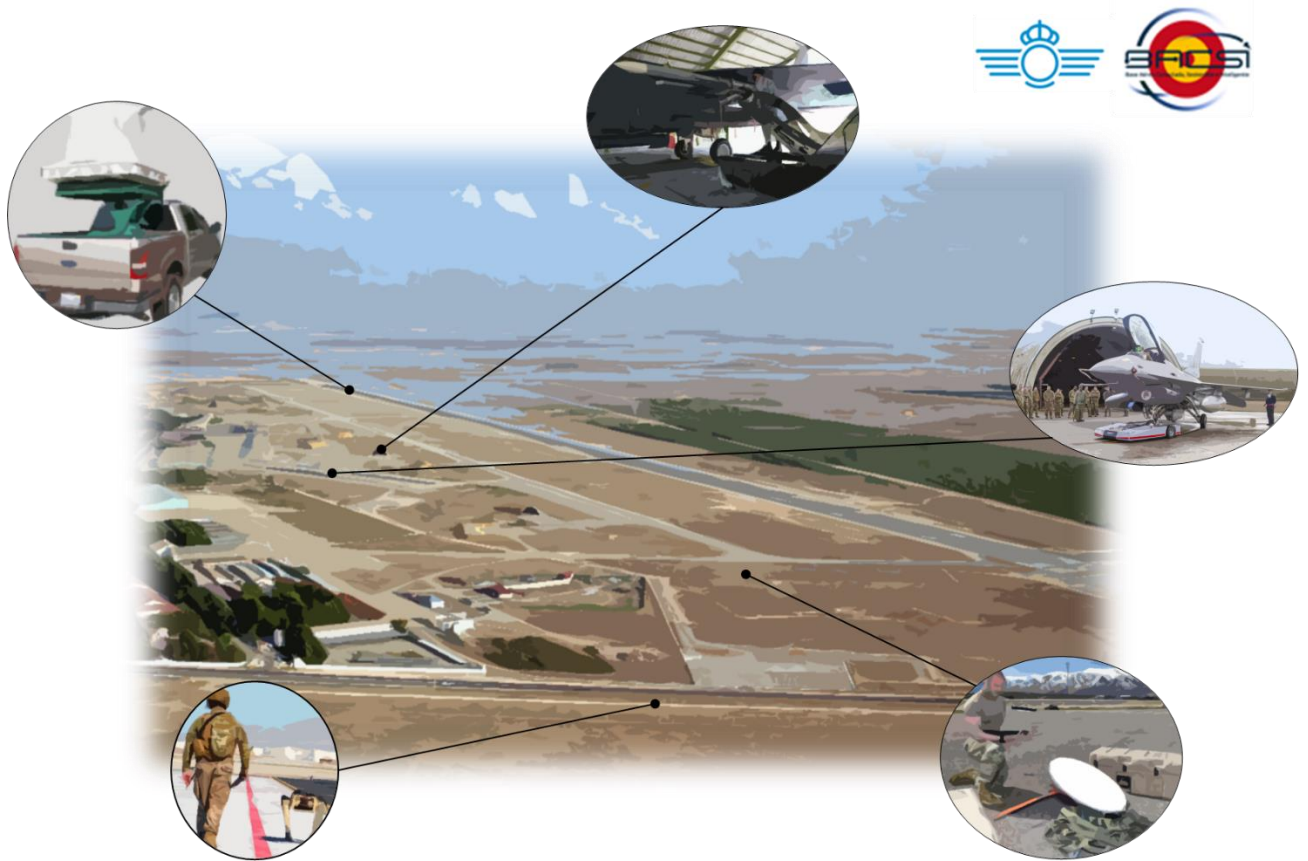


Premios Ejército del Aire y del Espacio 2023

XLIV Edición



Sistemas no tripulados para apoyo al despliegue de la base aérea del siglo XXI

DISCIPLINA: Investigación e Innovación Aeroespacial

CATEGORÍA: BACSI Colectivo

FECHA: 11 de mayo de 2023



PÁGINA INTENCIONADAMENTE EN BLANCO



ÍNDICE

ÍNDICE	2
LISTA DE FIGURAS	3
LISTA DE TABLAS	6
RESUMEN EJECUTIVO	7
1. INTRODUCCIÓN	9
1.1 Despliegue del Ejército del Aire y del Espacio: Misiones recientes	9
1.2 Base Aérea Sostenible, Conectada e Inteligente: Áreas Funcionales	14
1.3 Medios y equipos utilizados en el despliegue en la actualidad	15
1.4 Motivación: Opciones y propuestas de mejora	19
2. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA PROPUESTA.....	21
2.1 Idea global	21
2.2 Condiciones de contorno identificadas	22
2.2.1 Aeronaves destinadas al transporte de equipamiento y personal.....	22
2.2.2 Tipologías de contenedores y pallets estandarizados	29
2.3 Descripción de la propuesta: Sistema de Pilares	34
2.3.1 Pilar I: Limpieza de FOD.....	36
2.3.2 Pilar II: Rearme y manejo de municiones	38
2.3.3 Pilar III: Seguridad	38
2.3.4 Pilar IV: Remolcado y operación en pista de aeronaves	39
2.3.5 Pilar V: Conectividad	41
2.4 <i>Benchmarking</i>	41
2.4.1 Pilar I: Limpieza de FOD.....	42
2.4.2 Pilar II: Rearme y manejo de municiones	47
2.4.3 Pilar III: Seguridad	49
2.4.4 Pilar IV: Remolcado y operación en pista de aeronaves	52
2.4.5 Pilar V: Conectividad	56
3. IMPLEMENTACIÓN Y FASES	60
3.1 Filosofía de implementación	60
3.2 Fase I: Solución “llave en mano” basa en COTS	61
3.3 Fase II: Familia de productos de plataforma común	72
3.4 Comparativa y mejoras alcanzables	80
4. CONCLUSIONES.....	82
BIBLIOGRAFÍA	83

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Operaciones de mantenimiento a aeronaves C.15M tras operaciones nocturnas en el seno del destacamento Vilkas.	12
Figura 2 Armado de un C.16 (Eurofighter) por parte de personal español y alemán en el contexto del destacamento Ámbar.	13
Figura 3 Operación de traslado del personal del destacamento Viespe utilizando una aeronave T.21 del Ala 35.	14
Figura 4 Ejemplos de AGE en servicio en el Ejército del Aire y del Espacio y en la Armada.	18
Figura 5 Operación de aprovisionamiento de misiles en una aeronave del Ejército del Aire y del Espacio.	19
Figura 6 Supresión manual de FOD durante un paseo de eliminación de FOD o FODwalk en el Base Aérea de Moody (izquierda) y miembros de los ejércitos del aire de Estados Unidos, Alemania y Bélgica realizado un FODwalk (derecha).	20
Figura 8 Transporte de quads en el interior de un T.21 (C295), izquierda, y sistema autopropulsado de transferencia de pallets, derecha.	24
Figura 9 Algunas de las posibles configuraciones de carga en la cabina de un T.21 (C295). En el esquema de la izquierda se muestran 8 contenedores lanzables desde el aire A22, mientras que en el de la derecha se representa el transporte de 5 pallets estándar de 88" x 108" 463L. Fuente:	24
Figura 10 Características de la cabina del T.23 (A400M), con indicación del sistema de anclaje para pallets reconfigurable para obtener un suelo liso, así como disposiciones alternativas de cabina para transporte de personal, carga o mixto.	25
Figura 11 Dibujos esquemáticos que pretenden reflejar la disposición física de diferentes contenedores y pallets en el interior de un T.23 (A400M).	26
Figura 12 Bahía de carga de un A400M en misión de reabastecimiento a la misión British Antarctic Survey (izquierda) y carga de un contenedor ISO-20 en un A400M (derecha).	26
Figura 13 De izquierda a derecha y de arriba abajo, compartimentos de carga en bodega, sistema de desplazamiento de carga, puerta lateral de carga y esquema de la configuración de carguero puro de un T.24/TK.24 (A300 MRTT).	27
Figura 14 Alternativas de configuración para el T.24/TK.24 (A300 MRTT).	28
Figura 15 Empleo de un única aeronave A330 MRTT para apoyar el despliegue de 50 efectivos y 4 aeronaves C.16 (Eurofighter) junto con 12 toneladas de equipamiento, incluyendo motores de repuesto y otros materiales.	29
Figura 16 Croquis y dimensiones generales de un contenedor de la serie ISU-90.	31
Figura 17 Carga de un contenedor ISO-20 en una aeronave C-130 (izquierda) e izado de éste mediante una carretilla elevadora (derecha).	32
Figura 18 Aspecto físico de los pallets militares de la serie 463L.	33
Figura 19 Sistema de Pilares propuesto y su relación con las diferentes Áreas Funcionales (AF) de BACSI.	36
Figura 20 Radares contra FOD fijos con aplicación al mercado civil.	43
Figura 21 Sistema FOD Finder™ XM de Trex Aviation Systems equipado con el sistema de eliminación de FOD por aspirado.	44



Figura 22 Demostrador del sistema FOD Dog desarrollado por Siemens y TurbineOne.	45
Figura 23 Trombia Free en servicio (izquierda) y saliendo de su estación de servicio tipo dock-station (derecha), que hace las veces de centro de carga, mantenimiento, limpieza y vaciado de la materia recolectada.	46
Figura 24 Dron evaluando hipotéticos daños en la pista de un aeródromo (izquierda) y sistema de procesado y clasificación de daños en tiempo real (derecha).	46
Figura 25 Sistema de reamunicionamiento desarrollado en el contexto de la RSAF Smart Airbase, la Fuerza Aérea de la República de Singapur.	47
Figura 26 Pruebas con el prototipo del sistema MHU-TSX.	49
Figura 27 La USAF desplegó en la base californiana de Travis un sistema basado en un cuadricóptero fabricado por Easy Aerial.	50
Figura 28 Dron Skyranger de Aeryon Labs, de tipo cautivo o tethered.	51
Figura 29 Una de las unidades de Ghost Robotics se pone a prueba en la base aérea de Nellis (Nevada).	52
Figura 30 TowFLEXX 5.4 (TF-5) amarrando la rueda del tren de aterrizaje delantero de un F-15 en Robins AFB (izquierda) y WIDE 14 de Mototok operando con un C-130 (derecha).	55
Figura 31 Por primera vez, cibernéticos aviadores (cyber airmen) utilizaron las capacidades de Internet por satélite y móvil para conectar una instalación de debriefing desplegada para operar con el F-35 Lightning II.	57
Figura 32 Sistema ultraportátil de comunicaciones por satélite de GATR se utiliza durante un ejercicio de las fuerzas de operaciones especiales en Mt Adams, Washington.	58
Figura 33 Paquete de sistemas Tactical Integrated Communications Suite (TICS) de 4K Solutions instalado en un Polaris Defense MRZR UTV.	59
Figura 34 Madurez y grado de implementación de soluciones tecnológicas compatibles con las actividades en las que se centra cada uno de los Pilares.	61
Figura 35 Tractor eléctrico operado remotamente LB 3900 NG de Mototok, identificado como solución compatible a las capacidades y necesidades del Ejército del Aire y del Espacio, y dispositivo empleado para su control. Nótese su aplicación al ámbito militar.	69
Figura 36 Soluciones no tripuladas de tipo COTS escogidas para cada uno de los Pilares.	71
Figura 37 Propuesta de la familia de sistemas TORO.	72
Figura 38 Aspecto y dimensiones generales del vehículo base del TORO.	73
Figura 39 Esquema funcionamiento ruedas Mecanum.	73
Figura 40 Controlador XBOX empleado para controlar un UGV. La línea que separa la tecnología civil de la militar es cada vez más difusa y elementos COTS facilitan la integración y la curva de aprendizaje.	74
Figura 41 El espacio reservado para albergar las ruedas del tren de aterrizaje auxiliar o delantero del avión remolcado en el tractor eléctrico no tripulado de partida posee un volumen interno de 0,5 m ³ en la versión más compacta de módulo de misión. Sería ampliable según requisitos.	75
Figura 42 Vehículo base del sistema TORO equipado con el módulo para detección y eliminación de FOD en pistas, calles de rodadura y plataformas.	75



Figura 43 Vehículo base del sistema TORO equipado con el módulo para manipulación de misiles y otras municiones, destinado a labores de rearme de las aeronaves de combate.....	76
Figura 44 Vehículo base del sistema TORO equipado con el módulo de seguridad, diseñado para poder a operar con drones aéreos con cable (tethered) y sin éste...	77
Figura 45 Vehículo base del sistema TORO equipado con el módulo para remolcado de aeronaves.	77
Figura 46 Vehículo base del sistema TORO equipado con el módulo de conectividad y comunicaciones.....	78
Figura 47 Esquemas de transporte en T.23 (A400M) y contenedores estándar.	79
Figura 48 Ejemplo de posibilidades de despliegue con 10 sistemas TORO y 20 módulos de misión.	80
Figura 49 Con el sistema TORO se podría conseguir una reducción de hasta un 40% de personal desplegado para una misma misión.	81



LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Características relevantes desde el punto de vida del despliegue de las aeronaves de transporte T.21, T.23 y T.24.....	23
Tabla 2 Características de algunos de los contenedores habitualmente empleados en los despliegues del Ejército del Aire y del Espacio y/o compatibles con las aeronaves de dicho ejército.	32
Tabla 3 Características físicas de algunos pallets de la serie militar 463L.	33
Tabla 4 Características de los pallets militares 463L Unit Load Devices (ULDs), de lanzamiento de carga o Container Delivery System (CDS) y civiles utilizados en el Ejército del Aire.	34
Tabla 5 MTOW y números de ruedas del tren delantero de las principales aeronaves de transporte y combate en servicio en el Ejército del Aire y del Espacio.....	41
Tabla 6 Características principales de algunos modelos de tractores de aeronaves no tripulados y controlados remotamente desarrollados por los fabricantes TowFLEXX y Mototok.	56
Tabla 7 Evaluación del tractor eléctrico no tripulado LB 7500 NG Flat de Mototok..	66
Tabla 8 Evaluación del tractor eléctrico no tripulado LB 3900 NG de Mototok	66
Tabla 9 Evaluación del tractor eléctrico no tripulado LB 9500 de Mototok.....	67
Tabla 10 Evaluación del tractor eléctrico no tripulado SPACER 200 de Mototok.....	67
Tabla 11 Compatibilidad del tractor no tripulado LB 3900 NG de Mototok con diversos sistemas de pallet y contenedor.....	68
Tabla 12 Compatibilidad del tractor no tripulado SPACER 200 de Mototok con diversos sistemas de pallet y contenedor.....	69
Tabla 13 Resumen de soluciones basadas en COTS propuestas por el presente estudio.....	70



RESUMEN EJECUTIVO

El proyecto de Base Aérea Conectada, Sostenible e Inteligente (BACSI) que pretende revolucionar la concepción de las Bases Aéreas del Ejército del Aire y del Espacio debe poder acompañar a dicho Ejército en sus operaciones de despliegue y proyección de fuerza en el extranjero. Éstas suponen una fracción nada desdeñable de las labores acometidas por sus efectivos y son fruto del compromiso de España con sus Aliados de la Unión Europea y la OTAN, de modo que la actualización de medios y equipos, conceptos operativos y filosofía de trabajo son imprescindibles para que el Ejército del Aire y del Espacio se mantenga a la vanguardia en todo su abanico de misiones y funciones y, en particular, en aquellas más allá de nuestras fronteras.

