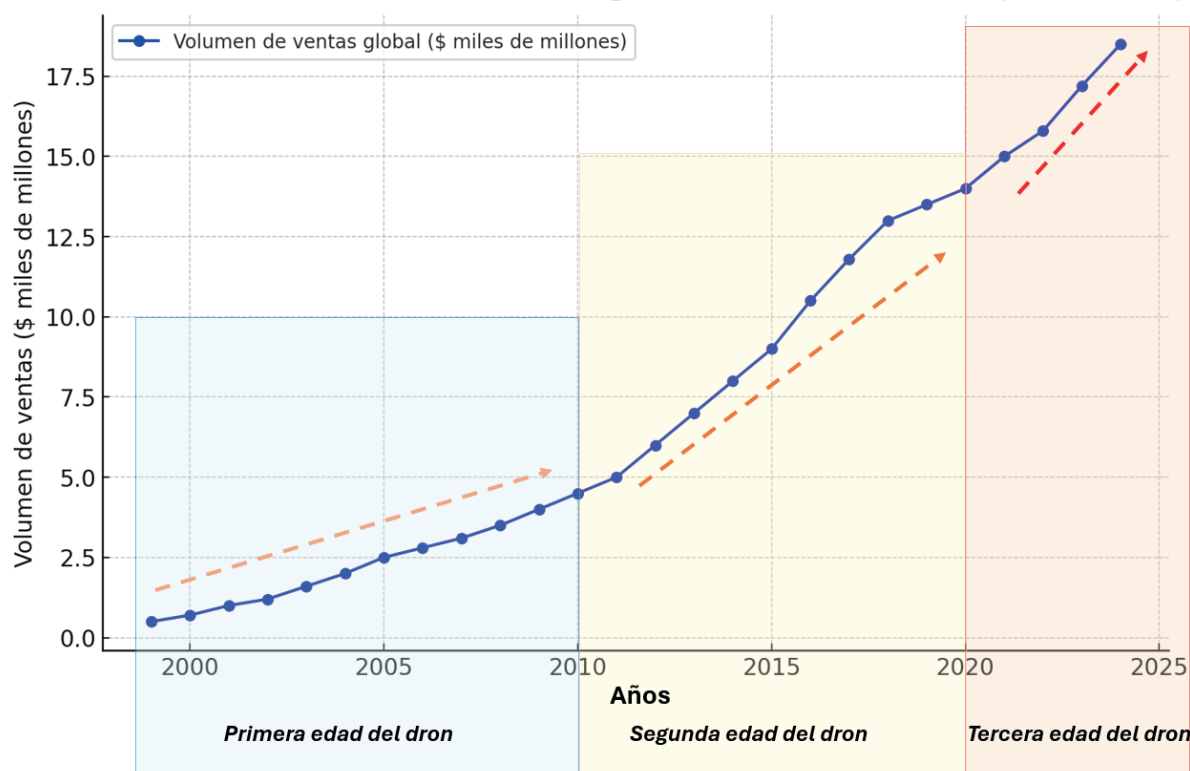


Figura 33. Evolución del volumen de ventas UAS militares (199x-2024). Fuente: elaboración propia a partir de informes de mercado comerciales

La evolución ha sido impulsada por el aumento de la demanda de plataformas más accesibles, la entrada de nuevos actores, la reducción de costes, la evolución tecnológica y, sobre todo, el protagonismo que han tenido en los últimos conflictos.

En el futuro se espera que la progresión siga en ascenso, y la pendiente dependerá ya de que el mercado de componentes sea capaz de satisfacer la creciente demanda.

proporcionar unas capacidades muy exigentes, entre las que destacan la robustez en su operación, una altísima fiabilidad y disponibilidad, la baja huella logística, la inmediatez en su empleo y la seguridad física para los operadores.

Tienen que afrontar una menor demanda, debida al limitado número de usuarios y a los ajustados presupuestos de defensa, que tienen que ser repartidos cuidadosamente entre las numerosas necesidades operativas existentes.

A pesar de estas dificultades, es indiscutible que existe un gran nicho de mercado para UAS militares y afortunadamente en España se dispone de un tejido industrial con un nivel tecnológico de alto nivel y con amplia presencia internacional.

Para tratar de solventar las limitaciones y para dar un impulso a la industria nacional en este sector, el Ministerio de Defensa, a través de la Dirección de Armamento y Material, DGAM, estableció un programa de experimentación con el objetivo de acercar las necesidades operativas de las FAS a las propuestas técnicas de las empresas, y de esa manera, tratar de alinearlas, con el objetivo de tener soluciones nacionales viables. Este programa se denominó RAPAZ.

## 4. LA INDUSTRIA ESPAÑOLA DE UAS MILITARES

### 4.1. Un sector complejo

Ya se ha visto que las empresas fabricantes de UAS militares tienen unos condicionantes importantes, añadidos a las equivalentes del sector civil.

Técnicamente, los UAS de defensa, además de cumplir con unos mínimos de seguridad operacional, tienen que

## 4.2. El programa de experimentación RAPAZ de la DGAM

El proyecto RAPAZ fue una iniciativa lanzada a partir del año 2015 por el Ministerio de Defensa, a través de la DGAM, y recogido en el Plan Director de RPAS de 2015<sup>125</sup>.

Los objetivos principales fueron el comprobar el estado del arte y las capacidades de la industria nacional en el desarrollo de UAS de clase I, así como facilitar a los diferentes fabricantes nacionales las necesidades de nuestras FAS, de cara a fomentar la competitividad en un futuro proceso de adquisición de este tipo de sistemas. Para ello, el Ministerio de Defensa ha ido llevando a cabo la evaluación de diferentes UAS, mediante la realización de campañas de vuelo en el seno de actividades de instrucción y adiestramiento de las diferentes unidades de las FAS, a lo largo de tres fases.

La **FASE 1** del Proyecto RAPAZ comprendió la evaluación operativa de los primeros UAS seleccionados por la DGAM, que tenían un grado de madurez suficiente para usarlos en ejercicios por las unidades que los deberían de operar en el futuro.

Esta evaluación de los sistemas UAS proporcionó a las empresas participantes la identificación de aspectos a mejorar y/o desarrollar para cumplir con los requisitos que se derivaban de las necesidades expresadas por las unidades militares participantes.

La **FASE 2** comprendió otra campaña de ejercicios en la que ya se hizo una preselección de los candidatos más idóneos para cada unidad, en base a las primeras evaluaciones de la FASE 1.

Esta evaluación permitió validar el estado del arte de los sistemas UAS nacionales en un ambiente real y táctico, integrándose en espacio aéreo segregado y compartido con otras aeronaves con vuelos diurnos y nocturnos.

Y, por último, la **FASE 3**, dónde se estableció un proceso de obtención inicial y su incorporación a las FAS para una evaluación más en detalle, tras los resultados alcanzados en campañas de vuelo descentralizadas.



Imagen 76. Algunas imágenes de las campañas de vuelos del programa RAPAZ. Fuente web DGAM y fotografías del autor.

125. <https://working.mde.es/Galerias/dgamdocs/plan-director-RPAS.pdf>



Imagen 76. Algunas imágenes de las campañas de vuelos del programa RAPAZ. Fuente web DGAM y fotografías del autor.

La DGAM, dentro del Proyecto RAPAZ, ha ido adquiriendo, entre otros, los siguientes sistemas: Wasp AE (AeroVironment), Huginn X-1 (Sky-Watch), Alcotán (USOL), Cóndor (Dronetools), Atlantic y Tucán (SCR), Fulmar (Sistem/Thales), Orbiter 3 (Aeronautics), Black Hornet (FLIR/ Prox Dynamics), Alpha 800 y Alpha 900 (Alpha Unmanned Systems), Mantis EQF (Indra), Seeker (GMV) y Tarsis 75 (AERTEC).

### **4.3. Debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades de la industria nacional de UAS**

Para ver las particularidades del sector industrial de los UAS en España, se va a realizar un pequeño ejercicio de evaluación DAFO, acrónimo que procede de las iniciales de los conceptos que se analizan: las principales debilidades, las posibles amenazas, las principales fortalezas y las oportunidades que se puedan presentar.

#### **4.3.1. Principales debilidades**

Las debilidades de este sector en España, es decir, las limitaciones internas, pueden estar centradas, en el lado de la demanda, en la falta de contratos nacionales y en la dificultad innata de innovar y emprender en nuestro país, debido entre muchas otras cosas a la falta del suficiente apoyo institucional y, desde el lado de la oferta, a algunas carencias en cuanto a cultura emprendedora y a la dificultad de encontrar financiación en este segmento industrial por parte de las empresas más pequeñas y/o de reciente creación.

Otra debilidad interna es la normativa aplicable a estos sistemas, que siempre parece ir varios pasos por detrás de la técnica y de las capacidades que van adquiriendo y supone, en muchos casos, un obstáculo para empresas y usuarios.

#### **4.3.2. Posibles amenazas del sector.**

Las amenazas son factores externos que limitan en desarrollo del negocio y sobre los que no se tiene control.

Probablemente las mayores amenazas a las que estas empresas se pueden enfrentar vendrían dadas por la competencia internacional, teniendo en cuenta el mundo globalizado actual y la facilidad de acceso a la tecnología de empresas de países emergentes.

Además, como ya se ha visto, los condicionantes de la industria de defensa, en especial la limitada demanda militar al menos para los sistemas de tamaño medio o grande.

Otra amenaza que compartimos con el resto de Europa, como ya se ha visto, es la dependencia tecnológica de proveedores externos y que puede limitar el acceso a los componentes tecnológicos que no sean de fabricación nacional.



### 4.3.3. Principales fortalezas

Por el lado de las fortalezas, factores internos sobre los que se tiene control y benefician la competitividad, habría que destacar el gran nivel de conocimientos de los profesionales españoles, la innegable experiencia y tradición en fabricación para la defensa que ha habido en nuestro país, y la pertenencia de España a organismos y alianzas como la Unión Europea, la OTAN, la EDA, etc.