El personal humano es altamente valioso y, en muchas ocasiones, escaso. Es por ello que las labores asignadas a éste deben ser de alto valor añadido, caracterizadas por la toma de decisiones centrada en individuos de un gran nivel de preparación y un alto grado de control en un entorno exigente y rápidamente cambiante. De esta forma, la automatización y optimización de tareas debe estar en el punto de mira de cualquier revolución tecnológica como es BACSI.

Con el objetivo en mente de que el concepto BACSI sea desplegable y acompañe al Ejército del Aire y del Espacio allá adonde vaya, en este proyecto se plantea, analiza y esboza la adopción de múltiples sistemas tripulados para apoyar a los aviadores en sus destacamentos aerotácticos, liberándolos de aquellas tareas más arduas, repetitivas o peligrosas. Esta solución no estaría exclusivamente destinada a las misiones de despliegue, sino que su implementación en las Bases Aéreas del territorio nacional sería inmediata.

Para ello primero se estudian las operaciones de despliegue más recientes llevadas a cabo por el Ejército del Aire y del Espacio y se identifican algunos de los principales medios técnicos utilizados en este contexto. Seguidamente se plantea el problema derivado de la acuciante falta de personal y se propone la automatización de labores y sistemas de apoyo como clave para sobrevenir esta problemática.

Descrita la motivación del trabajo se procede a plantear la idea global, consistente en identificar una serie de actividades estimadas suficientemente críticas como para impactar significativamente en el concepto de BACSI desplegable. Estas actividades



son los Pilares sobre los que sustenta esta evolución operativa y de concepto, motivo por el cual se designan como tal. Se identifican cinco de estos Pilares: I) Limpieza de FOD; II) Rearme y manejo de municiones; III) Seguridad; IV) Remolcado y operación en pista de aeronaves; y V) Conectividad. Todos estos Pilares contribuyen a su vez al desarrollo de las distintas Áreas Funcionales definidas en BACSI y se describen en el proyecto.

Dado que se busca que estos sistemas sean desplegados y que esta clase de misiones implican un uso profuso de medios aéreos se evalúan las características principales de las aeronaves involucradas en los despliegues y del equipamiento logístico, principalmente pallets y contenedores, que se transporta en dichos aviones.

Seguidamente se realiza un ejercicio de sondeo de los mercados civil y militar en forma de *benchmarking*, identificando, clasificando, describiendo y evaluando algunas soluciones tecnológicas ya existentes y compatibles las actividades de los Pilares. Con vistas a la adopción de esta clase de sistemas en el seno del Ejército del Aire y del Espacio se propone a continuación una filosofía de implementación basada en dos fases diferenciadas: I) Solución “llave en mano”, consistente en la selección de aquellos sistemas considerados más óptimos y adecuados en cada uno de los Pilares durante el ejercicio de prospección; II) Desarrollo de una familia de productos de plataforma común, a su vez basada en un concepto semejante al de tractor eléctrico no tripulado para remolcado de aeronaves seleccionado en la Fase I. Estas dos fases buscan contribuir a BACSI tanto a corto y medio como a largo plazo, respectivamente.

Como materialización conceptual de la Fase II presenta el sistema TORO (Tractor Omnirol Remotamente Operado) para el Ejército del Aire y del Espacio. Caracterizado por un alto grado de flexibilidad, se basa en el empleo de módulos destinados a acometer las actividades clave de cada uno de los Pilares. Su diseño compacto es altamente aerotransportable así como compatible con los medios aéreos y logísticos actuales, y su carácter modular permite su adaptación a las diferentes circunstancias operativas a las que se deba hacer frente. El empleo de una plataforma común se considera, además, clave desde el punto de vista de la reducción de la huella logística y su diseño y fabricación contribuiría al desarrollo de la industria nacional gracias a la catalización de la introducción de nuevas tecnologías.



1. INTRODUCCIÓN

En este primer capítulo se realiza un breve repaso a las misiones en el extranjero y despliegues más recientes del Ejército del Aire y del Espacio a fin de poner de manifiesto su relevancia y peso en las operaciones de este ejército. Con el objetivo de poder enmarcar este trabajo, seguidamente se presenta el proyecto BACSI y se enumeran someramente algunos de los medios materiales utilizados en el apoyo a las operaciones aéreas y, por tanto, susceptibles de formar parte de los despliegues. Por último, analizada la situación la actual se presentan la motivación de este estudio y algunas propuestas de mejora orientadas a lograr un concepto de BACSI basada en el empleo de sistemas no tripulados que sea también desplegable o proyectable más allá de las fronteras nacionales.

1.1 Despliegue del Ejército del Aire y del Espacio: Misiones recientes

Para poder acometer el doble objetivo de dimensionar el volumen de medios aéreos y personal que emplea el Ejército del Aire y del Espacio en sus despliegues en el extranjero, así como de poner de manifiesto el peso de dicha clase de operaciones en el conjunto de las actividades de dicho ejército, se realiza a continuación un breve repaso a los despliegues más recientes realizados por los hombres y mujeres que integran el Ejército del Aire y del Espacio.

En resumen, de la información recopilada (y que se presenta seguidamente de forma resumida) se puede observar que los despliegues de dicho Ejército están centrados en África central y occidental, así como en los Países Bálticos, Rumanía y Bulgaria. Entre los medios de transporte habitualmente empleados predominan el T.21 y el T.23, siendo las aeronaves de combate utilizadas C.15 y C.16. Suelen destacarse del orden de entre 6 y 8 de estos últimos. El número de efectivos desplegados no supera las 140 personas, siendo el de 130 militares un número habitual. El número de pilotos desplegados es del orden de 10, de modo que por cada piloto intervienen otros 12 efectivos adicionales. Para la ejecución del despliegue, entendiéndose por ello el traslado de material y efectivos, se realizan habitualmente del orden de 2 ó 3 vuelos, generalmente empleando el avión T.23, si bien también es habitual el uso del T.21, especialmente en las operaciones del teatro africano. Todo ello permite obtener una primera impresión de la huella logística de esta clase de operaciones.



Apoyo a Centroáfrica: Destacamento Mamba

Compuesto por 50 personas de diferentes de distintas unidades, algunas de las cuales pertenecientes al Grupo Móvil de Control Aéreo (GRUMOCA) y al Escuadrón de Apoyo al Despliegue Aéreo (EADA), el destacamento Mamba estuvo en operación desde 2014 hasta finales de marzo de 2020 desde Libreville (Gabón). El avión destacado en este caso fue en este caso un T.21 del Ala 35, a cuyos operativos correspondieron las labores mantenimiento de la aeronave. Los efectivos de GRUMOCA y EADA se encargaron de las labores de comunicaciones y seguridad, respectivamente. La labor desempeñada por este destacamento fue la de transporte aéreo logístico de carga y personal a través de la *Joint Operation Area* (JOA), que abarca el Sahel, África Occidental y África Central [1].

Barkhane: Destacamento Marfil

Formado por un total de 65 efectivos pertenecientes al Ala 35, GRUMOCA, EADA, UMAA, así como por dos aviones T.21, el destacamento Marfil contribuye al aerotransporte intra-teatro a las Fuerzas Armadas francesas que participan en las misiones de Naciones Unidas, de la Unión Europea y G5 Sahel en la zona de operaciones en torno a Malí. Dichas misiones tienen por objetivo el fortalecimiento de la seguridad y la estabilidad en la región. La base de operaciones de este destacamento, a cuyo contingente se unió el del destacamento Mamba en marzo de 2020, se encuentra en Dakar (Senegal) [2].

Operación Atalanta: Destacamento Orión

El objetivo de la Operación Atalanta consiste en proteger a los barcos del Programa Mundial de Alimentos y otros buques vulnerables de la piratería en las costas de Somalia, apoyando también otras misiones de la UE en la zona. Con base en Yibuti, el destacamento está integrado por entre 55 y 59 militares y estuvo dotado de un avión de patrulla marítima y reconocimiento P.3M, que fue reemplazado por un T.19B/D.4 SAR/VIGMA [3]. En el despliegue y apoyo de dicho destacamento intervienen dos aeronaves T.21 del Ala 35 en sustitución del ya retirado T.10 del Ala 31 [4], [5].



Destacamento Panzic (Rumanía)

Usando como centro de operaciones la Base Aérea Baza 57 Aeriană "Mihail Kogălniceanu", próxima a la Constanza, a orillas del Mar Negro, el destacamento Panzic estuvo operativo entre febrero y marzo de 2021 y tuvo por tarea principal la *Enhanced Air Policing* (patrulla aérea y servicios de alerta), centrada en la disuasión y defensa de las fronteras de los países que integran la OTAN. Para ello el Ejército del Aire y del Espacio destacó seis aeronaves C.16 (Eurofighter) del Ala 11 y 130 efectivos (computando en esta cifra 10 pilotos, personal de logística, mantenimiento, vigilancia y control, lo que supone una relación 11 efectivos "auxiliares" por piloto) [6], [7].

Para la preparación del despliegue, en enero de ese mismo año se llevó a cabo el traslado de material y personal de la SEADA destinado al acondicionamiento de la zona por medio de varios vuelos de España a Rumanía usando aeronaves T.21 y T.23/TK.23. Se realizaron al menos un vuelo de ida usando un T.21 y otros dos empleando un T.23 [7].

Destacamento Vilkas (Lituania)

En 2022 se desplegaron un total de 8 cazas de combate C.15M (aunque también estuvo operativo un 1 CE.15) durante cuatro meses, del 1 de abril al 1 de agosto, en la Base Aérea lituana Siauliai (Figura 1). Compuesto por 140 personas, 94 efectivos de los cuales pertenecían al Ala 12, el destacamento Vilkas participó en la misión *Baltic Air Policing* de la OTAN, prestando su servicio como *Enhanced Air Policing* [8], [9]. El traslado de personal y medios se inició en marzo, empleando para ello las aeronaves de transporte T.23 del Ala 31, con base en Zaragoza, que realizaron un mínimo de tres vuelos [8].



Figura 1 Operaciones de mantenimiento a aeronaves C.15M tras operaciones nocturnas en el seno del destacamento Vilkas. Fuente: [10].

Destacamento Strela (Bulgaria)

También en 2022 tuvo lugar el despliegue del destacamento Aerotáctico Strela, con centro de operaciones en la Base Aérea de Grad Ignatievo, en Bulgaria. Éste realizó la labor de *Enhanced Air Policing* para reforzar y apoyar a la Fuerza Aérea de Bulgaria y Rumanía en sus funciones de disuasión y defensa de la Alianza Atlántica. De esta forma, entre el 11 de febrero y el 31 de marzo se destacaron 4 aeronaves C.16 pertenecientes al Ala 14 de la Base Aérea de Albacete, así como 130 militares (entre pilotos, mecánicos y armeros, así como personal de seguridad, médico y administrativo). En base a la información obtenida a través de fuentes abiertas es posible constatar que en el despliegue intervinieron un T.22 del 45 grupo, que trasladó personal de Albacete a la Base Aérea de Grad Ignatievo, y dos T.23 del Ala 31 que transportaron personal y material entre esas dos Bases Aéreas. En el repliegue intervinieron también dos T.23, usándose un TK.23 para repostar en vuelo los cazas tanto a la ida como a la vuelta [10].

Destacamento Ámbar (Estonia)

Del 25 de agosto de 2022 hasta el 12 de septiembre de ese mismo año se desplegaron en la Base Aérea de Ämari, próxima a Tallin (Estonia), cuatro aeronaves C.16 Eurofighter pertenecientes al Ala 14 (Figura 2). Para poder desempeñar su función de Policía Aérea del Báltico (al igual que el ya mencionado destacamento Vilkas) y soportar la operación de las citadas aeronaves el destacamento Ámbar estuvo compuesto por 67 efectivos (del Ala 14, GRUMOCA, SEADA, CLAEX y otras

especialidades). El traslado de personal y material fue realizado tanto a la ida como a la vuelta con un vuelo en un T.23 [11], [12].



Figura 2 Armado de un C.16 (Eurofighter) por parte de personal español y alemán en el contexto del destacamento Ámbar. Fuente: [13].

Destacamento Orel (Bulgaria)

El destacamento Orel estuvo desplegado desde el 11 de noviembre de 2022 hasta el 7 de diciembre de ese mismo año en la Base Aérea de Bezmer, en Bulgaria. Compuesto por 6 aeronaves C.16 (Eurofighter) del Ala 11, con sede en la Base Aérea de Morón, y un total de 130 efectivos personales (de las diferentes tipologías ya mencionadas), realizó maniobras aire-aire con la Fuerzas Aérea Búlgara, Patrulla Aérea de Combate y labores de interceptación, todo ello en el marco de las actividades destinadas a reforzar el Flanco Este de la OTAN [13].

Destacamento Viespe (Rumanía)

El destacamento Viespe ha sido desplegado en la Base Aérea Baza 86 “Aeriană Borcea” en Fetesti, Rumanía, en dos fases o bloques. De esta forma, del 27 de noviembre de 2022 al 31 de marzo de 2023 estuvo integrado por ocho cazas C.15M del Ala 15, a los que tomaron el relevo el 31 de marzo siete cazas C.15M del Ala 12, que estarán desplegados hasta junio de 2023. Está compuesto por 130 militares y realiza las labores de *Enhanced Air Policing*. En las operaciones de despliegue y retorno de algunos de los efectivos (por ejemplo, los miembros del SEADA) fueron empleadas aeronaves de transporte T.21 del Ala 35 (Figura 3), si bien la información disponible no es exhaustiva [14].



Figura 3 Operación de traslado del personal del destacamento Viespe utilizando una aeronave T.21 del Ala 35. Fuente: [14], si bien la foto pertenece al EMAD.

1.2 Base Aérea Sostenible, Conectada e Inteligente: Áreas Funcionales

El proyecto BACSI (Base Aérea Sostenible, Conectada e Inteligente) tiene por objetivo llevar a cabo una actualización y mantenimiento en la vanguardia tecnológica de las Bases Aéreas del Ejército del Aire y del Espacio en tanto en cuanto estas constituyen un elemento clave de dicho ejército [15]. Esta transformación, iniciada en torno al principio de la tercera década del siglo XXI, se concibe a dos décadas vista, de modo que con su planteamiento y ejecución se están definiendo algunas de las características principales de las Bases Aéreas de mediados del siglo XXI.

Dicho programa está compuesto por una serie de iniciativas agrupadas según seis ámbitos de trabajo conocidos como “Áreas Funcionales” (AF) y, puesto que con el presente proyecto se pretende contribuir al progreso de algunas de las mismas, se estima oportuno listarlas seguidamente [16]:

- AF1. Conectividad global. Es un área transversal, centrada en la mejora de la interacción y la colaboración entre el personal que compone la Base Aérea mediante el desarrollo de una infraestructura de red inalámbrica de comunicación, dando lugar a un incremento en la productividad.
- AF2. Eficiencia energética y sostenibilidad medioambiental. Lograr el objetivo de la misma, enunciado en su propia definición, pasa por implantar sistemas de monitorización y sensorización a fin de permitir la adaptación de medidas



de ahorro energético, optimización del consumo o adopción de sistemas de autoconsumo.

- AF3. GIC¹ y optimización de procesos. Esta área de trabajo busca alcanzar una mejora de los procesos realizados en la Base Aérea a través de su digitalización, automatización, optimización del flujo de trabajo y desarrollo de *software*.
- AF4. Protección de la fuerza. Mediante el empleo de tecnologías y avances disruptivos que permitan lograr la “superioridad en la información”, así como el desarrollo de capacidades de sistemas de seguridad, defensa pasiva y recuperación, esta área busca mejorar la eficiencia en la función de la protección de la fuerza en las Bases Aéreas.
- AF5. Seguridad en la operación. Esta área está centrada en el desarrollo de soluciones que mejoren la seguridad de personas y medios durante su operación en la base, reduciendo su exposición, monitorizando su estado y aumentando el grado de conciencia situacional.
- AF6. Sostenimiento 4.0. Esta área busca pasar a un modelo de mantenimiento predictivo basado en la monitorización de la flota, logrando una mejor planificación de las operaciones de MRO², abastecimiento y gestión de *stocks*.

Si bien en primera instancia todos estos puntos parecerían centrados en el desarrollo de las Bases Aéreas en el territorio nacional, también son de aplicación a los despliegues en el exterior del Ejército del Aire y del Espacio a fin de lograr mantener la libertad de acción y la operatividad de la fuerza [15] en un mismo estado de disponibilidad que en los aeródromos de origen. En definitiva, la Base Aérea del futuro y sus nuevas características deberán ir de la mano de la proyección de fuerza que realice el Ejército del Aire y del Espacio.

1.3 Medios y equipos utilizados en el despliegue en la actualidad

La operación de la rama aérea o aeroespacial de cualquier ejército del mundo pivota en torno a sus sistemas de armas, que no son otras que las aeronaves de ala rotaria y ala fija, tripuladas u operadas remotamente, de que consta su flota. En la operación

¹ Gestión de la Información y el Conocimiento

² *Maintenance, Repair, Overhaul (Operations)* – Mantenimiento, Reparación, Revisión, en este caso de las aeronaves.



de estos sistemas juegan un papel crucial todos aquellos elementos encargados de la navegación aérea, la gestión y conducción de las operaciones en las que toman parte en un entorno crecientemente multidominio [17], el reabastecimiento de los aparatos, su mantenimiento (predictivo o reactivo) y reparación, la seguridad de la base aérea o la formación de pilotos, operadores y personal en tierra, entre otros.

Por otro lado, el material transportado en un despliegue se divide principalmente en tres categorías:

- Armamento (misiles, bombas, proyectiles para el cañón principal...).
- Repuestos para las aeronaves y sus plantas de propulsión, así como fluidos y otras sustancias necesarias para su operación y mantenimiento como grasas, combustibles, aceites, productos de limpieza...
- Equipos de apoyo en tierra.

Así, tanto en el despliegue y proyección de la fuerza aérea, como en las operaciones ejecutadas desde los aeródromos y Bases Aéreas en territorio nacional, juegan un papel muy relevante todos aquellos vehículos y equipos destinados a asistir la operación de las aeronaves. A fin de poder identificar posibles áreas de mejora se estima conveniente realizar una breve identificación de los medios actualmente en servicio en el Ejército del Aire y del Espacio, recurriendo para ello a analizar los más relevantes proveedores de estos equipos.

Entre los principales suministradores de equipos de apoyo en tierra a aeronaves, *Ground Support Equipment (GSE)* o *Aircraft Ground Equipment (AGE)*, del Ejército del Aire y del Espacio se encuentran EINSA, Langa Industrial (empresa encargada también del suministro de contenedores logísticos) y Flavia Aeronáutica [18]. Atendiendo principalmente a aquellos medios y equipos empleados para asistir el desplazamiento de las aeronaves en pista, su reabastecimiento de fluidos diversos (incluyendo combustible y agua) y municiones, así como la realización de operaciones de carga y descarga se identifican las siguientes tipologías [19]:

- Posicionadores de cargas externas. Se incluyen en esta categoría carros remolcados para el transporte de municiones, sistemas eléctricos para la elevación y descenso de misiles empujados por el operador o vehículos



autopropulsados con horquillas. Están destinados generalmente a la instalación y desinstalación de proyectiles y tanques externos de combustible.

- Plataformas de carga. En esta categoría se engloban las plataformas elevadoras, autopropulsadas o no, en ocasiones con diseño aerotransportable. Habitualmente su diseño está orientado a la carga y descarga de unidades paletizadas en aviones militares de transporte a través de rampa o en bodegas altas de aviones civiles.
- Posicionadores de aeronave. Se trata de equipos eléctricos, habitualmente destinados a trabajar en áreas de baja maniobrabilidad como hangares y cubiertas de buques portaaviones, con los que se desplazan y orientan helicópteros y aviones. No están ideados para el remolcado durante largas distancias, quedando esta labor en manos de los tractores.
- Tractores. Se engloban en esta categoría aquellos vehículos tripulados destinados a arrastrar, empujar y posicionar equipos auxiliares y aeronaves mediante una barra que se conecta al aparato arrastrado. Habitualmente se trata de vehículos diésel.
- *Ground Power Unit* (GPU). Se incluyen en esta familia los grupos eléctricos remolcados destinados a suministrar energía eléctrica a las aeronaves, autopropulsados o no, así como aquellos vehículos de arranque que proporcionan potencia neumática y eléctrica a aquellas aeronaves que no puedan arrancar de forma autosostenida.
- Mulas hidráulicas. Son aquellos equipos que permiten llevar a cabo una comprobación in situ de las condiciones operativas de los equipos hidráulicos de la aeronave (detección de fallos, reposición y filtrado de fluido hidráulico...).
- Cisternas. Se trata de cubas autopropulsadas o remolcadas de agua potable y detergente y/o recolección de aguas residuales, según corresponda, así como de vehículos destinados a reabastecer de combustible a las aeronaves. El suministro de combustible suele realizarse mediante camiones o depósitos en puntos fijos en el aeródromo o aeropuerto, asistiéndose en tal caso el repostaje mediante vehículos auxiliares.

En la Figura se muestran algunas fotografías correspondientes a estos elementos de AGE/GSE en servicio en el Ejército del Aire y del Espacio y la FLOAN (Flotilla de Aeronaves de la Armada).



Figura 4 Ejemplos de AGE en servicio en el Ejército del Aire y del Espacio y en la Armada. De izquierda a derecha, de arriba abajo, Posicionador Autopropulsado de Cargas Externas VAP-40D reabasteciendo un C.16; Plataforma Autopropulsada Aerotransportable MC/TET-30 realizando una labor de carga en un T.22; Tractor de arrastre desplazando un C-15; Mula Hidráulica Remolcada VRPH-12D en labores de asistencia a un T.10; Posicionador de aeronaves M/VAE-10 manejando un AV-8B Harrier II; *Ground Power Unit*. Fuente: Todas las fotografías [19], a excepción de aquellas correspondiente al tractor [20].

1.4 Motivación: Opciones y propuestas de mejora

En 2018 el jefe de Estado Mayor del Ejército del Aire, general Javier Salto, destacó la falta de personal en el Ejército y mencionó que, a corto plazo, se requerirían unos 5.000 militares adicionales para satisfacer las necesidades actuales y futuras. En la actualidad, el número de militares se ha reducido de 27.000 hace una década a 23.000, una cifra que disminuirá aún más a 20.000 debido a la nueva directiva de plantillas. El Ejército del Aire y del Espacio representa el 17% del total de las Fuerzas Armadas, mientras que, en otros países de nuestro entorno, supone el 25% [21].

La falta de personal afecta a la capacidad del Ejército para realizar misiones en el extranjero y afrontar las nuevas necesidades tanto en el ámbito aéreo, como la ciberdefensa y otras tareas. En consecuencia, invertir en automatización y drones debe de ser un imperativo para el Ejército del Aire y del Espacio para cubrir en parte ese *gap* de falta de personal y tratar de hacer un uso más eficiente de los recursos humanos disponibles (en la Figura 5 y en la Figura 6 se muestran algunas labores intensivas en mano de obra típicas del día a día de una Base Aérea).

Para ello se deben hallar soluciones con un componente tecnológico avanzado e innovador que busquen la implementación de tecnologías consolidadas, útiles, asequibles, seguras y escalables, enfocadas en la organización, el usuario (permitiendo un ahorro de personal y mayor eficiencia) y los objetivos, siempre adaptables al contexto [22], [23].

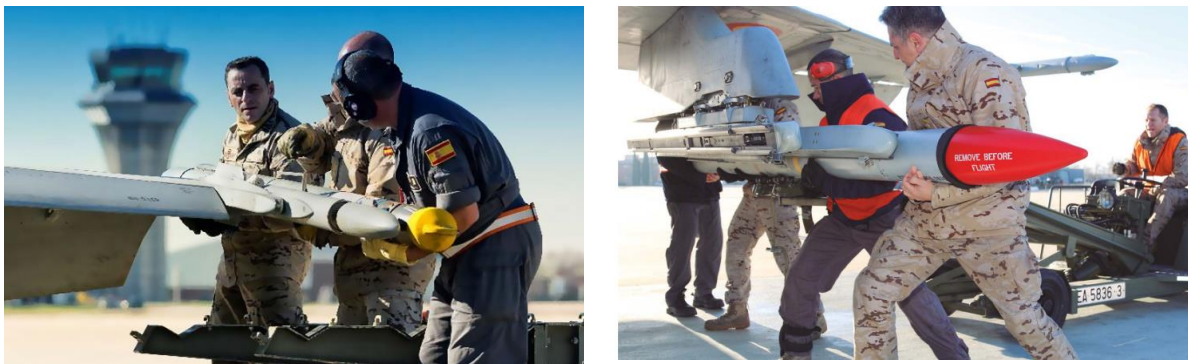


Figura 5 Operación de aprovisionamiento de misiles en una aeronave del Ejército del Aire y del Espacio. Fuente: Izquierda, BACSI [16]; derecha, Perfiles IDS [15].

Dado que el despliegue y la proyección de fuerza suponen una parte relevante de la actividad del Ejército del Aire y del Espacio, estas soluciones no tripuladas deben estar caracterizadas por su flexibilidad y facilidad para ser transportadas (movilidad). De esta forma, el enfoque adoptado es el de que las soluciones adoptadas no sean sólo aplicables en la base de origen, sino también en aquella de despliegue de los efectivos.