Estos elementos deberían posibilitar una mayor visibilidad de nuestras empresas y el acceso a un potencial intercambio de conocimientos y tecnologías, mediante la participación en consorcios y en programas europeos y a nivel OTAN.

Además, nuestro país posee unas buenas condiciones climáticas, unas infraestructuras avanzadas para el sector, y un espacio aéreo menos saturado que el de centro Europa.

### 4.3.4. Oportunidades que se presentan

Finalmente, como oportunidades, los condicionantes externos que se deben aprovechar, indicar que las industrias españolas tienen una tradicional facilidad en acceder a dos mercados diferentes, el iberoamericano y el europeo, con los que compartimos cultura empresarial y vínculos comerciales, que, aún en un mundo tan globalizado, hacen que las oportunidades de negocio sean mayores que en otros países.

Y como se ha visto en las fortalezas, la pertenencia a organismos de defensa como OTAN, nos permite participar en consorcios y programas conjuntos y acceder a fondos europeos de financiación en el ámbito de la defensa.

Hay que mencionar y destacar, además, los casos de éxito que han tenido empresas españolas en mercados tan complicados como el de oriente medio o el asiático, lo que refuerza la idea de la competitividad demostrada.



Figura 34. Análisis DAFO simplificado de la Industria española de UAS militares. Fuente: elaboración propia



## 4.4. Casos de éxito

Una vez analizado el sector, se van a comentar casos de éxito de empresas españolas con volumen de negocio significativo y presencia internacional.

Es complicado nombrar todas las compañías nacionales de este sector en este reducido epígrafe, pero al menos se tratará de hacer un resumen que incluya a las más relevantes, **desde el punto de vista de su participación en los programas de I+D promovidos desde Defensa**, sin pretender ser exhaustivos.

Un listado más completo se puede obtener de publicaciones especializadas, mucho más detalladas al respecto (por ejemplo, Perfiles IDS<sup>126</sup>).

En el ámbito de grandes empresas fabricantes de UAS, destacamos:

- La división española de AIRBUS, involucrada en proyectos como el SIRTAP y participante en programas como EURODRONE y FCAS.
- El consorcio SATNUS (GMV, SENER Aeroespacial y TECNOBIT-Grupo OESÍA) que lidera el Pilar Tecnológico de Operadores Remotos en FCAS.

Otras empresas relevantes en este sector incluyen:

- INDRA, que ofrece sistemas UAS y OPV (*Optionally Piloted Vehicle* – Vehículo Opcionalmente Pilotado), y coordina el programa FCAS.
- Telefónica, que proporciona infraestructura de redes móviles para pruebas de comunicaciones a larga distancia.

En el segmento de pequeñas y medianas empresas (PYMES), destacan compañías como:

- SISTEM / WAKE, con el sistema Fulmar;
- SCR, integrada en el grupo SENER, con UAS Atlantic y Tucán y blancos aéreos SCRAB y ALBA.
- AUREA Avionics y GMV, con los sistemas Seeker, Passer y Solo.
- AERTEC, con los modelos Tarsis ISTAR y W.
- ALPHA UNMANNED, con los helicópteros Alpha 800 y Alpha 900 con gran éxito de ventas.
- ETRAIR, con amplia variedad de multicópteros y VTOL.

- SDLE, también con sistemas UAS multicópteros.
- MARINE INSTRUMENTS, con un UAS de ala fija, AIRFOX, adquirido por la Armada española.
- MAGLINE, con diversos sistemas comercializados.

Empresas especializadas en sistemas UAS en enjambre y munición merodeadora son:

- SWARMING TECHNOLOGIES SOLUTIONS, del grupo ZELENZA.
- ARQUIMEA, con desarrollos competitivos en plataformas, loitering munition, software y algoritmos de vuelo en enjambre.

Otras empresas que contribuyen al ámbito de defensa en este segmento son:

- SINGULAR AIRCRAFT.
- UMILES.
- QUATERNIUM.
- SITEP.
- DEIMOS.
- DRONETOOLS.
- SKYDWELLER.
- HELIX NORTH del Grupo AICOX.
- IMS Drones.

Muchas de estas empresas, a menudo colaboran con organismos públicos como el INTA, fundaciones y centros de investigación como:

- FADA-CATEC.
- CIAR en Lugo (INTA).
- CEUS en Huelva (INTA).
- ATLAS en Jaén.

Además, empresas que desarrollan servicios, tecnologías o subsistemas del sector incluyen fabricantes de autopilotos y equipos de navegación como:

- UAV NAVIGATION.
- EMBENTION.

126. Perfiles Sistemas no tripulados. Radiografía y perspectiva de una realidad multidominio: <https://www.infodefensa.com/file/view/43794>.

RPAS: una realidad en defensa y seguridad: <https://www.infodefensa.com/file/view/24603>

Fabricantes e integradores de cargas de pago específicas como:

- INSTALAZA.
- CENTUM.
- EXCEM.
- TECNOBIT.
- ABIONICA.

Empresas de enlaces de comunicaciones como: WAVENET.

Empresas de tecnología de materiales y recubrimientos para reducir significativamente la firma radar, como MICROMAG.

Y, por último, start-up innovadoras como RED TEAM SHIELD, que ofrece soluciones de entrenamiento en defensa contra drones comerciales letalizados y análisis de datos.

Estas empresas suelen formar parte de asociaciones como TEDA<sup>127</sup> (Asociación Española de Empresas Tecnológicas de Defensa, Seguridad, Aeronáutica y Espacio), que publican listados de productos y fabricantes, donde se puede ampliar la breve información aquí contenida.



## CONCLUSIONES

Este capítulo ha tratado de resumir la evolución de la industria de UAS militares a lo largo de los últimos años, en esos períodos que se han identificado como las tres edades del dron y en los que la estructura del sector ha ido cambiando.

Se pasó de una gran industria tradicional a empresas cada vez más pequeñas, dinámicas, sin tantas rigideces y sin grandes costes fijos, que permiten unos ciclos de innovación mucho más rápidos, acordes con los cambios en la demanda (iniciativas como la americana *Replicator*), que a su vez requieren que los desarrollos tecnológicos y el estado del arte esté disponible y entre en servicio lo antes posible.

Esto ha supuesto un cambio de paradigma entre la tradicional industria de defensa, formados por grandes corporaciones, herederas de las fusiones y adquisiciones de la postguerra fría, con importantes costes fijos y grandes inercias a la hora de incorporar innovación, a pequeñas y medianas empresas de relativa reciente creación, con una base muy fuerte en tecnología y con conceptos muy diferentes a la hora de aplicar cambios disruptivos y nuevas ideas (*think outside the box*).

Así se puede ver en EE. UU. empresas tecnológicas especializadas en software e inteligencia artificial están arañando poco a poco cuota de mercado a grandes gigantes de la defensa.

Además, estas tecnológicas están adquiriendo o fusionándose a fabricantes tradicionales de UAS, porque, en muchos casos, el UAS no se ve más que como una plataforma, un vector que proporciona unas capacidades a todo un entorno o ecosistemas de servicios, los cuales son en realidad el producto que se comercializa.

Estas empresas también son más conscientes de la feroz competencia china en cuestiones de tecnología militar. El modelo de negocio, como se ve, está cambiando, al menos en estas empresas tecnológicas, de fabricar y vender la plataforma que integra los sensores y armas, a ofrecer todo un ecosistema automatizado de mando y control incluyendo procesos autónomos de toma de decisiones.

En el mundo civil se está viendo algo parecido, cómo muchos fabricantes optan por ofrecer los servicios que proporcionan sus UAS, sin llegar a venderlos. El servicio incluye el aportar los operadores y los técnicos para puesta a punto y mantenimiento. Así, las empresas no se tienen que preocupar de la compra, mantenimiento y formación de operadores y demás personal técnico, ni del mantenimiento de licencias y permisos de vuelo.

Europa parece que está empezando a tomar conciencia de las graves carencias en fabricación de componentes, y en la enorme dependencia que se tiene, sobre todo de países alejados geográfica y políticamente, como es el caso de China.

En España, dentro de la Estrategia Industrial de la Defensa publicada en 2023, se establecieron para ello tres principios básicos:

- 1.- Aumentar el nivel de autonomía estratégica.
- 2.- Contribuir a la Europa de la Defensa.
- 3.- Consolidar una Base Industrial y Tecnológica de la Defensa.

Otro documento que está ayudando a impulsar el sector será la Estrategia de Tecnología e Innovación para la Defensa (2020), donde se define la dirección estratégica de la Investigación, Desarrollo e Innovación del Ministerio de Defensa, con el objetivo de adaptarse a las nuevas amenazas, avances tecnológicos y oportunidades para la capacitación de la Base Industrial y Tecnológica de la Defensa.

Con las mencionadas estrategias se busca fortalecer la autonomía de España en el sector, respondiendo a un contexto geopolítico marcado por la vulnerabilidad de las cadenas de suministro globales y la guerra en Ucrania, alineándose con las directrices de la UE y la OTAN, para construir una soberanía estratégica sostenible e impulsar la industria nacional de defensa.

Con un incremento presupuestario del 26% y el objetivo de alcanzar el 2% del PIB en 2029, la estrategia pretende además posicionar a las empresas españolas en el mercado europeo de defensa, potenciar el tejido industrial tecnológico, generar empleo de alta cualificación y fomentar la cohesión territorial.

1. Martí Sempere, C. (2013). La industria de defensa. Principales características y eficiencia de un sector estratégico. *Revista de Economía Industrial*, 388, 0422-2784.  
<https://www.mintur.gob.es/es-ES/Publicaciones/Paginas/detallePublicacionPeriodica.aspx?numRev=388>
2. NATO. (2023). *Defence Expenditure of NATO countries (2014-2023)*. [https://www.nato.int/nato\\_static\\_fl2014/assets/pdf/2023/7/pdf/230707\\_def\\_exp\\_2023\\_en.pdf](https://www.nato.int/nato_static_fl2014/assets/pdf/2023/7/pdf/230707_def_exp_2023_en.pdf)
3. Ltd, R. A. M. (s. f.-b). *Military Drones Global Market Report 2024 - Research and Markets*. Research And Markets Ltd 2024.  
<https://www.researchandmarkets.com/reports/5939758/military-drones-global-market-report>
4. Colchester, M., Luhnow, D. y Pancevski, B. (2023, 11 diciembre). *Alarm grows over weakened militaries and empty arsenals in Europe: Budget cuts and an eroded weapons industry have hollowed out armed services; Russia's invasion of Ukraine reveals risks*. The Wall Street Journal.  
<https://www.wsj.com/world/europe/alarm-nato-weak-military-empty-arsenals-europe-a72b23f4>
5. Comisión Europea (2023). Estrategia europea de seguridad económica. Alto Representante de la Unión para Asuntos Exteriores y Política de Seguridad.  
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:52023JC0020>
6. Comisión Europea. (s. f.). Estrategia industrial europea.  
[https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities\\_2019\\_2024/europe-fit-digital-age/european-industrial-strategy\\_es](https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities_2019_2024/europe-fit-digital-age/european-industrial-strategy_es)
7. Comisión Europea. (s. f.). Ley Europea de Chips  
[https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/europe-fit-digital-age/european-chips-act\\_es](https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/europe-fit-digital-age/european-chips-act_es)
8. European Union (s.f.). Strategic Technologies for Europe Platform - European Union (STEP). Strategic Technologies for Europe Platform.  
[https://strategic-technologies.europa.eu/index\\_en](https://strategic-technologies.europa.eu/index_en)
9. *H.R.4346 - 117th Congress (2021-2022): CHIPS and Science Act. (2022)*.  
<https://www.congress.gov/bill/117th-congress/house-bill/4346>
10. Center for Strategic and Budgetary Assessments. (2024). *Sustaining Critical Sectors of the U.S. Defense Industrial Base*. CSBA.  
<https://csbaonline.org/research/publications/sustaining-critical-sectors-of-the-u-s-defense-industrial-base>
11. Fonfria, A. (2021). *La industria de defensa en el mundo: hechos estilizados y tendencias* - Revista de Estudios en Seguridad Internacional.  
<https://seguridadinternacional.es/resi/html/la-industria-de-defensa-en-el-mundo-hechos-estilizados-y-tendencias/>
12. Macdonald, J. S. A. J. (2024b). *Why troops don't trust drones: The «Warm Fuzzy» problem*. Foreign Affairs.  
<https://www.foreignaffairs.com/articles/united-states/2017-12-20/why-troops-dont-trust-drones>
13. Newdick, T. y Rogoway, T. (2023, 28 agosto). *Replicator Is DoD's Big Play to Build Thousands of Autonomous Weapons In Just Two Years*. The War Zone.  
<https://www.twz.com/replicator-is-dods-big-play-to-build-thousands-of-autonomous-weapons-in-just-two-years>
14. Ministerio de Defensa (2015). *Plan Director de RPAS. Remotely Piloted Aircraft System*. DGAM. Ministerio de Defensa.  
<https://working.mde.es/Galerias/dgamdocs/plan-director-RPAS.pdf>
15. Rogers, J. P. (2024). *De Gruyter Handbook of Drone Warfare*. Walter de Gruyter GmbH & Co KG.  
<https://doi.org/10.1515/9783110742039>
16. Ministerio de Defensa. (2023). Estrategia industrial de defensa 2023.  
[https://publicaciones.defensa.gob.es/media/downloadable/files/links/e/s/estrategia\\_industrial\\_de\\_defensa\\_2023.pdf](https://publicaciones.defensa.gob.es/media/downloadable/files/links/e/s/estrategia_industrial_de_defensa_2023.pdf)
17. Ministerio de Defensa (2020). Estrategia de Tecnología e Innovación para la Defensa.  
[https://publicaciones.defensa.gob.es/media/downloadable/files/links/e/t/etid\\_estrategia\\_de\\_tecnolog\\_a\\_e\\_innovaci\\_n\\_para\\_la\\_defensa\\_2020.pdf](https://publicaciones.defensa.gob.es/media/downloadable/files/links/e/t/etid_estrategia_de_tecnolog_a_e_innovaci_n_para_la_defensa_2020.pdf)
18. Bueno Pérez, D. (2023). Industria española de drones militares: Un breve análisis. *Revista Ejército*, 695, 98.  
[https://bibliotecavirtual.defensa.gob.es/BVMDefensa/es/catalogo\\_imagenes/grupo.do?path=324031](https://bibliotecavirtual.defensa.gob.es/BVMDefensa/es/catalogo_imagenes/grupo.do?path=324031)



# BIOGRAFÍAS

**DIEGO BUENO PÉREZ**

Biografía en capítulo 1.



# Retos de futuro y conclusiones

---

Juan Manuel García Montaña  
Diego Bueno Pérez

“Las clásicas operaciones a gran escala con un consumo increíble de recursos no sólo han perdido su relevancia, sino que incluso se han vuelto suicidas. Pero esto sólo lo saben Ucrania y Rusia.”

Valerii Fédorovych Zaluzhnyi. Excomandante en jefe de las Fuerzas Armadas Ucranianas.

Los sistemas aéreos no tripulados (UAS) militares representan una evolución tecnológica fundamental en el arte de la guerra moderna.

A lo largo de su desarrollo han transitado desde conceptos primitivos hasta convertirse en herramientas estratégicas imprescindibles en los conflictos contemporáneos. Su arquitectura básica mantiene una estructura común: un componente aéreo, un sistema de control terrestre y canales de comunicación.

Sin embargo, la diversidad de sus capacidades es extraordinaria, desde grandes sistemas de reconocimiento estratégico hasta pequeños dispositivos tácticos desplegables por unidades de combate.

La tendencia histórica de proyectar fuerza a distancia encuentra en los UAS su expresión más avanzada. Permiten ejecutar misiones complejas minimizando el riesgo para el personal militar, aprovechando tecnologías de comunicación satelital, sensores de precisión y sistemas de navegación de última generación.

En este sentido, podría parecer que nos acercamos al paradigma de poder adueñarse de una zona o porción del campo de batalla prácticamente sin necesidad de presencia física, o en número muy limitado, lo que echaría por tierra el clásico principio de ocupación humana del terreno para dominarlo (*boots on the ground*).

El conflicto en Ucrania ha evidenciado su importancia crítica, transformando tácticas militares tradicionales. El uso masivo de drones ha modificado la movilidad de unidades blindadas, generando un escenario que recuerda en algunos aspectos a la guerra de trincheras.

No obstante, su proliferación plantea desafíos significativos. La accesibilidad tecnológica para actores no estatales, incluyendo grupos terroristas y organizaciones criminales, representa una amenaza emergente que requiere desarrollo de sistemas defensivos y marcos regulatorios específicos.

Unos de los desafíos más controvertidos es la deshumanización del enfrentamiento, ya que los operadores de estos sistemas pueden estar ubicados a mucha distancia del lugar donde se desarrolla, pudiéndose tomar decisiones sin la presión ni la inmediatez del combate, actuando de forma fría y mecánica, de manera similar a cómo se actuaría en una simulación o juego de guerra virtual.

Surge la duda de si estamos en los inicios de guerras desarrolladas casi enteramente por máquinas más o menos autónomas, diseñadas y programadas por humanos.

No podemos saberlo aún, pero lo que sí está claro es que los UAS militares se han convertido en un componente indispensable de las fuerzas armadas modernas, cuya evolución continua seguirá transformando los paradigmas de la seguridad internacional.



# 1. RESUMEN DE CONCLUSIONES

La evolución de los Sistemas Aéreos No Tripulados (UAS) militares ha experimentado una transformación significativa desde sus inicios, marcando un hito en la tecnología aeronáutica moderna.

Aunque su desarrollo comenzó en los albores de la aviación, no fue hasta principios del siglo XXI cuando se desencadenó una auténtica revolución tecnológica, industrial y social en torno a estos sistemas, tanto en el ámbito civil como en el militar.

Esta evolución, inicialmente lenta, se ha acelerado drásticamente en los últimos años, impulsada por innovaciones tecnológicas y necesidades bélicas que han expandido sus capacidades hasta niveles sin precedentes.



Imagen 77. Empleo de un DJI Mavic en el frente ucraniano. Fuente: Facebook General Staff of the Armed Forces of Ukraine. Permisos solicitados.

## La Invasión rusa de Ucrania

El conflicto entre Rusia y Ucrania ha supuesto un punto de inflexión en el uso y producción de UAS, marcando un cambio de paradigma en la guerra moderna. La escala de fabricación de estos sistemas en el frente de batalla ha alcanzado cifras millonarias anuales, equiparables a la producción de munición y superando ampliamente la fabricación tradicional de aeronaves tripuladas, misiles de crucero o bombas inteligentes.

Este fenómeno ha puesto de manifiesto la creciente importancia de los UAS en los conflictos contemporáneos y ha catalizado una serie de innovaciones rápidas en este campo.

En este contexto, la necesidad de innovar con rapidez ha llevado a numerosas iniciativas que han transformado el panorama de los UAS militares.

Se ha observado un trabajo en equipo sin precedentes entre pequeñas empresas, universidades, grupos de voluntarios y el ejército, con ciclos de diseño acelerados que permiten implementar cambios cada seis semanas o menos.

La adopción de arquitecturas abiertas ha facilitado las modificaciones y mejoras continuas, mientras que el desarrollo de sistemas compactos, incluyendo el uso de fibra óptica en UAS de ataque cercano, ha ampliado las capacidades operativas de estos sistemas.

Además, se ha evidenciado un cambio en el protagonismo desde los sistemas grandes y complejos hacia sistemas más pequeños, muchos de ellos derivados del mundo comercial civil o incluso de fabricación artesanal.

## UAS militares en España

En España, la incorporación de UAS militares en las Fuerzas Armadas ha sido impulsada principalmente por las necesidades operativas en los despliegues en zonas de operaciones.