En definitiva, la propuesta planteada en el presente proyecto es que ciertas actividades de apoyo a la operación de la Base Aérea intensivas en mano de obra, persona-dependientes, exigentes en términos de precisión, arduas desde el punto de vista físico y/o con unos costes ecológicos y económicos significativos pasen a ser desempeñados por sistemas no tripulados, operados habitualmente por un único efectivo en condiciones de mayor seguridad y comodidad. Los equipos que pasen a realizar dichas labores deberán poder ser, además, desplegados, asistiendo al Ejército en sus esfuerzos expedicionarios tal y como lo harían un infante o los medios convencionales actualmente en servicio.



Figura 6 Supresión manual de FOD durante un paseo de eliminación de FOD o *FODwalk* en el Base Aérea de Moody (izquierda) y miembros de los ejércitos del aire de Estados Unidos, Alemania y Bélgica realizado un *FODwalk* (derecha). Fuente: [24] y [25], respectivamente.



2. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA PROPUESTA

Este segundo capítulo comprende la presentación de la idea general del proyecto, la evaluación de aquellas condiciones de contorno material que influyen en qué medios materiales puede ser desplegados en misiones llevadas a cabo en el extranjero por parte del Ejército del Aire y del Espacio, la descripción del esquema basado en pilares de tecnología que se adopta en este estudio, así como un ejercicio de *benchmarking* destinado a identificar algunas de las soluciones planteadas, desarrolladas y/o adoptadas por las industrias civil y militar para llevar a cabo las funciones antes identificadas y descritas.

2.1 Idea global

Una vez cuantificados de forma aproximada la cantidad de efectivos humanos que emplea el Ejército del Aire y del Espacio en sus despliegues, así como las aeronaves y medios técnicos de apoyo a la operación de la flota desplegada que se emplean en dicha clase misiones, además de algunos de los retos a los que se enfrentará el Ejército en las próximas décadas, se propone recurrir al empleo de sistemas no tripulados que sean desplegados y que, por tanto, contribuyan a la optimización de recursos y la reducción del volumen de personal que es necesario desplegar. De esta forma, la aplicabilidad de estos sistemas no quedaría restringida al ámbito de la Base Aérea de origen.

A fin de poder definir una solución técnica es preciso conocer primero las características de aquellos medios logísticos empleados en el traslado de personal y, en particular, de carga para acometer dichos despliegues (por ejemplo, dimensiones y capacidad o peso transportable). En particular, esto hace referencia a los contenedores y los medios de transporte en los que se desplazan (en particular, las aeronaves de la flota de transporte del Ejército del Aire y del Espacio).

Aunque existen múltiples actividades y equipos cuya automatización y/o optimización por medio de la adaptación de soluciones robóticas o no tripuladas y controladas en remoto, es razonable centrar la atención y los recursos en aquellas actividades cuyo desarrollo más contribuya al proyecto BACSI, así como al objetivo ya mencionado de lograr un mayor aprovechamiento de recursos humanos. Esto se hará fundamentando el despliegue de la Base Aérea del siglo XXI en una serie de Pilares.



Por tanto, la idea general del proyecto consiste en identificar una serie de áreas o actividades en las que la adopción de sistemas no tripulados se estima clave, evaluar qué soluciones se han desarrollado en las industrias civil y militar para dar respuesta a esos retos y, finalmente, proponer una estrategia de implementación de estas tecnologías por parte del Ejército del Aire y del Espacio a medio y largo plazo.

2.2 Condiciones de contorno identificadas

Como si de una *matrioshka* se tratara, una vez establecida la estrategia general de exposición de la propuesta se van a definir los sucesivos elementos y recipientes contenedores mediante los cuales se transportarán los sistemas no tripulados identificados en este proyecto, yendo de más grande a más pequeño. Así, en primera instancia se identificarán los vehículos mediante los cuales se prevé que el Ejército del Aire y del Espacio vaya a realizar sus despliegues en las próximas décadas. Como se discutirá someramente a continuación, y teniendo presente que la clase de despliegue más restrictivo en términos de espacio disponible y peso transportable es el aerotransportado, dichos vehículos serán las aeronaves de transporte de dicho ejército, obviándose otras alternativas para el envío de carga.

La siguiente capa o recipiente lo constituyen los contenedores y pallets empleados en el transporte de carga. De esta forma, y yendo ahora de dentro a fuera, la idea es que los sistemas que constituyan el abanico de herramientas no tripuladas a emplear en el apoyo al despliegue de la Base Aérea del futuro sean transportables en contenedores y pallets que, a su vez, sean compatibles con las aeronaves de transporte de la flota del Ejército del Aire y del Espacio. Esta segunda compatibilidad está garantizada, pues no es exclusiva de la aplicación que aquí se propone, pero a través de la identificación de las capacidades de transporte de cada aeronave es posible valorar, al menos cualitativamente, el impacto de esta propuesta en el esfuerzo logístico del despliegue y, en concreto, la reducción del volumen de carga a transportar que de ella se deriva.

2.2.1 Aeronaves destinadas al transporte de equipamiento y personal

Si bien la flota de aeronaves de transporte del Ejército del Aire y del Espacio comprende un mayor número de modelos que los que se va a analizar a continuación, este estudio va a centrarse en los siguientes aviones ateniendo a su mayor capacidad

de carga (en concreto, mayor *Maximum Take-Off Weight*, MTOW), máximo radio de acción o alcance, menor antigüedad e historial de despliegue:

- Airbus C-295 (T.21)
- Airbus A400M (T.23)
- Airbus A330 MRTT (T.24/TK.24)

Quedan, por tanto, fuera de estudio tres aeronaves de transporte ya veteranas como son el Airbus C-212 Aviocar (T.12), el Airbus A310 (T.22) y el Airbus CN-235 (T.19/D.4). Algunas de las características más relevantes de los aviones T.21, T.23 y T.24 desde el punto de vista logístico se indican en la **Tabla 1**, en la que PL hace referencia a *PayLoad* o carga de pago o útil y MPL se refiere a *Maximum PayLoad* o carga de pago máxima.

Aeronave	MTOW [kg]	MPL [kg]	Anchura de cabina [m]	Altura de cabina [m]	Longitud de cabina [m]	Alcance [km]
T.21	23.200	9.000	2,70	1,90	12,69	3.700 (6.000 kg de PL)
T.23/TK.23	141.000	37.000	4,00	3,85	17,71	3.295 (con MPL)
T.24/TK.24	233.000	45.000	5,28	2,45+1,62	45,00	7.000 (con MPL)

Tabla 1 Características relevantes desde el punto de vida del despliegue de las aeronaves de transporte T.21, T.23 y T.24. Fuente: Elaboración propia en base a [26], [27], [28], [29].

El Ejército del Aire y del Espacio dispone de 20 unidades del avión T.21 (295) desarrollado y fabricado por Airbus Defence & Space (antes EADS CASA en España), pertenecientes al Ala 35 y el GRUEMA [31]. Además del transporte de carga y personal, mediante la apropiada configuración del aparato éste puede realizar numerosas labores distintas entre las que se encuentran MPA/MSA (patrulla y vigilancia marítima), SIGINT (inteligencia de señales) o repostaje en tierra y en vuelo. Propulsado por dos motores turbohélice Pratt & Whitney PW127G, despegue en condiciones ISA y a nivel del mar en 670 metros. Su alcance máximo sin carga de pago es de 5.750 km, mientras que su máxima carga de pago (MPL) puede alcanzar los 6.000 kg [27].

El C295 puede reconfigurarse de forma rápida para el transporte de carga, tropas, paracaidistas, vehículos y personal herido, realizando en éste último caso la labor de

MEDEVAC (Figura 7). También es posible adoptar configuraciones mixtas. De esta forma, dependiendo de la configuración escogida puede llegar a transportar hasta 69 efectivos (48 en filas laterales y 21 en una central), 48 paracaidistas, 8 contenedores aerolanzables A22 (con una total carga máxima de 8.000 kg) o bien 5 pallets estándar 463L de 88" x 108", cuatro en la cabina de carga y uno en la rampa [27]. El empleo de estos pallets se ve potenciado gracias a su compatibilidad con el sistema de rodillos del sistema de desplazamiento de carga de la aeronave (Figura 8).



Figura 7 Transporte de *quads* en el interior de un T.21 (C295), izquierda, y sistema autopropulsado de transferencia de pallets, derecha. Fuente: [26].

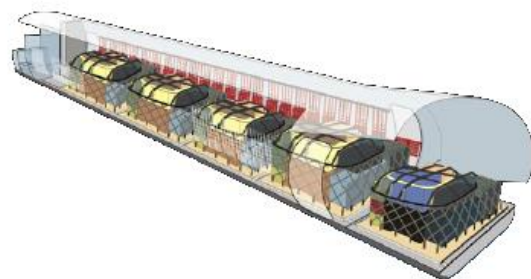
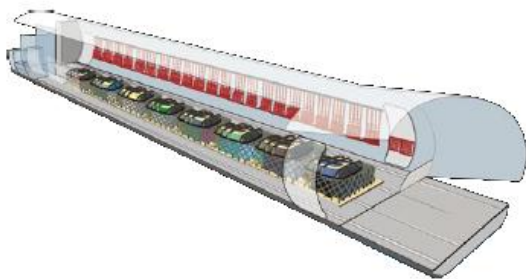


Figura 8 Algunas de las posibles configuraciones de carga en la cabina de un T.21 (C295). En el esquema de la izquierda se muestran 8 contenedores lanzables desde el aire A22, mientras que en el de la derecha se representa el transporte de 5 pallets estándar de 88" x 108" 463L. Fuente: [26].

Actualmente el Ala 31 del Ejército del Aire y del Espacio tiene en su flota un total 14 aeronaves de transporte T.23 (A400M), también de Airbus Defence & Space [31]. Equipado con cuatro potentes motores turbohélice TP400-D6 de EuroProp International (EPI), el A400M tiene un alcance en condiciones de MPL de 3.295 km,

llegando a 6.390 km si la carga de pago se limita a 20 toneladas. Puede realizar las veces de avión tanquero o cisterna, en cuyo caso pasa a designarse como TK.23, así como lanzar paracaidistas [28].

La bahía de carga en el interior de su fuselaje puede convertirse fácilmente para adoptar diferentes configuraciones de misión, entre las cuales cabe citar aquellas compatibles para transportar: 9 pallets estándar 463L de 88” x 108” (7 en la bahía de carga y 2 en la rampa), 7 pallets civil de 88” x 125” en el interior del fuselaje, 116 tropas (paracaidistas o no), 2 contenedores ISO-20 o un contenedor ISO-40, vehículos militares sobre ruedas y sobre orugas, e incluso helicópteros como el NH-90 o el Super Puma. Al igual que el C295 puede adoptar configuraciones mixtas o híbridas [28]. En la Figura 9 se muestran algunas de estas configuraciones de cabina, mientras que en la Figura 10 y en la Figura 11 se ilustran la capacidad de esta aeronave en términos de carga y volumen transportables.

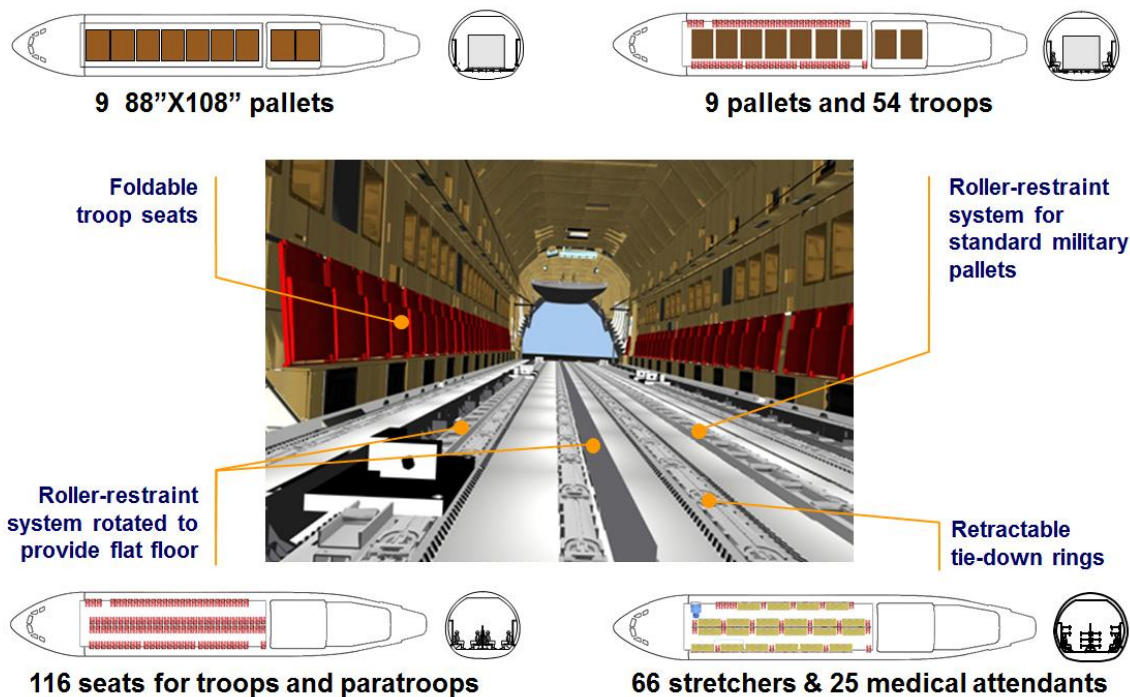


Figura 9 Características de la cabina del T.23 (A400M), con indicación del sistema de anclaje para pallets reconfigurable para obtener un suelo liso, así como disposiciones alternativas de cabina para transporte de personal, carga o mixto. Fuente: [30].