La experiencia acumulada a lo largo de los últimos años en misiones en el exterior y en operaciones y ejercicios con aliados ha proporcionado un conocimiento invaluable para enfrentar los nuevos desafíos en el complejo mundo actual de la defensa.

Los nuevos programas de adquisición lanzados por la Dirección General de Armamento y Material (DGAM) y el



Ejército de Tierra confirman el creciente interés en estas tecnologías y auguran un aumento en las capacidades adquiridas a través del uso de estos sistemas en el futuro próximo.

## La clasificación de los UAS

La evolución conceptual y la clasificación de los UAS han experimentado cambios significativos a lo largo del tiempo, adaptándose no solo a sus capacidades operativas en constante expansión, sino también a las nuevas inquietudes sociales.

Se ha puesto énfasis en destacar la presencia de un operador humano detrás de estos sistemas, subrayando que, por ahora, no toman decisiones autónomas.

Esta adaptación terminológica refleja un esfuerzo por proyectar una imagen más positiva y actual de cara a la sociedad. En este sentido, en el ámbito anglosajón, por ejemplo, la “U” en UAS ha pasado de significar *Unmanned* a *Uncrewed*, reflejando esta evolución conceptual.

La clasificación de los UAS está evolucionando hacia un enfoque más holístico, considerando la operación, el escenario y los riesgos asociados, en lugar de centrarse únicamente en características físicas o prestaciones específicas de la plataforma.

Este enfoque integral considera una amplia gama de factores, incluyendo usuarios y operadores, reguladores, fabricantes, autoridades de certificación, control aéreo, infraestructuras y factores climatológicos.

Esta perspectiva amplia no solo mejora la clasificación del binomio sistema/operación, sino que también facilita el estudio de seguridad y la implementación de medidas de mitigación para aumentar la seguridad operacional del sistema.

## Seguridad, aeronavegabilidad y certificación de los UAS

Así mismo, esta visión global debería influir positivamente en la determinación y demostración de la aeronavegabilidad de los UAS.

Se sugiere que la normativa aplicable se haga más específica para estos sistemas, considerando su arquitectura extendida. Se ha observado que las normas y requisitos documentales actuales para certificar la aeronavegabilidad de los UAS podrían ajustarse mejor según el tamaño y la misión de cada sistema.

En particular, se considera conveniente reducir la carga de trabajo requerida en el proceso de certificación para los UAS de pequeño tamaño. Esto implicaría flexibilizar los estándares exigidos, adaptándolos de forma más proporcional a las características y usos específicos de cada tipo de UAS.

La simplificación del proceso de certificación de las plataformas, sin comprometer los estándares de seguridad, facilitaría el desarrollo del sector de UAS militares en España, permitiendo a fabricantes y usuarios superar barreras y competir con éxito en mercados internacionales.

Se propone avanzar en un enfoque normativo que no se limite a transponer los requisitos de la aviación tripulada, reconociendo las diferencias operativas significativas entre ambos tipos de sistemas.

En el ámbito civil, ya se ha adoptado un enfoque basado en la operación específica y los riesgos asociados, considerando la arquitectura extendida del sistema.

Este cambio de enfoque debería extenderse también a la formación y los requisitos para obtener licencias de operador de UAS militar (DUO).

## Capacidades y misiones

Las capacidades y misiones de los UAS militares abarcan un amplio espectro de operaciones, desde vigilancia y reconocimiento, hasta apoyo logístico y combate directo. Esta versatilidad se refleja en la diversidad de plataformas existentes, que van desde UAS diminutos de apenas 30 gramos hasta aeronaves de gran envergadura que superan varias toneladas de peso.

Los sistemas de pequeño tamaño, diseñados para apoyo al combatiente, ofrecen una visión sin precedentes del entorno cercano, aumentando significativamente la conciencia situacional del soldado en el campo de batalla.

A medida que aumenta el tamaño de los UAS, se observan mejoras en tiempo de vuelo, alcance y capacidad de proporcionar información táctica de alta calidad a puestos de mando avanzados.

Los sistemas de mayor envergadura cumplen funciones estratégicas, ofreciendo una visión global del campo de batalla desde altitudes elevadas y durante largos períodos, satisfaciendo las necesidades de inteligencia en niveles superiores de mando.

El próximo paso en la evolución de los sistemas no tripulados se centra en las capacidades de transporte y logística. La posibilidad de llevar suministros a primera línea sin exponer vidas humanas y el potencial para misiones de evacuación de heridos desde la línea de combate (CASEVAC) están impulsando el desarrollo en esta área.

Estos avances están siendo impulsados en parte por los progresos en movilidad urbana civil, incluyendo la entrega de paquetes y el transporte de personas.

A pesar de su efectividad e importancia en las operaciones militares modernas, los UAS presentan vulnerabilidades significativas. Su enlace de comunicaciones es susceptible a interferencias y ataques cibernéticos, mientras que su dependencia de sistemas externos, particularmente en posicionamiento y navegación, los hace vulnerables en entornos hostiles.

Sin embargo, las mayores ventajas en el empleo de UAS provienen del componente humano, incluyendo las habilidades de pilotaje y control, así como las tácticas, técnicas y procedimientos (TTP) en constante evolución.



*Imagen 78. Recepción del primer sistema Predator B del Ejército del Aire y del Espacio en la Base de Talavera (Badajoz). Fuente: Facebook EA*

En el ámbito de las misiones de ataque, se está presenciando una revolución en innovaciones, diseños y capacidades. Los pequeños drones civiles de carreras, adaptados para uso militar (UAS FPV OWA), son ahora responsables de más de la mitad de los daños y destrucción de vehículos logísticos y blindados en el conflicto en Ucrania.

La amenaza para las tropas en el terreno se ha extendido verticalmente, obligando a una vigilancia constante del espacio aéreo.



*Imagen 79. Preparando UAS FPV en el frente. Fuente: Facebook General Staff of the Armed Forces of Ukraine. Permisos solicitados.*

Sistemas más grandes, derivados de blancos aéreos y pequeñas aeronaves civiles, se han convertido en armas capaces de golpear tras las líneas enemigas a cientos de kilómetros, como se ha estado viendo en el conflicto de Ucrania.

La munición merodeadora tradicional está siendo complementada por el empleo masivo de UAS OWA FPV en Ucrania y en otros conflictos asimétricos.

El uso de la fibra óptica como medio de comunicación entre el operador y el UAS ha revolucionado recientemente la forma de abordar la amenaza, dejando de ser efectiva en muchos casos la guerra electrónica, hasta ahora, el principal medio para frenar los UAS LSS.

El uso de repetidores embarcados en otros UAS de tamaño medio, añadido a la capacidad de actuar como nodrizas de pequeños UAS OWA, y junto con la mejora en el reconocimiento de objetivos y la autonomía final en la última fase del ataque, van a hacer más complicado todavía el frenar o defenderse de estos sistemas.

Y no hay que olvidar que ahora mismo prácticamente los únicos que están obteniendo lecciones valiosísimas de su empleo, sus posibilidades y su evolución son las fuerzas armadas ucranianas y las de la Federación Rusa, junto con otros combatientes como unidades del ejército norcoreano y algunas milicias privadas.

### Los componentes esenciales

Esta demanda creciente ha generado cuellos de botella en la adquisición de componentes esenciales, especialmente

en electrónica, motores y baterías de polímero de litio, cuya producción está casi monopolizada por China.

En Europa y en Estados Unidos se empiezan a implementar medidas para revertir esa dependencia y tratar de volver a tener una fabricación local de dichos elementos, en especial microelectrónica y baterías.

No será fácil porque, a diferencia de China, en Occidente se tienen carencias en elementos de fabricación y sobre todo de técnicos de nivel bajo y medio, especializados y con las suficiente destreza y experiencia como para mantener unas líneas de producción con volúmenes significativos.

Elementos críticos de esta dependencia son los imanes de neodimio de los motores brushless, y las celdas y elementos primarios de las baterías de Litio Polímero. En ambos casos, y junto con las tierras raras y la producción masiva de chips, el mundo sigue dependiendo del gigante asiático.

Se está viendo recientemente en Ucrania como una de las prioridades es la fabricación local de todos los componentes necesarios para la fabricación de los UAS, sobre todo los FPV OWA de pequeño tamaño, que, a día de hoy, son uno de los elementos que sostienen el combate y cuya carencia podría afectar negativamente al desarrollo de la contienda.

### Amenazas y retos a los que nos enfrentaremos

El acceso a estos sistemas por parte de actores no gubernamentales, como grupos terroristas o el crimen organizado, representa una preocupación creciente para la seguridad global.

Ya se han observado ejemplos de uso por parte de organizaciones narcotraficantes en América del Sur y milicias terroristas en África y Oriente Medio, prácticamente en cada conflicto que surge en la actualidad, hay presencia de ellos, como es el caso de Siria, Líbano, Yemen, Gaza, etc.

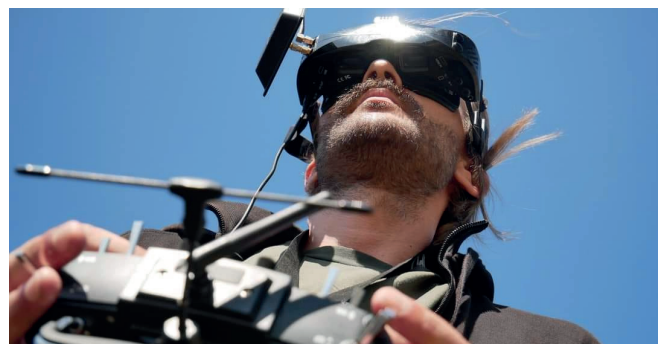


Imagen 80. Operador de UAS FPV. Fuente: Facebook General Staff of the Armed Forces of Ukraine. Permisos solicitados.

### Sistemas C-UAS modulares

Las lecciones preliminares de conflictos recientes, incluyendo Ucrania y Oriente Medio, sugieren que no existe un sistema contra UAS (C-UAS) definitivo y totalmente eficaz. La efectividad depende de combinaciones específicas de sensores y efectores, y varía según el escenario y las características de la amenaza UAS.