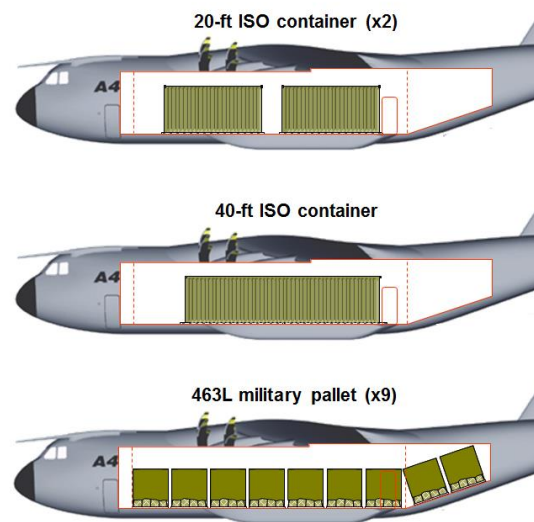


Figura 10 Dibujos esquemáticos que pretenden reflejar la disposición física de diferentes contenedores y pallets en el interior de un T.23 (A400M). Fuente: [31], aunque los croquis son de Airbus Military (ahora Airbus Defence and Space).



Figura 11 Bahía de carga de un A400M en misión de reabastecimiento a la misión *British Antarctic Survey* (izquierda) y carga de un contenedor ISO-20 en un A400M (derecha). Fuente: [32] y [30], respectivamente.

Por último, cabe destacar la incorporación a la flota del Ejército del Aire y del Espacio de la aeronave T.24 o A330 MRTT (*Multi Role Tanker Transport*) de Airbus Defence & Space, basada en la aeronave A330-200, también de Airbus. La conversión del aparato originalmente civil se realiza en las instalaciones que dicha compañía tiene en Getafe. Actualmente hay operativos 2 de estos aparatos en servicio en el 45 Grupo de Fuerzas Aéreas con capacidad para desempeñar labores de transporte de carga y personal, si bien está prevista su conversión en aviones tanqueros, pasando entonces a designarse como TK.23 [31]. Puede realizar la transferencia de combustible mediante un sistema de sonda y cesta desde dos *pods* bajo las alas

(Cobham 905E) o mediante una pértiga o *Fuselage Refuelling Unit* (FRU) Cobham 805E.

Equipado con dos motores turbofán, que pueden ser de los tres fabricantes de motores aeronáuticos principales (General Electric, Pratt & Whitney y Rolls-Royce), puede trasladar su carga de pago máxima, de 45.000 kg, a una distancia de 7.000 km. En condiciones de *ferry*, sin carga útil, su alcance es de 14.800 km [30].

Dispone de dos bahías de carga inferiores, una delantera y otra trasera, compatibles con un amplio rango de contenedores y pallets. Está equipado con un sistema de desplazamiento de carga que permite trasladar contenedores LD3 de dos en dos, cargando simultáneamente los compartimentos delantero y trasero. Opcionalmente también se puede dotar de una puerta de carga lateral operada hidráulicamente y controlada eléctricamente (Figura 12) [30].



Figura 12 De izquierda a derecha y de arriba abajo, compartimentos de carga en bodega, sistema de desplazamiento de carga, puerta lateral de carga y esquema de la configuración de carguero puro de un T.24/TK.24 (A300 MRTT). Fuente: [29].

Al igual que el T.21 y el T.23 puede adoptar numerosas configuraciones de cabina diferentes. Puede llevar 291 pasajeros o 270 pasajeros en una configuración de dos clases. También es capaz de ejercer el rol de MEDEVAC, llevando simultáneamente hasta 40 camillas del estándar OTAN, 100 pasajeros y 20 sanitarios. Mientras que en

la cabina se alojan los pasajeros y/o heridos y personal médico, en su bodega puede trasladar 8 pallets 463L y 2 contenedores LD3 o bien un total de 17 contenedores LD3.

También se puede convertir para adoptar una configuración de carguero puro, pasando entonces a poder trasladar un volumen de carga de 335 m³ en un total 34 pallets 463L (28 en cabina y 8 en bodega). Alternativamente pueden desplazarse 252 pasajeros mediante un sistema de asientos paletizados o pasar a una configuración combi, consistente en el transporte de 136 asientos paletizados y 5 pallets 463L [30]. Todo ello da cuenta de la flexibilidad y notable capacidad de carga de esta aeronave (Figura 13).

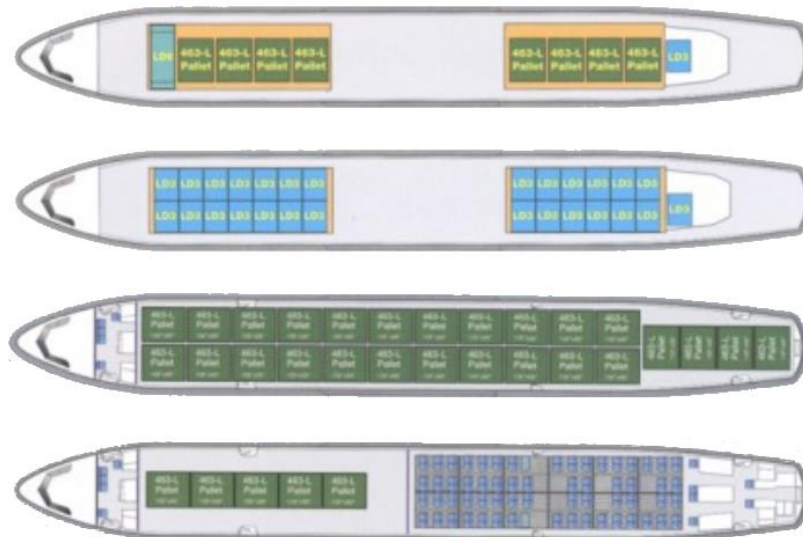


Figura 13 Alternativas de configuración para el T.24/TK.24 (A300 MRTT). De arriba abajo: configuración de bodega para transporte de pallets y contenedores LD3; configuración de bodega para transporte de contenedores LD3; configuración de carguero puro para transporte de pallets 463L en ambas cubiertas; y configuración combi (pallets 463L y asientos paletizados para casi 140 pasajeros). Las dos primeras alternativas son compatibles con el transporte de pasajeros y labor de MEDEVAC. Fuente: [29].

El A330 MRTT puede realizar numerosas misiones alternativas. Así, su fabricante reporta que un A330 MRTT y 4 aviones Eurofighter podrían realizar una misión de despliegue a 5200 km utilizando una carga de pago de 20.000 kg o bien a 6.700 km si no se traslada carga de pago alguna. Por otro lado, si se realizara una misión de transporte estratégico podrían desplazarse 300 tropas y su equipamiento (40.000 kg) a 8.400 km de distancia, o bien 200 efectivos de rescate y sus enseres (30.000 kg) a 10.200 km [30].

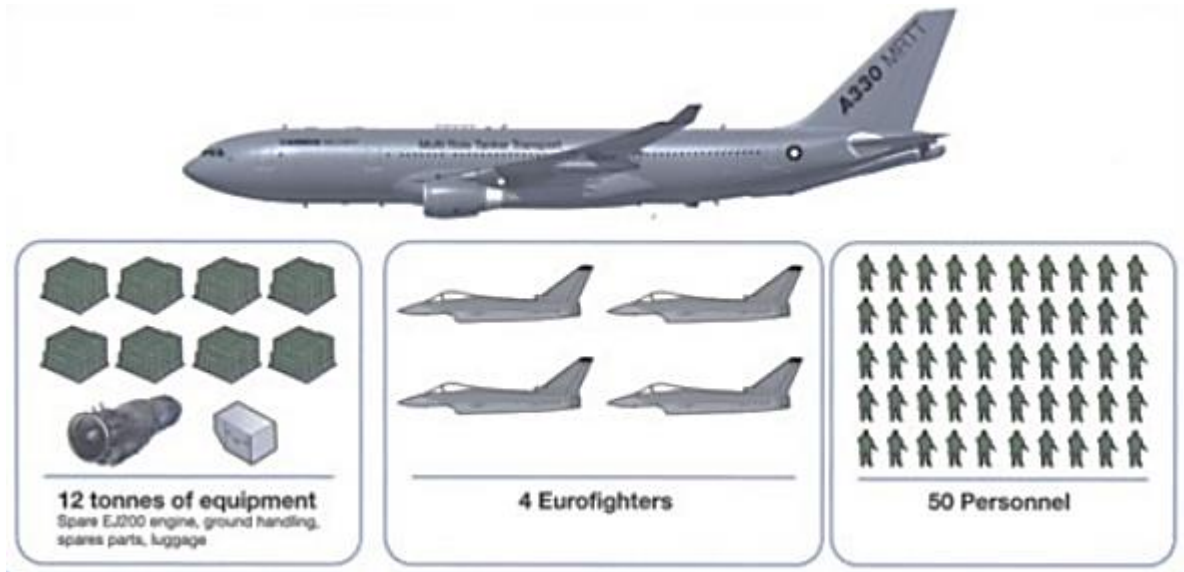


Figura 14 Empleo de un única aeronave A330 MRTT para apoyar el despliegue de 50 efectivos y 4 aeronaves C.16 (Eurofighter) junto con 12 toneladas de equipamiento, incluyendo motores de repuesto y otros materiales. Fuente: [29]

2.2.2 Tipologías de contenedores y pallets estandarizados

Habitualmente un despliegue del Ejército del Aire y del Espacio en misiones realizadas en el extranjero implica el empleo del orden de 30 a 40 contenedores ISO-20 de material, enviándose éste por transporte multimodal (usualmente una combinación de transporte por barco y mediante medios terrestres tales que camiones de carga y tráileres) o recurriendo a medios aéreos. Lógicamente, tanto el volumen de carga a transportar como las modalidades de transporte empleadas dependerán de la misión en concreto y, en particular, de la orografía y distancia entre el origen de los medios a desplegar y el punto de despliegue, así como del tamaño de la fuerza a proyectar, entre otras condiciones de contorno.

Si bien modalidades tales que el transporte por medios marítimos o por carretera ofrecen una menor restricción en términos del volumen de carga transportable, implican un mayor tiempo de despliegue, lo que podría anular su aplicabilidad en el caso de despliegues de carácter más urgente y que, por tanto, no se hayan podido programar y preparar con la debida anticipación. En este sentido, resulta algo conveniente citar que, en abril de 2023, a raíz del enfrentamiento armado de las Fuerzas Armadas de Sudán y de las Fuerzas de Acción Rápida, el Ejército de Tierra y el Ejército del Aire y del Espacio llevaron a cabo con éxito la evacuación del personal español en Sudán en poco más de 48 horas gracias a un eficaz despliegue de 200

militares españoles [33]. Aunque en tal caso se contó con el apoyo del personal del Destacamento Orión, basado en Yibuti, capital del país homónimo, donde se dispuso de una base avanzada para el despliegue de la mencionada operación (lo que, a su vez, redujo la necesidad en términos de la cantidad de medios a desplegar), este podría no ser el caso de otras operaciones en áreas remotas y lejos de bases o destacamentos propios o aliados, poniéndose entonces de manifiesto la conveniencia de poder realizar un despliegue rápido apoyado exclusivamente en medios aéreos.

En base a este razonamiento, el presente estudio se centrará en la identificación de medios y sistemas no tripulados cuyas dimensiones y peso los hagan compatibles con su transporte mediante contenedores aerotransportables. A fin de poder realizar esta primera criba, resulta imprescindible identificar dichas tipologías de contenedor. En el caso de aquellos sistemas de mayor tamaño este último requisito podrá relajarse y sustituirse por el de que puedan transportarse paletizados y amarrados mediante eslingas y otros mecanismos de sujeción en las aeronaves mencionadas en el apartado anterior, acomodándose para su transporte sobre pallets militares o civiles.

Además de los ya mencionados contenedores ISO-20, en los despliegues del Ejército del Aire y del Espacio son también habituales los contenedores ISO-10 e ISO-30, predominando los primeros en su versión aerotransportada o ISU-90 [34]. Quedan fuera del presente estudio sistemas de contenedores de carga tales que el A-22 y el A-7A, de menor tamaño y orientados a su despliegue mediante sistemas de paracaídas [35].

En la Tabla se muestran las dimensiones y capacidad de carga de pago de algunos de estos contenedores. La mayoría de estos pueden equiparse con accesorios suplementarios como deshumidificadoras, enganches para remolques, bandejas o separadores. Además, debe tenerse en cuenta que existen múltiples variantes de los contenedores de grado militar, como el ISU-60 o el ISU-90 [36], de modo que la variante en concreto será función de las características concretas de las aeronaves utilizadas y de los requisitos impuestos por el EADA en su selección. Así, por ejemplo, el ISU-90 existe en variantes de una sola puerta, de dos puertas o de cuatro puertas, así como con diferentes mecanismos de izado o de anclaje a riel. Las dimensiones que se proporcionan en citada Tabla son, además, una envolvente genérica que tiene por objeto definir la compatibilidad con el medio de transporte empleado en concreto.

Cabe destacar que todos los contenedores de la serie ISU-90 tienen todos ellos una longitud de 108", un ancho de 88" y una altura de poco más de 91" (274 x 224 x 232 cm, respectivamente) y pueden manipularse por medio de carretillas elevadoras o grúas dotadas de horquillas (Figura).

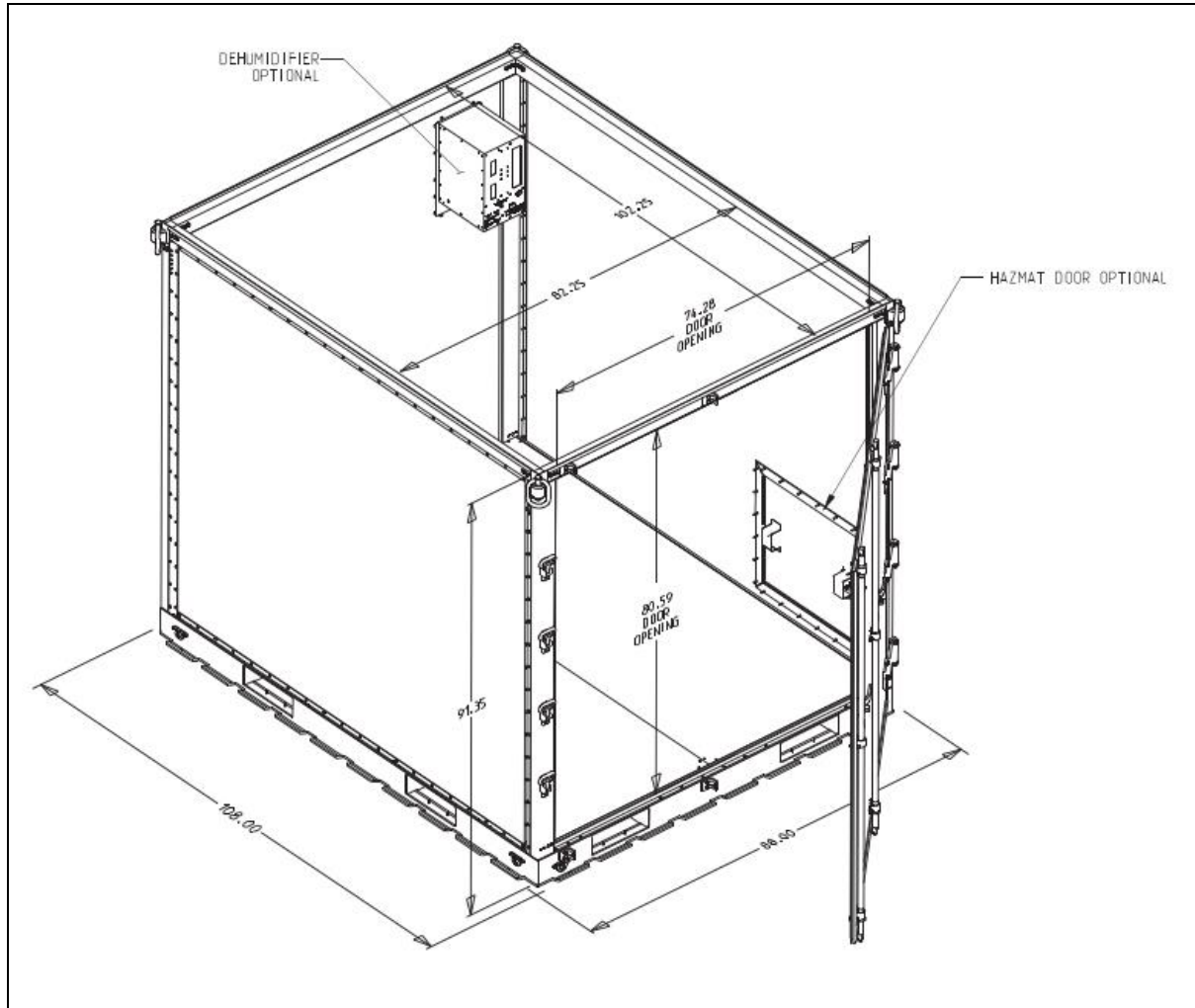


Figura 15 Croquis y dimensiones generales de un contenedor de la serie ISU-90. En este caso se trata de un ISU-90EO 1-Door que, como su propio nombre indica, consta exclusivamente de una puerta. Fuente: [36].

También existen algunos contenedores diseñados *ex profeso* para el transporte de un determinado equipamiento, como es el caso de aquel utilizado en el transporte del Predator B en el A400M, con un peso aproximado de 5.443 kg y unas dimensiones de 472" x 96" x 85" [37] si bien, como es lógico, éstos últimos no se estiman en principio aplicables al transporte de los sistemas no tripulados que se vayan a identificar en este estudio.

Adicionalmente, como consecuencia de su origen civil, la aeronave A330 MRTT es compatible con el empleo de contenedores LD3, cuyas características se han recogido también en la Tabla . Sin embargo, dado que las restantes aeronaves de transporte no se encuentran adaptadas para el empleo del contenedor en cuestión y que el A330 MRTT es compatible con la utilización de los pallets estándar que se describirán a continuación no se va a tener en consideración el citado modelo de contenedor.

De acuerdo con lo anteriormente expuesto, y a fin de simplificar el presente análisis, van a fijarse como contenedores tipo u objetivo el aerotransportable ISU-90 y el contenedor estándar ISO de 20 ft (i.e. ISO-20), mostrado en la Figura .

Contenedor	Dimensiones externas (W/D/H) [cm]	Peso en vacío [kg]	Carga de pago máxima ³ [kg]
ISU-60	274/224/152	560	4.536
ISU-90	274/224/232	780	4.536
ISO-20	606/244/259	2.155	28.325
LD3	153/201/163	82	1.502

Tabla 2 Características de algunos de los contenedores habitualmente empleados en los despliegues del Ejército del Aire y del Espacio y/o compatibles con las aeronaves de dicho ejército. W hace referencia a *Width* o Ancho, D a *Depth* o Largo y H a *Height* o Altura.

Fuente: Elaboración propia en base a [36], [38], [39], [40], [41], [42].



Figura 16 Carga de un contenedor ISO-20 en una aeronave C-130 (izquierda) e izado de éste mediante una carretilla elevadora (derecha). Se hace notar que, aunque sus

³ Valores orientativos, dependientes del modelo de contenedor concreto.

dimensiones exteriores son las estándar, se trata de un contenedor adaptado a configuración *Shelter* o refugio y, por tanto, dotado de célula de habitabilidad. Fuente: [36].

En lo que a los sistemas de pallets se refiere, se va a tomar como sistema estándar de referencia el 463L, ya utilizado en el Ejército del Aire y del Espacio [37]. Las características de algunos modelos de dicha serie se recogen en la Tabla . Otros pallets utilizados en el seno del Ejército del Aire y del Espacio son aquellos recogidos en la Tabla si bien, nuevamente, a efectos de simplificar el análisis se va a tomar en consideración en exclusiva la serie 463L, asumiendo una carga de pago máxima de 4.536 kg y unas dimensiones de 274 cm de ancho y 224 cm de largo (Figura), correspondientes al modelo 463L HCU-6/E.

Pallet	Ancho x Largo [cm]	Peso en vacío [kg]	Carga de pago máxima [kg]
463L HCU-6/E	274 x 224	136	4.536
463L HCU-10/C	137 x 224	98	2.268
463L HCU-12/E	137 x 224	73	2.268

Tabla 3 Características físicas de algunos pallets de la serie militar 463L. Fuente: Elaboración propia a partir de [36].



Figura 17 Aspecto físico de los pallets militares de la serie 463L. Fuente: [36].

Pallet	Largo aproximado [cm]	Ancho aproximado [cm]
463L	274	224
463L	224	274
CDS A-22	122	122

ULD LD6	406	153
ULD LD3	201	153
ULD P1P	318	224

Tabla 4 Características de los pallets militares 463L *Unit Load Devices* (ULDs), de lanzamiento de carga o *Container Delivery System* (CDS) y civiles utilizados en el Ejército del Aire. Fuente: Elaboración propia en base al Pliego de Prescripciones Técnicas Expediente N° 196307 [37].

Por último, es importante tener en cuenta que las dimensiones reportadas son exteriores y/o meramente orientativas. De esta forma, por ejemplo, los pallets 463L HCU-6/E tienen unas dimensiones exteriores de 108" x 88", pero su plataforma utilizable es de 104" x 84" [43].

2.3 Descripción de la propuesta: Sistema de Pilares

Se han identificado hasta cinco tipologías de actividades el desarrollo de cuyas herramientas se estima clave a fin de lograr materializar la Base Aérea Conectada, Sostenible e Inteligente (BACSI) del Siglo XXI y su Despliegue, en lo que podría denominarse BACSI+D⁴, de acuerdo con los estándares y objetivos fijados en su definición original [16]. Estas actividades, clasificadas en lo que se ha convenido denominar como "Pilares", pues sobre ellos se sustentaría este nuevo enfoque de Base Aérea, son las siguientes:

- Pilar I: Limpieza de FOD.
- Pilar II: Rearme y manejo de municiones.
- Pilar III: Seguridad
- Pilar IV: Remolcado y operación en pista de aeronaves
- Pilar V: Conectividad

Esta ordenación favorece la determinación de un objetivo claro por actividad, así como la identificación y selección de soluciones ya existentes y el planteamiento de una ruta a seguir por parte del Ejército del Aire y del Espacio para la consecución de

⁴ Se trata de un ejercicio de imaginación de los autores. "BACSI+D" o Base Aérea Conectada, Sostenible e Inteligente + Desplegable no es concepto definido en origen por el Ejército del Aire y del Espacio, si bien busca alcanzar los objetivos de BACSI, logrando que éstos se logren no sólo en el territorio nacional, sino que acompañen al Ejército allí donde éste se despliegue.



estos objetivos y la materialización de su cumplimiento en forma de soluciones tecnológicas.

Cada uno de los Pilares contribuye a avanzar en al menos una de las Áreas Funcionales de BACSI (Figura 18), lo que pone de manifiesto no sólo su íntima relación con las mismas, sino la diferencia entre Pilares y Áreas Funcionales. De esta forma, y aunque prácticamente es posible identificar una contribución de cada uno de los Pilares a la mayoría de Áreas Funcionales, la relación planteada es como sigue:

- Pilar I. AF5 – Seguridad en la operación. El FOD supone un riesgo para la operación de las aeronaves y la seguridad de sus tripulantes, pasajeros y medios transportados. Su eliminación o limpieza contribuye, por tanto, a la seguridad en la operación.
- Pilar II. AF5 – Seguridad en la operación + AF6 – Sostenimiento 4.0. La identificación de soluciones tecnológicas que asistan a automatizar el rearme de las aeronaves de combate no sólo permite progresar en el campo de la logística, sino también liberar al mayor número posible de soldados aviadores de tareas exigentes físicamente y que involucran el manejo de artificios explosivos.
- Pilar III. AF4 – Protección de la fuerza. La seguridad de la base constituye casi por definición el concepto de protección de la fuerza, siendo la relación directa.
- Pilar IV. AF5 – Seguridad en la operación + AF2 – Eficiencia energética y sostenibilidad medioambiental. La adopción de sistemas no tripulados, presumiblemente eléctricos, para remolcar las aeronaves, daría lugar a una operación libre de emisiones de CO₂ y con una menor contaminación acústica, permitiendo además que el personal de tierra no tenga que trabajar cerca de la aeronave mientras esta se encuentra en movimiento, lo que explica por qué este Pilar afecta a dos Áreas Funcionales.
- Pilar IV. AF1 – Conectividad global + AF4 – Protección de la fuerza. El desarrollo de sistemas que mejoren la conectividad, además de constituir en sí mismo un Área Funcional de BACSI, se traduce en un mayor apoyo a las tropas desplegadas en su operación en un dominio multicapa, contribuyendo a una mayor seguridad de las operaciones aéreas y todas las actividades que de ellas dependen

Seguidamente se describe cada uno de los Pilares y se presentan algunas soluciones tecnológicas compatibles con estas categorías.



Base Aérea Conectada, Sostenible e Inteligente

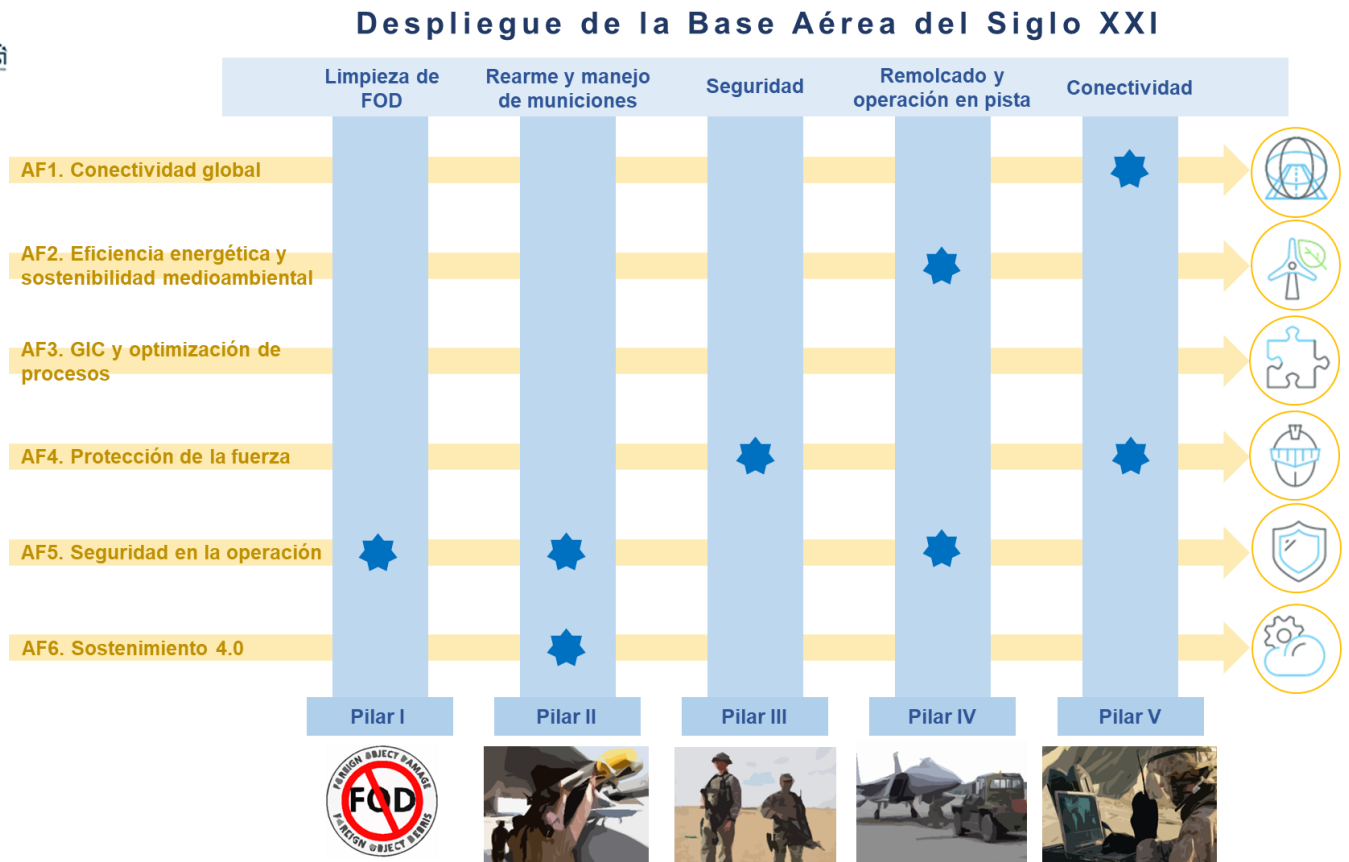


Figura 18 Sistema de Pilares propuesto y su relación con las diferentes Áreas Funcionales (AF) de BACSI. Fuente: Elaboración propia.