Los datos se han convertido en un arma fundamental en este contexto, permitiendo la planificación y adaptación de sistemas de protección modulares y facilitando la selección de contramedidas más efectivas según los parámetros específicos de cada situación.

Se propone concebir los sistemas C-UAS como “cajas de herramientas” que ofrecen una variedad de opciones en el terreno, permitiendo escoger la mejor combinación de contramedidas según la amenaza específica.

La coordinación entre diferentes escalones y capas de defensa es crucial, incluyendo la comunicación efectiva entre puestos de mando y unidades en el terreno, compartir información actualizada sobre el mapa de amenazas, y la activación proactiva de sistemas de inhibición basada en información centralizada.

Los ejercicios y entrenamientos específicos contra amenazas UAS son fundamentales. Ejercicios anuales de la OTAN como el NATO's *Counter Unmanned Aircraft System Technical Interoperability Exercise* – Ejercicio de Interoperabilidad Técnica C-UAS (C-UAS TIE), han demostrado ser valiosos para evaluar y mejorar las capacidades contra UAS.

La participación de empresas españolas en estos ejercicios subraya la importancia de la innovación y la colaboración internacional en este campo.



Imagen 81. Ejercicio OTAN TIE24 en Holanda. Fuente: web NCIA NATO

La preparación y formación de las tropas para enfrentar amenazas UAS, especialmente los sistemas LSS, es crucial.

Se enfatiza la necesidad de familiarizar a los combatientes con las capacidades y amenazas de los UAS LSS, incluyendo formación práctica en el uso básico de estos sistemas y de la forma de control FPV, con dificultad añadida al manejo de drones convencionales estabilizados por GPS.

Esta preparación permite a las tropas anticipar y contrarrestar acciones enemigas de manera más efectiva.

Conocer a que te enfrentas da unas mayores garantías de éxito en la protección contra estos sistemas.

### Implicaciones tácticas

En el conflicto de Ucrania, se han observado nuevas dinámicas en el campo de batalla, como los duelos entre operadores de UAS FPV desde posiciones ocultas.

Estas tácticas, similares a las de francotiradores, subrayan la importancia de actuar contra los operadores enemigos, dada la limitación en el número de personal capacitado en comparación con la cantidad de UAS disponibles.

Es mucho más difícil el entrenar operadores y esperar a que vayan teniendo experiencia que la fabricación de sistemas UAS. El reto está en equilibrar la cantidad de UAS disponibles con el número de operadores.

En conclusión, la evolución de los UAS militares representa un cambio paradigmático en la conducción de operaciones militares modernas. Su impacto abarca desde la táctica individual del soldado hasta la estrategia global de defensa.

A medida que estas tecnologías continúan desarrollándose, es crucial mantener un enfoque equilibrado que considere tanto las capacidades operativas como las implicaciones éticas y de seguridad.



*Imagen 82. UAS OWA equipado con carga explosiva. Fuente: Facebook General Staff of the Armed Forces of Ukraine. Permisos solicitados.*

La adaptación continua de doctrina, entrenamiento y tecnología será fundamental para mantener una ventaja estratégica en este campo en rápida evolución.

Los ciclos de innovación de las industrias de defensa han de reducirse significativamente, de la misma manera que los procesos de adquisición por parte de las oficinas de programa se han de agilizar y alinearse con las necesidades y la evolución de la técnica.

De nada sirve esperar varios años para adquirir sistemas que están desfasados al entrar en servicio.

Los UAS militares han emergido como un componente indispensable de los ejércitos modernos. Su veloz e incesante evolución promete seguir transformando la naturaleza de la guerra y la seguridad internacional, convirtiéndose, tanto estos sistemas como los de defensa frente a ellos, en elementos críticos en los arsenales de las diferentes fuerzas armadas.

## 2. RETOS DE FUTURO

Para concluir este cuaderno técnico dedicado a los UAS militares, se van a resumir los principales elementos identificados como críticos a consecuencia de la progresiva irrupción de estos sistemas en los recientes conflictos y que se consideran los principales retos de futuro a enfrentarse en este campo.

### Los UAS están cambiando el campo de batalla.

Se prevé que su impacto sea cada vez mayor, debido a la proliferación de sistemas de bajo coste y al empleo en masa, de elementos de un solo uso que pueden desestabilizar localmente el frente de combate.



Los avances en sensores, materiales, baterías y todo lo relacionado con la IA (hardware embarcado y algoritmos) continuarán aumentando las capacidades de estos sistemas.

En palabras del anterior comandante en jefe de las Fuerzas Armadas de Ucrania, Valerii Zaluzhnyi:

*"Las clásicas operaciones militares a gran escala con un consumo increíble de recursos no sólo han perdido su relevancia, sino que incluso se han vuelto suicidas. Pero esto sólo lo saben Ucrania y Rusia."*<sup>128</sup>

**Los UAS son a la vez una amenaza para la seguridad y una oportunidad de dotarse de enormes capacidades de observación y ataque.**

Las amenazas van más allá del campo de batalla, pudiendo llegar a generar serios incidentes de seguridad nacional y orden público a nivel civil.

Con los actuales sistemas de defensa y las TTP's no se les puede hacer frente con garantías. Habría que hacer inversiones en defensa, impulsar la formación y cambiar procedimientos y conceptos de operación.

Las amenazas seguirán evolucionando sin parar. Se harán más robustas a la guerra electrónica, usarán ideas innovadoras como la fibra óptica para las comunicaciones, los UAS nodriza de otros UAS FPV, se desarrollarán enjambres colaborativos con capacidades de auto-coordinación mediante IA, muy difíciles de contrarrestar, y se verá, cada vez con más asiduidad, el empleo masivo de munición merodeadora de bajo coste, tanto derivada de FPV como convencional.

**Los sistemas tripulados deberán ser capaces de coordinarse y colaborar cada vez más con los UAS**

El concepto MUM-T está en sus inicios, pero evolucionará en programas como CCA y Remote Carrier, donde se explotará el carácter colaborativo entre sistemas.

En una primera fase, los sistemas tripulados podrán disponer de UAS que porten sensores y efectores y se internen en áreas denegadas o contestadas, sin exponer a las tripulaciones al riesgo de derribo.

El concepto de *Sistema de Combate Aéreo* está evolucionando más allá de una plataforma concreta, pudiendo ser un sistema-de-sistemas heterogéneo y multidominio, con un uso compartido y distribuido de los

sensores y efectores, primando el minimizar el riesgo a las tripulaciones de aeronaves convencionales, que pasarán a ejercer un papel de control desde posiciones menos expuestas.

**Es necesario disponer ya de sistemas C-UAS modulares y eficaces**

Los sistemas de defensa contra UAS han de estar basados en un conjunto de sensores que se complementen y procuren abarcar el mayor espectro posible de la amenaza.

Los sistemas C-UAS deben integrar capacidades, centrándose primariamente en la detección como etapa fundamental del proceso.

La mejor manera de neutralizar grandes cantidades de UAS es explotar sus vulnerabilidades, esto es, atacar por radiofrecuencia su control y su sistema de navegación. En UAS totalmente autónomos habría que usar neutralización física o *hard kill*.

Los sistemas de neutralización física han de estar basados en sistemas de coste equivalente a la amenaza y no en costosos y escasos sistemas de misiles tierra-aire convencionales.

Las nuevas amenazas basadas en transmisión por fibra óptica no son neutralizables por radiofrecuencia.

Por tanto, es necesaria la combinación de efectores y de medios de neutralización basados en diferentes soluciones técnicas: Medios cinéticos y medios basados en radiofrecuencia, con detección activa y empleando sistemas de control y toma de decisiones ágiles y colaborativos.

Además, cobra más importancia la guerra electrónica de las comunicaciones y los datos de inteligencia previa para anticiparse a posibles ataques de estos FPV con fibra óptica.

Los datos y la información de inteligencia serán fundamentales para establecer la estrategia de defensa C-UAS y los módulos a emplear.

Teniendo un conocimiento previo de las posibles bandas de frecuencia, las direcciones y alturas normalmente usadas por las amenazas, o los posibles objetivos, se podrá planificar, delimitar y optimizar la defensa.

La preparación y formación de los operadores de C-UAS es fundamental y se debe realizar simulando y entrenando

<sup>128</sup>. Chatham House. Security and Defence 2025. <https://www.ukrainianworldcongress.org/valerii-zaluzhnyi-the-old-world-order-has-been-destroyed/>

frente a las amenazas reales (FPV, fibra óptica, etc.) a las que se pueden enfrentar.

### El actual concepto de control aéreo no es capaz de gestionar la amenaza de los UAS.

El empleo y tráfico de UAS civiles se va a incrementar exponencialmente en los próximos años.

Los sistemas de control de tráfico aéreo tienen que evolucionar y adaptarse a este nuevo escenario.

Es imprescindible garantizar la integración segura de los UAS dentro del espacio aéreo controlado.

El control del tráfico aéreo está ante un cambio de paradigma, ya que frente a los UAS no parece que valga replicar al control aéreo convencional de aeronaves tripuladas.

Será necesario que los UAS se coordinen entre sí, dispongan de control de la situación y evitación de obstáculos, y proporcionen de manera activa información de control. La IA podrá mejorar estas capacidades en el corto y medio plazo.

### La industria de los UAS está ante una gran oportunidad, pero tiene mucha responsabilidad en este futuro.

*“La antifragilidad es más que resiliencia o robustez. Lo resiliente aguanta los choques y sigue igual; lo antifrágil mejora. Esta propiedad se halla detrás de todo lo que ha cambiado con el tiempo: la evolución, la cultura, las ideas, las revoluciones, los sistemas políticos, la innovación tecnológica, el éxito cultural y económico, la supervivencia empresarial...”.*

Nassim N. Taleb<sup>129</sup>

Con la aparición de UAS de bajo coste se está impulsando la participación de pequeñas empresas y de industria no tradicional en el sector de la defensa.

La industria va a tener que enfocar su producción de manera diferente, centrada en disminución de costes, producción de sistemas más baratos, con procesos de fabricación menos complejos, derivados de los comerciales.

Unos conceptos clave en esa adaptación podrían ser:

**Adaptación al cambio:** las empresas deben estar dispuestas a experimentar y aprender de los errores, no solo sobrevivir a los cambios, sino también salir fortalecidas de los mismos.

**Beneficio del desorden:** el desorden y la incertidumbre pueden ser fuentes de innovación. Las empresas han de buscar oportunidades en situaciones caóticas, utilizando la volatilidad como un motor para el crecimiento.

**Estrategias de opcionalidad:** adoptar una estrategia que permita múltiples caminos y decisiones puede ayudar a las empresas a navegar en entornos inciertos.

Esto incluye tener la flexibilidad para pivotar y ajustar sus modelos de negocio según lo requiera el mercado.

El propósito ha de ser el reducir al máximo los ciclos de desarrollo, de años a meses, y a la vez minimizar los costes de producción, de tal manera que los sistemas UAS se diseñen para un número de misiones limitadas o incluso de un solo uso, a la vez que sean capaces de ejecutar tareas diferentes mediante modularidad en sus componentes, y usando arquitecturas abiertas.

En relación con estos conceptos se ha hablado de iniciativas como *Replicator* y las arquitecturas abiertas y modulares MOSA.

No tiene sentido diseñar cinco sistemas específicos para realizar cinco misiones diferentes si un mismo sistema puede realizarlas únicamente cambiando alguno de sus módulos, ya sea hardware o software.

En definitiva, esta necesaria revolución es una oportunidad a nivel industrial para el fomento de las capacidades nacionales (o europeas, especialmente en los más complejos), frente a industrias y tecnologías no europeas, y poder lograr, en la medida de lo posible, una soberanía nacional o aliada a nivel europeo.

Los procesos de obtención y sostenimiento de estos sistemas van a diferir enormemente de los programas convencionales, ya que deberán ser mucho más ágiles, pero a la vez deberán hacer uso de tecnologías con un grado de madurez suficiente.

De nada servirá exigir que la empresa desarrolle en ciclos acelerados si los procesos de adquisición continúan midiéndose en años o en semestres.

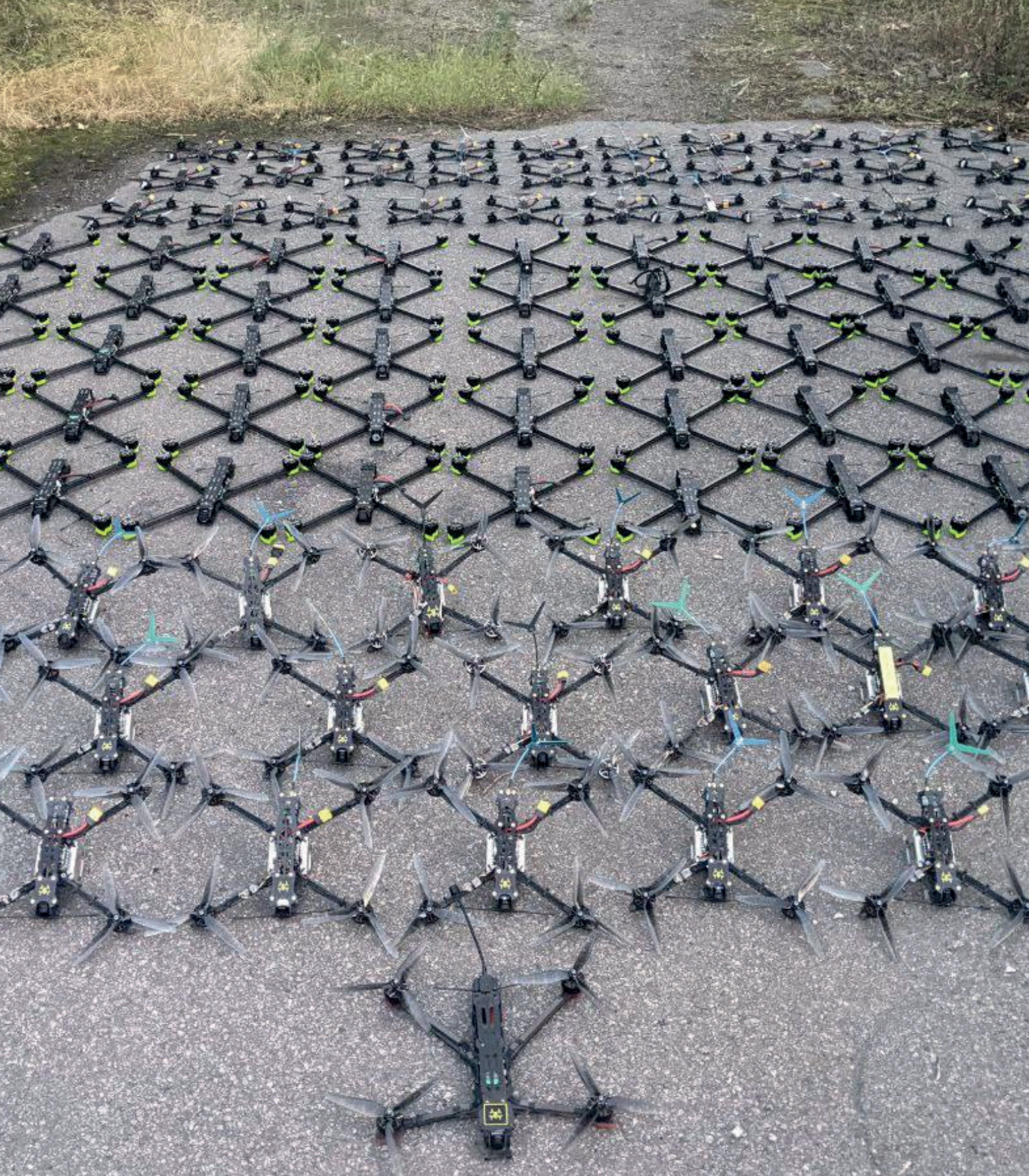
Eso requerirá de un esfuerzo compartido entre industria, organismos y agencias de adquisición, usuarios, reguladores, legisladores y certificadores.

<sup>129</sup> aleb, N. N. (2020). *Antifrágil: Las cosas que se benefician del desorden* (G. Sánchez Barberán & A. Santos Mosquera, Trads.). Ediciones Paidós.



*Imagen 83. Marine americano del 1er batallón, 7º regimiento, desplegando un UAS Skydio X2D en Barira, Filipinas, 28 de mayo de 2024. Fuente: U.S. Marine Corps photo by Cpl. Kayla Halloran. Dominio público.*







# ACRÓNIMOS

|               |                                                                                                                                      |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A2            | Anti Access<br>Anti acceso (a un área)                                                                                               |
| AA            | Anti-Air<br>Anti Aéreo                                                                                                               |
| AAD           | Autoridad de Aeronavegabilidad<br>de la Defensa                                                                                      |
| AAM           | Advance Aerial Mobility<br>Movilidad aérea avanzada                                                                                  |
| ABS           | Acrylonitrile Butadiene Styrene<br>Acrilonitrilo butadieno estireno                                                                  |
| ACAVIET       | Academia de Aviación<br>del Ejército de Tierra                                                                                       |
| AD            | Area Denied<br>Denegación de área                                                                                                    |
| AES           | Advanced Encryption Standard<br>Estándar avanzado de encriptación                                                                    |
| AESA          | Agencia Estatal de Seguridad Aérea<br>Active Electronically Scanned Array<br>Matriz activa de escaneo electrónico                    |
| AEW&C<br>AFSC | Airborne Early Warning and Control<br>Alliance Future Surveillance and Control<br>Futuro (sistema) de control y vigilancia<br>aliado |
| AGS           | Allied Ground Surveillance<br>Vigilancia aliada del terreno                                                                          |
| AIS           | Automatic Identification System<br>Sistema automático de identificación<br>(para barcos)                                             |
| AIS           | Aeronautical Information Services<br>Servicios de información aeronáutica                                                            |
| AMU-LED       | Air Mobility Urban – Large<br>Experimental Demonstrations<br>Grandes demostraciones<br>experimentales de movilidad aérea urbana      |
| ANN           | Artificial Neural Networks<br>Redes neuronales artificiales                                                                          |
| AOC<br>ASIC   | Centro de Operaciones Aéreas<br>Application-Specific Integrated Circuits<br>Circuitos integrados específicos<br>de aplicaciones      |
| ASM           | Air Space Management<br>Gestión del espacio aéreo                                                                                    |
| ATC           | Air Traffic Control<br>Control del tráfico Aéreo                                                                                     |