2.3.1 Pilar I: Limpieza de FOD

Aunque el mantenimiento de las pistas de aterrizaje, una infraestructura crítica de los aeródromos, es una tarea importante para cualquier base aérea, peinar su enorme superficie no es tarea sencilla.

Una conocida amenaza para la seguridad en la operación de las aeronaves en pistas de vuelo, calles de rodaje y zonas de estacionamiento son los *Foreign Object Debris* (FOD), causantes del *Foreign Object Damage* o daño por agentes externos. Como su propia definición indica, es FOD todo aquel objeto ajeno a la aeronave y los equipos de apoyo a la operación de la misma, que puede suponer un riesgo para la aeronave y el personal de vuelo, tanto en el aparato como en pista [44]. Es decir, es todo aquel objeto que no debe estar en el área de operaciones de vuelo, fabricación o mantenimiento. El FOD es especialmente crítico en el área en el que acontecen las



operaciones de aterrizaje y despegue de aeronave, pues es cuando se generan las estelas y movimiento de aire más significativos, así como cuando el gasto másico ingerido por los motores es mayor.

En lo que a este primer Pilar se refiere, se hará distinción entre dos clases de operaciones o situaciones y dos tipologías de acciones. En lo que a las dos primeras se refiere:

- Operaciones en campo de vuelo acondicionado y con operación recurrente. En tal caso es previsible que la condición de partida sea la de una pista mayoritariamente libre de FOD y cuyo estatus se busca preservar.
- Operaciones en campo de vuelo no preacondicionado. Es el caso de pistas mal mantenidas, que soportan operaciones poco frecuentes o, directamente, improvisadas. Es menester, por tanto, una operación preliminar de limpieza y acondicionamiento previa al despliegue o, cuanto menos, a la llegada de la mayoría de las aeronaves que componen éste.

En lo relativo a las operaciones, se identifican dos clases de acciones a ejecutar:

- Identificación de FOD. Como su propio nombre indica, se trata de localizar aquellos objetos o elementos que puedan constituir FOD.
- Supresión de FOD. Sigue a la acción anterior y consiste en la eliminación de la amenaza, recurriendo para ello a retirarla del campo de vuelo.

Habitualmente estas dos acciones se encuentran integradas, de modo que el vehículo tipo barredera (o dotado de una lona remolcada y arrastrada) o el personal al cargo del “paseo FOD” limpia toda la zona afectada o identifica y suprime el FOD, respectivamente.

En definitiva, este Pilar persigue hallar una solución que automatice las labores de detección y eliminación de FOD, suprimiendo la dependencia de la mano de obra humana y liberando al personal de la Base para que pueda centrarse en tareas de mayor valor añadido.



2.3.2 Pilar II: Rearme y manejo de municiones

Las tareas de rearme y manejo de municiones pueden ser físicamente agotadoras y requerir un alto nivel de concentración y atención. La carga de trabajo puede ser excesiva, especialmente en momentos de alta actividad operativa, lo que puede aumentar el riesgo de errores y accidentes.

Lograr una mayor eficiencia y respuestas de defensa aérea más eficaces impulsó a nuestros ingenieros a buscar nuevas formas de armar rápidamente nuestros aviones de combate.

Poder liberar personal en las tareas de rearme puede permitir rearmar más aviones en el mismo tiempo, aumentando la capacidad de reacción del escuadrón y la agilidad del personal implicado.

En este Pilar se pretenden mejorar dos aspectos principales:

- Optimización del proceso de rearmado. Se estudia el proceso de carga de municiones y su flujo de trabajo para buscar soluciones mediante sistemas no tripulados u opcionalmente tripulados que puedan moverse con mayor grado de libertad y que requieran menos espacio y maniobras para realizar la misma tarea.
- Reducción de personal requerido. Reducir el personal necesario implica personal libre para otras tareas y una mayor seguridad al haber menos personas en la zona de rearme.

2.3.3 Pilar III: Seguridad

Una base aérea es un lugar estratégico de alta seguridad donde se almacenan y operan aviones militares y equipos sensibles. Hay varios problemas de seguridad que pueden enfrentar las bases aéreas y que pueden justificar el uso de drones para mejorar la seguridad.

Las soluciones novedosas para la seguridad y defensa del perímetro de las bases aéreas son de interés para cualquier fuerza aérea, ya que los nuevos conceptos de operaciones dispersas que pretenden repartir las aeronaves entre muchas bases



permanentes y temporales supone una carga para un número limitado de fuerzas de seguridad y de apoyo al despliegue.

Para reforzar este aspecto de la seguridad de las bases, en este Pilar se identifican dos acciones posibles:

- Seguridad perimetral: La seguridad del perímetro es crítica para cualquier base aérea. Los drones pueden patrullar el perímetro y proporcionar una vista aérea en tiempo real para detectar cualquier actividad sospechosa, como la intrusión de personas no autorizadas o vehículos en el área restringida.
- Detección de explosivos: Las bases aéreas pueden ser el objetivo de ataques terroristas. Los drones pueden equiparse con sensores de detección de explosivos para buscar posibles amenazas y ayudar en la identificación y eliminación de explosivos.

Por ello se identifican dos posibles soluciones a ejecutar:

- Dron aéreo para cubrir el perímetro de forma rápida y segura
- Dron terrestre, para acompañar al equipo terrestre en tareas de seguridad, detección de explosivos y otros.

Estas dos acciones requieren una cantidad importante de personal según el teatro de operaciones por lo que con sistemas no tripulados se podría reducir notablemente el número de efectivos necesarios para la tarea.

2.3.4 Pilar IV: Remolcado y operación en pista de aeronaves

Los tractores de arrastre o de remolque, también denominados remolcadores, utilizados en la actualidad, tanto en el mundo de la aviación comercial como en el ámbito de la aviación militar, para asistir a los aviones en sus operaciones de retroceso, rotación y rodaje son sistemas tripulados, de gran peso, dotados de motor de combustión y para cuya operación exigen del empleo de una barra que los une al tren delantero de la aeronave o *towbar*. Además, durante la operación de arrastre el conductor del tractor no tiene visibilidad de la aeronave, de modo que es habitual que se vea asistido por uno o varios supervisores externos, lo que supone que la tarea de remolcado implique a hasta tres o cuatro trabajadores del personal de pista [45]. El empleo de estos sistemas se debe a la limitación de los aviones para desplazarse en

pista, pues su propio concepto o arquitectura impiden que se desplacen por la superficie del aeródromo tal y como lo haría un vehículo automóvil y, en particular, que retrocedan y tracen trayectorias curvas de pequeño radio.

En el seno de aquellos proyectos destinados a descarbonizar el transporte aéreo, la industria de la aviación civil ha empezado a trabajar en soluciones que liberen a las aeronaves de tener en funcionamiento sus motores durante las operaciones de rodaje o que impliquen el funcionamiento de sólo uno de éstos, así como en alternativas a los tractores de arrastre clásicos que permitan llevar a cabo un rodaje en modo eléctrico, reduciendo no sólo la contaminación derivada de la aeronave sino aquella debida al tractor [46], [47]. Por otro lado, el tamaño y la arquitectura de los tractores convencionales dificulta su operación en el interior de aquellos hangares y refugios de menor tamaño, de modo que son deseables soluciones más compactas.

En esta línea, este Pilar busca la identificación e implementación de sistemas más ligeros, autónomos o controlados remotamente (en definitiva, no tripulados) y eléctricos de forma que, respectivamente, sean más fácilmente transportables, requieran un menor número de operadores y presenten unas emisiones de ruido y agentes contaminantes inferiores a las de los sistemas actualmente empleados.

A fin de orientar la elección de sistemas no tripulados que puedan realizar la labor de remolcado de las aeronaves, en la Tabla se recoge el peso máximo al despegue (MTOW) y el número de ruedas del tren delantero de algunos aparatos de combate y transporte en servicio en el seno del Ejército del Aire y del Espacio.

Aeronave	Peso máximo al despegue (MTOW) [kg]	Número de ruedas del tren delantero
Airbus C-212 Aviocar (T.12)	6.000	Una
Airbus CN-235 (T.19/D.4)	16.000	Una
Airbus C-295 (T.21)	23.200	Dos
Airbus A400M (T.23)	141.000	Dos
Airbus A330 MRTT (T.24/TK.24)	233.000	Dos
Eurofighter Typhoon (C.16)	22.800	Una
Lockheed P.3 Orión (P.3)	63.000	Dos



Mc Donnell Douglas F-18 Hornet (C.15)	25.400	Dos
--	--------	-----

Tabla 5 MTOW y números de ruedas del tren delantero de las principales aeronaves de transporte y combate en servicio en el Ejército del Aire y del Espacio. Fuente: Elaboración propia en base a [48] y fotografías [49].

2.3.5 Pilar V: Conectividad

El flujo de información es fundamental en cualquier entorno bélico, y las capacidades espaciales y cibernéticas dominan casi por completo ese ámbito para los ejércitos modernos. La velocidad y la fiabilidad de las comunicaciones son imprescindibles para satisfacer las necesidades cibernéticas de los sistemas asociados a un avión de combate moderno.

La atención se centra en optimizar y garantizar la resistencia de las bases en zona de operaciones, el mantenimiento y las comunicaciones en un entorno disputado, que es un imperativo operativo para toda fuerza de quinta generación [22].

Tener opciones de comunicación que incluyan SATCOM, LTE 4G/5G y capacidades offline en caso de emergencia, para lo cual cualquier persona debería ser entrenada para configurarlas y así tener más opciones de personal disponible, sin requerir especialización.

La conexión no es el objetivo principal, sino un medio para la interacción y colaboración entre personas, así como para la captura y compartición de información contenida en sistemas.

En lo relativo a las operaciones de conectividad, se identifican dos clases de acciones a ejecutar:

- Conectividad dentro de la propia base.
- Comunicaciones externas.

2.4 Benchmarking

Para poder determinar si las mejoras o soluciones a los problemas que atañen a cada una de las actividades antes identificadas tendrán un origen comercial, adoptándose entonces una solución de componente comercial salido del estante o COTS



(*Commercial Off-The-Shelf*); implicarán un desarrollo partiendo de cero o supondrán la integración de soluciones ya existentes para dar lugar a la herramienta buscada seguidamente se realiza un ejercicio de *benchmarking* o punto de referencia.

2.4.1 Pilar I: Limpieza de FOD

Desarrollando la primera de las funciones antes identificadas y en el seno de operaciones en campo de vuelo acondicionado se encontrarían desarrollos como el *Tarsier Automatic Runway FOD Detection System* de MOOG (Figura). Se trata de un radar fijo de onda EHF (*Extremely High Frequency*) o milimétrica capaz de monitorizar la pista para detectar FOD, pájaros y otros animales con un alto nivel de sensibilidad de forma automática [50]. Su fabricante reporta una capacidad de detección del 100% hasta prácticamente 1 km de distancia respecto a la ubicación del radar. Tiene, además, capacidad para operar en condiciones de muy baja visibilidad, incluyendo condiciones de niebla en el campo de vuelo. Si bien se trata de un sistema interesante desde el punto de vista de la automatización, no lo es tanto si nos atenemos a la necesidad de que sea desplegable y fácilmente embarcable.

En el mercado existen otros sistemas fijos capaces de detectar FOD de forma autónoma, de menor tamaño que Tarsier, como aquellos desarrollados por Xsight System o Trex Enterprises, si bien presentan la contrapartida de tener que desplegar un mayor número de unidades [51]. Xsight System ha diseñado dos plataformas, RunWize y ArcWize, la primera de las cuales es compatible con diferentes soluciones de *software* y, en particular, aquella especialmente destinada a contrarrestar el FOD, denominada FODetect. Se trata de un sistema de detección, clasificación y evaluación de riesgos automatizado que combina el empleo de un radar EHF con imágenes electro-ópticas de alta definición [52]. El *hardware* lo constituye la *Surface Detection Unit* (SDU), visible en algunas de las fotografías Figura .