|         |                                                                                                 |           |                                                                                     |
|---------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| ATFM    | Air Traffic Flow Management<br>Gestión del flujo de tráfico aéreo                               | CNN       | Convolutional Neural Networks<br>Redes neuronales convolucionadas                   |
| ATM     | Air Transit Management<br>Gestión del tránsito aéreo                                            | CNPIC     | Centro Nacional de Protección<br>de Infraestructuras Críticas                       |
| ATS     | Air Transit Services<br>Servicios de tránsito aéreo                                             | CNS       | Communications, Navigation, Surveillance<br>Comunicaciones, navegación y vigilancia |
| AVIET   | Aviación del Ejército                                                                           | CORUS     | Concept of Operations for EuRopean<br>UTM Systems                                   |
| AWACS   | Airborne Warning and Control System<br>Sistema de alerta temprana<br>y control aerotransportado |           | Concepto de Operación para sistemas<br>UTM europeos                                 |
| BAA     | Buque de Asalto Anfíbio (Armada)                                                                | CPRA      | Controlled Pattern Radiation Array<br>Matriz de patrón de radiación controlado      |
| BAM     | Buque de Acción Marítima (Armada)                                                               | CPU       | Computer Processing Unit<br>Unidad de procesamiento de computación                  |
| BRIPAC  | Brigada Paracaidista                                                                            | CSS       | Center for Security Studies<br>Centro de Estudios de Seguridad                      |
| BLOS    | Beyond Line Of Sight<br>Más allá del alcance del enlace                                         | C-UAS     | Contra UAS                                                                          |
| BVLOS   | Beyond Visual Line Of Sight<br>Más allá del alcance de la vista                                 | CW        | Continuous Wave Onda Continua                                                       |
| C2      | Command and Control<br>Mando y Control                                                          | DA        | Defensa Aérea                                                                       |
| CAE     | Certificado de Aeronavegabilidad<br>experimental                                                | DAFO      | (Análisis de) Debilidades,<br>Amenazas, Fortalezas y Oportunidades                  |
| CAG     | Circulación Aérea General                                                                       | DDL       | Digital Data Link<br>Enlace de datos digital                                        |
| CAO     | Circulación Aérea Operativa                                                                     | DDV       | Documento de Viabilidad                                                             |
| CAS     | Close Air Support<br>Apoyo aéreo cercano                                                        | DGAM      | Dirección General de Armamento<br>y Material                                        |
| CASEVAC | Casualties Evacuation<br>Evacuación de bajas                                                    | DGTELECOM | Dirección General de las<br>Telecomunicaciones                                      |
| CBRN    | Chemical, Biological, Radiological<br>and Nuclear<br>Química, biológica, radiológica y nuclear  | DL        | Deep Learning<br>Aprendizaje profundo                                               |
| CCA     | Collaborative Combat Aircraft<br>Aeronave de combate colaborativo                               | DNN       | Deep Neural Networks<br>Redes neuronales profundas                                  |
| CDM     | Centros Docentes Militares                                                                      | DOMUS     | Demonstration Of<br>Multiple U-space Suppliers.                                     |
| CDR     | Critical Design Review<br>Revisión Crítica de Diseño                                            |           | Demostración de múltiples<br>proveedores de U-Space                                 |
| CEMA    | Cyber-Electromagnetic Activities<br>Actividades ciber-electromagnéticas                         | DRL       | Deep Reinforcement Learning<br>Aprendizaje reforzado profundo                       |
| CEO     | Chief Executive Officer<br>Consejero delegado                                                   | DRONE     | Dynamic Remotely<br>Operated Navigation Equipment                                   |
| CIA     | Central Intelligence Agency Agencia<br>central de inteligencia (Estados Unidos)                 |           | Equipo de navegación pilotado<br>remotamente                                        |
| CISP    | Common Information Services Provider<br>Proveedor de servicios de información<br>común          | DUO       | Designated UAS Operator<br>Operador del UAS designado                               |

|         |                                        |            |                                             |
|---------|----------------------------------------|------------|---------------------------------------------|
| EA      | Ejército del Aire y del Espacio        | FUA        | Flexible Use of Airspace                    |
| EADA    | Escuadrón de Apoyo al Despliegue Aéreo |            | Uso flexible del espacio aéreo              |
| EASA    | European Aerial Safety Agency          | GCS        | Ground Control Station                      |
|         | Agencia Europea de Seguridad Aérea     |            | Estación de control en tierra               |
| ECAO    | Escuadrilla de Circulación             | GDT        | Ground Data Terminal                        |
|         | Aérea Operativa                        |            | Terminal de datos en tierra                 |
| EDA     | European Defence Agency                | GNSS       | Global Navigation Satellite System          |
|         | Agencia Europea de Defensa             |            | Sistema de navegación                       |
| EDF     | European Defense Funds                 |            | global por satélite                         |
|         | Fondos Europeos de Defensa             | GPS        | Global Positioning System                   |
| ELINT   | Electronic Intelligence                |            | Sistema de posicionamiento global           |
|         | Inteligencia electrónica               | GPU        | Graphic Processing Unit                     |
| EMA     | Estado Mayor del Aire                  |            | Unidad de procesamiento de gráficos         |
| EMACON  | Estado Mayor Conjunto                  | GROSA      | Grupo de Obtención por Sistemas Aéreos      |
| EMCON   | Emission Control                       | GRUALERCON | Grupo de Alerta y Control (EA)              |
|         | Control de emisiones (radioeléctricas) | GRUCEMAC   | Grupo Central de Mando y Control (EA)       |
| EO/IR   | Electro-Óptica (visual) / Infrarroja   | GRUEMA     | Grupo de Escuelas de                        |
| ESC     | Electronic Speed Controller            |            | Matacan, Ejército del Aire y del Espacio    |
|         | Controlador Electrónico de Velocidad   | GRUNOMAC   | Grupo Norte de Mando y Control (EA)         |
| ET      | Ejército de Tierra (España)            | HALE       | High Altitude, Long Endurance               |
| EUTM    | European Union Training Mission        |            | Altitud (de vuelo) elevada,                 |
|         | Misión de entrenamiento                |            | duración (de misión) larga. Referido a UAS. |
|         | de la Unión Europea                    | HD         | High Definition                             |
| EW      | Electronic Warfare                     |            | Alta Definición                             |
|         | Guerra electrónica                     | HRM        | Holistic Risks Model                        |
| EZAPAC  | Escuadrón de Zapadores                 |            | Modelo de riesgos holístico                 |
|         | Paracaidistas (EA)                     | I+D        | Investigación y Desarrollo                  |
| FAS     | Fuerzas Armadas                        | IA         | Inteligencia Artificial                     |
| FCAS    | Future Combat Air System               | IAM        | Innovative Air Mobility                     |
|         | Sistema de combate aéreo futuro        |            | Movilidad aérea innovadora                  |
| FCSE    | Fuerzas y Cuerpos de Seguridad         | IED        | Improvised Explosive Device                 |
|         | del Estado                             |            | Artefacto explosivo improvisado             |
| FF. AA. | Fuerzas Armadas                        | ILS        | Instrumental Landing System                 |
| FIS     | Flight Information Service             |            | Sistema de aterrizaje por instrumentos      |
|         | Servicio de información de vuelo       | IMINT      | Image Intelligence                          |
| FOV     | Field Of View                          |            | Inteligencia de imágenes                    |
|         | Campo de visión (de un sensor)         | IMSI       | International Mobile Subscriber Identity    |
| FPD     | Flight Procedures Design               |            | Identidad internacional                     |
|         | Diseño de procedimientos de vuelo      |            | del subscriptor de telefonía móvil          |
| FPGA    | Field-Programmable Gate Arrays         | IMU        | Inertial Measurement Unit                   |
|         | Matrices de puertas programables       |            | Unidad de medida inercial                   |
|         | en campo                               | INREG      | Subdirección General                        |
| FPV     | First Person View                      |            | de Inspección y Regulación                  |
|         | Vista de primera persona               | INS        | Inertial Navigation System                  |
|         | (referida al guiado del UAS)           |            | Sistema de navegación inercial              |

|         |                                                                                                                                            |                      |                                                                                                                                        |
|---------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| INTA    | Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial                                                                                                 | MALE                 | Medium Altitude, Long Endurance                                                                                                        |
| IP      | Internet Protocol<br>Protocolo de Internet                                                                                                 |                      | Altitud (de vuelo) media, duración<br>(de misión) larga. Referido a UAS. Mando<br>del Apoyo Logístico del                              |
| ISAF    | International Security<br>Assistance Force (Afghanistan)<br>Fuerza internacional de<br>asistencia de seguridad (Afganistan)                | MANET                | Ejército (de Tierra)<br>Mobile Ad Hoc Network<br>Red móvil Ad Hoc                                                                      |
| ISIS/IS | Irak and Siria Islamic State<br>Estado Islámico de Irak y Siria                                                                            | MARV-EL              | Medium Autonomous Resupply<br>Vehicle – Expeditionary Logistics<br>Vehículo autónomo medio<br>de suministro – logística expedicionaria |
| ISR     | Intelligence, Surveillance, Reconnaissance<br>Inteligencia, vigilancia, reconocimiento                                                     |                      |                                                                                                                                        |
| ISTAR   | Intelligence, Surveillance,<br>Target Adquisition, Reconnaissance<br>Inteligencia, vigilancia,<br>adquisición de objetivos, reconocimiento | MCWL                 | Marine Corps Warfighting Laboratory<br>Laboratorio de<br>Combate del Cuerpo de Marines                                                 |
| JARUS   | Joint Authorities for<br>Rulemaking on Unmanned Systems<br>Autoridades conjuntas para la<br>normalización de Sistemas no tripulados        | MDOA<br>MEDEVAC<br>E | Mando de Defensa y Operaciones Aéreas<br>Medical Evacuation<br>vacuación médica                                                        |
| JCGUAV  | Joint Capability Group on UAV<br>Grupo conjunto de<br>capacidades en UAV (OTAN)                                                            | MEMS<br>MHR          | Micro-Electro-Mechanical System<br>Sistema mecánico microelectrónico<br>Hemispheric Multimision Radar<br>Radar hemisférico multimisión |
| JDAM    | Joint Direct Attack Munition<br>Munición conjunta de ataque directo                                                                        | MIMO                 | Multiple Input, Multiple Output<br>Entradas Múltiples, Salidas<br>Múltiples (Rades de comunicaciones)                                  |
| J-STAR  | Joint Surveillance<br>Target Attack Radar System<br>Sistema Radar conjunto de                                                              | ML                   | Machine Learning<br>Aprendizaje automático                                                                                             |
| JTAC    | Joint Terminal Attack Controller<br>Controlador de ataque terminal conjunto                                                                | MOC                  | Mean Of Complain<br>Medio de cumplimiento                                                                                              |
| LAWS    | Lethal Autonomous Weapons Systems<br>Sistemas de armas letales autónomas                                                                   | MOE<br>MOSA          | Mando de Operaciones Especiales (ET)<br>Modular Open Systems Architecture<br>Arquitectura de sistema modular y abierta                 |
| LiDAR   | Laser Imaging Detection and Ranging<br>Detección y cálculo<br>de distancias con laser                                                      | MOSP                 | Multi-Sensor Optronic Stabilized Payload<br>Carga útil estabilizada<br>multi sensor oprónico                                           |
| LLM     | Large Language Models<br>Modelos grandes de lenguaje                                                                                       | MOUT                 | Military Operations in Urban Terrain<br>Operaciones militares en terreno urbano                                                        |
| LoS     | Line of Sight<br>Linea vista/visual                                                                                                        | MSS                  | Mobile Satellite Service<br>Servicio móvil por Satélite                                                                                |
| LSS     | Low, Small and Slow<br>(UAS de vuelo) bajo, pequeño y lento                                                                                | MTI                  | Moving Target Indicator<br>Indicador de objetivos móviles                                                                              |
| MACA    | Mando de Artillería de Campaña                                                                                                             | MTOW                 | Maximum Take-Off Weight<br>Peso máximo al despegue                                                                                     |



|        |                                                                                                                      |        |                                                                                                                                  |
|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| MUM-T  | Manned-Unmanned Teaming<br>Equipos (de sistemas)<br>tripulados y no tripulados                                       | RAD    | Reglamento de la<br>Aeronavegabilidad de la Defensa                                                                              |
| MUSRA  | Military Specific UAS Risk Assessment<br>Evaluación de riesgos<br>específicos de UAS militares                       | RAP    | Recognized Air Picture<br>Situación aérea general                                                                                |
| NARFA  | National Radio Frequency Agency<br>Agencia nacional de radiofrecuencia                                               | RCA    | Reglamento de la Circulación Aérea                                                                                               |
| NATO   | North Atlantic Treaty Organization<br>OTAN                                                                           | RCAO   | Reglamento de la<br>Circulación Aérea Operativa                                                                                  |
| NBQ    | Nuclear, Bacteriológico y Químico                                                                                    | RF     | Radiofrecuencia                                                                                                                  |
| NDAA   | National Defense Authorization Act<br>Ley nacional de autorizaciones en defensa                                      | RFI    | Request for Information<br>Solicitud de información<br>(para iniciar expediente de compra)                                       |
| NGWS   | Next Generation Weapons System<br>Sistema de armas de nueva generación                                               | RL     | Reinforcement Learning<br>Aprendizaje reforzado                                                                                  |
| NSPA   | NATO Support and Procurement Agency<br>Agencia OTAN de<br>compras y apoyo (logístico)                                | RLP    | Recognized LSS Picture<br>Situación aérea de la capa baja                                                                        |
| OACI   | Organización de<br>Aviación Civil Internacional                                                                      | RPA    | Remotely Pilot Aircraft<br>Aeronave pilotada remotamente                                                                         |
| ONU    | Organización de Naciones Unidas                                                                                      | RPG    | Rocket-Propelled Grenade<br>Granada propulsada por cohete                                                                        |
| OPV    | Optionally Piloted Vehicle<br>Vehículo opcionalmente pilotado                                                        | RSC    | Reconnaissance-Strike Complex<br>Conjunto reconocimiento-ataque                                                                  |
| OSCE   | Organization for Security<br>and Co-operation in Europe<br>Organización para la<br>Seguridad y Cooperación en Europa | RTK    | Real Time Kinematics<br>Cinemática en tiempo real                                                                                |
| OSINT  | Open Source Intelligence<br>Inteligencia de fuentes abiertas                                                         | RUSI   | Royal United Services<br>Institute for Defence and Security<br>Instituto Real de Servicios<br>Unidos para la Defensa y Seguridad |
| OSOs   | Objetivos de Seguridad Operacional                                                                                   | RX     | Receptor                                                                                                                         |
| OTAN   | Organización del<br>Tratado del Atlántico Norte                                                                      | S2S    | Sensor-to-Shooter<br>(Tiempo entre) sensor y efector                                                                             |
| OTC    | Órgano Técnico Competente                                                                                            | SAASM  | Selective Availability<br>Anti-Spoofing Modules<br>Módulos de disponibilidad<br>selectiva anti-spoofing                          |
| OWA    | One Way Attack<br>Ataque de un solo viaje                                                                            | SAIL   | Specific Assurance and Integrity Level<br>Niveles específicos d<br>e integridad y seguridad                                      |
| PANDU  | Plan de Acción Nacional para<br>el Despliegue de U-Space en España                                                   | SAM    | Surface-Air Missile<br>Misil tierra-aire (antiaéreo)                                                                             |
| PASI   | Plataforma Autónoma<br>Sensorizada de Inteligencia                                                                   | SAR    | Synthetic Aperture Radar<br>Radar de apertura sintética                                                                          |
| PEGASO | Policía Especialista en Gestión<br>Aeronáutica y de Seguridad Operacional                                            | SATCOM | Satellite Communication<br>Comunicaciones por Satélite                                                                           |
| PID    | Proporcional, Integral, Derivativo                                                                                   |        |                                                                                                                                  |
| PRN    | Pseudo Random Noise<br>Ruido pseudo aleatorio                                                                        |        |                                                                                                                                  |

|          |                                                                                                    |         |                                                                                          |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| SDR      | Software Defined Radio<br>Radio definida por software                                              | TMPR    | Tactical Mitigation<br>Performance Requirements                                          |
| SEAD     | Suppression of Enemy Air Defenses<br>Supresión de las<br>defensas aéreas enemigas                  |         | Requisitos de mitigación<br>táctica de actuaciones                                       |
| SESAR    | Single European Sky ATM Research<br>Investigación en ATM<br>para Cielo Único Europeo               | TPU     | Tensor Processing Unit<br>Unidad de procesamiento de tensores                            |
| SESPA    | Sección de Espacio Aéreo.<br>EMA Ejército del Aire y del Espacio                                   | TTP     | Tácticas, Técnicas y Procedimientos                                                      |
|          |                                                                                                    | TX      | Transmisor                                                                               |
| SHORAD   | Short Range Air Defense<br>Defensa aérea de corto alcance                                          | UAM     | Urban Air Mobility<br>Movilidad aérea urbana                                             |
| SIGINT   | Signal Intelligence<br>Inteligencia de señales                                                     | UAS     | Uncrewed Aerial System/<br>Unmanned Aerial System                                        |
| SIGLO-CD | Sistema Global Contra<br>Drones (Ministerio del Interior)                                          |         | Sistema aéreo no tripulado                                                               |
| SIRTAP   | Sistema Remotamente<br>Tripulado de Altas Prestaciones                                             | UAV     | Uncrewed/Unmanned Aerial Vehicle<br>Vehículo aéreo no tripulado                          |
| SLAM     | Simultaneous Localization And Mapping<br>Localización y mapeado simultaneo                         | UCAS    | Unmanned Combat Aerial System<br>Sistema aéreo no tripulado de combate                   |
| SNR      | Signal-to-Noise Ratio<br>Relación señal-ruido                                                      | UGV     | Unmanned Ground Vehicle<br>Vehículo terrestre no tripulado                               |
| SoC      | System-on-Chip<br>Sistema implementado en un chip                                                  | UHF     | Ultra High Frequency<br>Frecuencia ultra alta                                            |
| SORA     | Specific Operations Risk Assessment<br>Evaluación de riesgos<br>de operaciones específicas         | UNADEST | Unidad Aérea Destacada                                                                   |
| SPDR     | System Preliminary Design Review<br>Revisión de diseño preliminar del Sistema                      | USAF    | United States Air Force<br>Fuerza aérea de Estados Unidos                                |
| SRR      | System Requirement Review<br>Revisión de requisitos del Sistema                                    | USSP    | U-Space Services Provider<br>Proveedor de servicios U-SPACE                              |
| STANAG   | Standarization Agreement<br>Acuerdo de estandarización                                             | USV     | Unmanned Surface Vehicle<br>Vehículo de superficie no tripulado                          |
| STEP     | Strategic Technological European Platform<br>Plataforma de Tecnologías<br>Estratégicas para Europa | UTE     | Unión Temporal de Empresas                                                               |
| SUCCAUL  | Subsistema de Vigilancia, Control<br>y Coordinación<br>aéreo en el entorno UAS LSS                 | UTM     | Unmanned Traffic Management<br>Gestión del tráfico no tripulado                          |
| SVICA    | Sistema de Vigilancia y Control Aéreo                                                              | UUV     | Unmanned Underwater Vehicle<br>Vehículo submarino no tripulado                           |
| SWIR     | Short Wave InfraRed<br>Infrarrojo de onda corta                                                    | VCA     | VTOL Capable Aircraft<br>Aeronave con capacidad<br>VTOL (despegue y aterrizaje vertical) |
| TACAN    | Tactical Navigation<br>Navegación técnica                                                          | VFR     | Visual Flight Rules<br>Reglas de vuelo visual                                            |
|          |                                                                                                    | VHF     | Very High Frequency<br>Frecuencia muy alta                                               |
|          |                                                                                                    | VIGMA   | Vigilancia Marítima                                                                      |
|          |                                                                                                    | VLL     | Very Low Level<br>Muy baja altitud                                                       |

|       |                                                                                                               |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| VLOS  | Visual Line Of Flight<br>Vuelo en línea vista                                                                 |
| VOR   | VHF Omnidirectional Radiobeacon<br>Baliza omnidireccional de VHF                                              |
| VTOL  | Vertical Take-Off and Landing<br>Despegue y aterrizaje vertical                                               |
| WIFI  | Wireless Fidelity<br>Transmisión de red inalámbrica                                                           |
| WIMAX | Worldwide Interoperability<br>for Microwave Access<br>Interoperabilidad mundial<br>para acceso por microondas |





# Serie Cuadernos Tecnológicos

## Cuadernos de Isdefe



### **TÍTULOS PUBLICADOS**

- 1. CAPACIDADES MILITARES EN EL ÁMBITO EUROPEO DE LA DEFENSA.**
- 2. SISTEMAS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAS) MILITARES.**
- 3. SISTEMAS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAS) CIVILES.**





**Isdefe**



**Isdefe**

C/ Beatriz de Bobadilla, 3  
28040 Madrid  
Tel.: +34 91 411 50 11  
Email: [general@isdefe.es](mailto:general@isdefe.es)  
[www.isdefe.es](http://www.isdefe.es)