Figura 19 Radares contra FOD fijos con aplicación al mercado civil. *Tarsier Automatic Runway FOD Detection System* de MOOG (fotografía superior izquierda) y *Surface Detection Unit (SDU)* de la plataforma RunWize de Xsight System (fotografías restantes).
Fuentes: Sitios web de los desarrolladores de ambas soluciones [50], [52].

Un sistema semejante a los anteriores es el FOD Finder™ XF, de Trex Aviation Systems, un dispositivo fijo que consiste en la combinación de dos sensores: un radar de baja potencia de onda milimétrica (MMW o EHF) con una capacidad declarada del 100% de detección en cualquier condición medioambiental y una cámara o iluminador para confirmación, identificación y clasificación del FOD. Para cubrir un pista de aterrizaje típica pueden emplearse del orden de media docena de estos sistemas, que también pueden instalarse para cubrir calles de rodaje [53]. Su rango de detección oscila entre los 70 y 275 metros, siendo su precisión de geolocalización del FOD del orden de 1,5 metros.

Esta última empresa, Trex Aviation Systems, también ha desarrollado el único sistema móvil de detección de FOD aprobado por la FAA, designado como FOD Finder™ XM [54]. Éste también emplea un radar de onda milimétrica, cuya banda de 78-81 GHz no interfiere con la navegación aérea o las comunicaciones del aeropuerto.

Opcionalmente se puede equipar, además, con un sistema de aspiración, de modo que no sólo es capaz de llevar a cabo la detección de FOD, sino que también puede acometer su eliminación. Instalado en vehículos de tipo *pickup*, puede operar a velocidades del orden de 50 km/h, lo que reduce el tiempo de cierre de las pistas. Se debe observar, no obstante, que estrictamente no se trata de una solución no tripulada, si bien permite reducir notablemente la mano de obra asignada a estas tareas (Figura 20). El peso del radar es del orden de 230 kg.

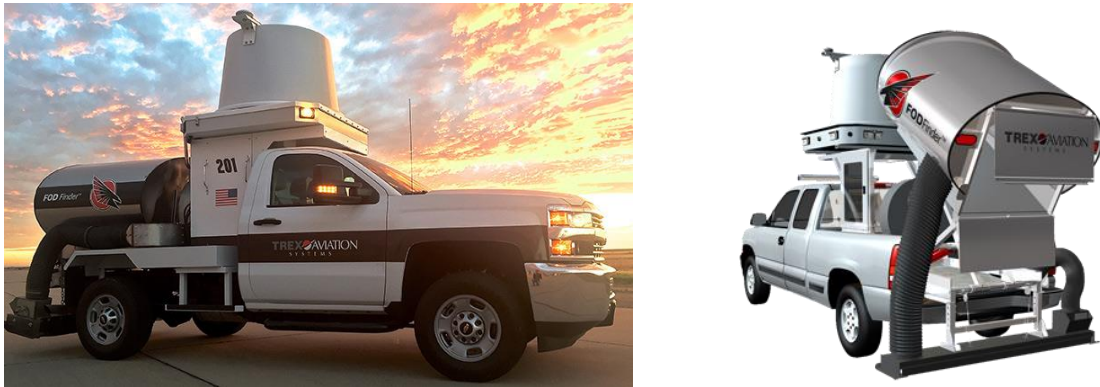


Figura 20 Sistema FOD Finder™ XM de Trex Aviation Systems equipado con el sistema de eliminación de FOD por aspirado. Fuentes: Fotografías de [55] (izquierda) y [54] (derecha), respectivamente.

A fin de disponer de un vehículo no tripulado capaz de acometer la tarea de detectar FOD la Fuerza Aérea estadounidense ha licitado un contrato para el desarrollo de un robot sobre ruedas denominado *FOD Dog* [56]. En la Figura se muestran algunas fotografías correspondientes al vehículo demostrador de este sistema. Desarrollado por Siemens Government Technologies y TurbineOne, se trata de un vehículo eléctrico que escanea la pista en busca de FOD mediante una serie de láseres comerciales, notificando las coordenadas GPS del FOD detectado con una precisión del orden de centímetros o, directamente, llevando “de la mano” al operador hasta el objeto identificado.

El equipamiento del *FOD Dog* de Siemens incluye un láser Ouster OS1-64 LiDAR, una cámara Intel RealSense D435i y varias unidades de medición inercial [57]. A diferencia de las cámaras, el escáner del que está dotado funciona incluso en condiciones de baja visibilidad. Destaca también el uso de *Machine Learning* en su operación, de modo que el *FOD Dog* sería capaz no sólo de catalogar objetos, sino de “aprender” otros, así como su funcionamiento sin necesidad de estar conectado a internet. Alternativamente, puede conectarse vía 5G y ser controlado remotamente

desde cualquier del punto. Finalmente, cabe destacar que su sistema de baterías le otorga una autonomía de hasta 12 horas.



Figura 21 Demostrador del sistema *FOD Dog* desarrollado por Siemens y TurbineOne.
Fuente: [57].

En el mercado civil empiezan a introducirse sistemas autónomos o no tripulados destinados a la limpieza de calles y plazas. Esto es, se trata de sistemas no ideados en principio para combatir el FOD, entendido como tal en el contexto de las operaciones aéreas, pero cuya aplicabilidad en el ámbito aeronáutico podría valorarse, abriendo la puerta a desarrollos *ex profeso* para dicho tipo de aplicaciones. En este sentido, cabe destacar el modelo de limpiador autónomo DustClean de Robotech, de 150 kg de peso, dotado de una autonomía de hasta 10 horas, una velocidad de desplazamiento típica de 3 km/h y una productividad de 200 m²/h (a título orientativo, una pista de despegue/aterrizaje tiene una superficie del orden de 100.000 m², lo que pone de manifiesto la baja aplicabilidad de esta clase de soluciones a la limpieza de esta clase de infraestructura) [58].

Un sistema semejante al anterior, aunque con capacidad para limpiar entre 5.000 y 10.000 m² por hora (por tanto, superior a la del anterior modelo) es el Trombia Free de Trombia Technologies Ltd, que puede operar de forma autónoma o por control remoto mediante red 4G. En un día puede barrer una superficie del orden de 60.000 m². Al igual que DustClean es un vehículo eléctrico, de modo que su operación es silenciosa y libre de emisiones contaminantes. Puede no emplear agua en la limpieza y puede eliminar partículas de tamaño PM_{2,5}. Está equipado con cámaras que permiten una conciencia situacional de 360° por parte del operador. Su peso es del orden de 2300 kg, siendo sus dimensiones de 3.820 x 1.700 x 1.660 mm [59]. En la Figura 22 se muestran algunas fotografías de este sistema de limpieza. En 2021 este sistema de probó en Helsinki, Finlandia [60].



Figura 22 Trombia Free en servicio (izquierda) y saliendo de su estación de servicio tipo *dock-station* (derecha), que hace las veces de centro de carga, mantenimiento, limpieza y vaciado de la materia recolectada. Fuente: [59].

La RSAF (*Republic of Singapore Air Force*) trabaja en un proyecto similar a BACSI denominado *Smart Airbase*, una de cuyas áreas de trabajo comprende el uso de drones aéreos para apoyar las labores de mantenimiento de las pistas. De esta forma, un equipo de trabajo compuesto por la DSTA (*Defence & Science Technology Agency*), la RSAF y ST Engineering ha conceptualizado y probado un sistema integrado de drones capaz de detectar daños en pista basado en el algoritmo de análisis de imágenes capaz de identificar agujeros de pequeño y medio tamaño, baches y FOD. También se ha hecho uso del funcionamiento de estos aparatos en modo enjambre para planificar desde una única estación en tierra la misión de múltiples drones que se comuniquen entre sí y se adapten y reorganicen de forma dinámica para contravenir contingencias como fallos de baterías, variando su recorrido [61].

El uso de drones permitiría a la RSAF racionalizar el personal y ahorrar tiempo, logrando a su vez mejorar la seguridad de éste al no exponerlo.

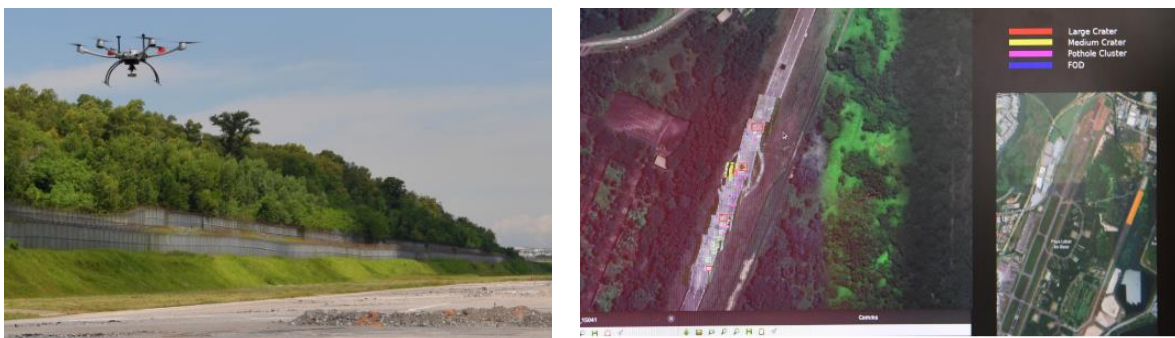


Figura 23 Dron evaluando hipotéticos daños en la pista de un aeródromo (izquierda) y sistema de procesamiento y clasificación de daños en tiempo real (derecha). Fuente: [61].

Se hace notar que con estas soluciones tecnológicas se está atacando de forma intrínseca primordialmente el FOD que se encuentre en las superficies por las que se desplazan las aeronaves y que constituyen el campo de vuelo. Otras tipologías de FOD, como herramientas y repuestos descontrolados y olvidados en zonas de mantenimiento, en torno a las aeronaves o sobre las superficies sustentadoras de las mismas, deberían combatirse mediante otra clase de enfoques.

2.4.2 Pilar II: Rearme y manejo de municiones

También en el seno del proyecto RSAF *Smart Airbase*, la Fuerza Aérea de la República de Singapur (RSAF) se ha equipado con un sistema capaz de rearmar aviones, operado por una única persona en lugar de tres como hasta la fecha, con una precisión y eficiencia superiores a las conseguidas con los sistemas convencionales. En fase de prueba a junio de 2021, este sistema dotado de ruedas omnidireccionales Mecanum presenta una alta maniobrabilidad, clave en entornos reducidos como hangares [62].



Figura 24 Sistema de rearmamiento desarrollado en el contexto de la RSAF *Smart Airbase*, la Fuerza Aérea de la República de Singapur. Nótese el sistema de ruedas



omnidireccionales Mecanum, así como la comparativa entre el AGE existente y este nuevo sistema. Fuente: Fotografías superiores [63], fotografía inferior [62].

Teniendo en mente un escenario operacional en el que bombarderos de la USAF operaran desde un aeródromo sin toda la infraestructura necesaria para dar apoyo a operaciones a gran escala y en el que la cantidad de personal y equipamiento disponibles fuera reducida, se ha desarrollado el sistema MHU-TSX. Éste consiste en un equipo robotizado de rearmamentamiento de grandes misiles hipersónicos que permite agilizar el trabajo, llevando a cabo éste de forma cuasi-autónoma. Si bien esta clase de misiles aún no se encuentra en servicio en la USAF, este sistema puede encontrar aplicación prácticamente inmediata en las operaciones de instalación y desinstalación de otros misiles de gran tamaño cuya fecha de entrada en servicio es más próxima. Por ejemplo, el AGM-183 *Air-launched Rapid Response Weapon* (ARRW) será lanzado desde el B-52H Stratofortress utilizando un nuevo *pylon* diseñado por Boeing, instalándose en dicha aeronave en grupos de tres proyectiles, cuyo peso total rondará los 9.100 kg [64].

El prototipo del MHU-TSX (Figura 25), desarrollado Square One Systems Design en el contexto del programa AFWERX, se ha probado en el seno de la 2nd Maintenance Group, con base en la Base Aérea de Barksdale (Louisiana). Está dotado de un mecanismo de actuación que no es hidráulico, lo que le confiere una capacidad de movimiento mucho más precisa y posibilita su operación en entornos más austeros, en palabras del director de ingeniería de Square One Systems Design. Además, la incorporación de un paquete de sensores permite que el MHU-TSX trabaje con un gran nivel de autonomía, lo que no sólo acelera el proceso en sí, sino que reduce la cantidad de personal necesario, relegando éste a tareas de supervisión de la operación [65].



Figura 25 Pruebas con el prototipo del sistema MHU-TSX. Fuente: [64].

Aunque no se han ideado con el objetivo de llevar a cabo labores de reabastecimiento de misiles, cabe mencionar que existen múltiples plataformas civiles y militares dotadas de brazos robóticos y operadas remotamente cuyo escalado y adaptación para la manipulación de este tipo de proyectiles podría redundar en su implementación para esta clase de labores si bien restringiendo en primera instancia su aplicación a la manipulación de aquellos misiles de menor peso. Tal es el caso de sistemas como el Kobra de FLIR Systems, designado como *Common Robotic System-Heavy*, o CRS-H, del US Army, para la desactivación de explosivos [66]; el del robot Avenger en servicio en el Ejército de Tierra, también diseñado para la desactivación de explosivos [67]; o el de algunos robots de la alemana KUKA, como el KMR Quantec, ideado en origen para realizar labores de mecanizado [68].

2.4.3 Pilar III: Seguridad

Al recibir un aviso de seguridad, como una alarma de valla, una alarma de incendio u otra llamada de socorro, un sistema de vigilancia inteligente con drones puede programarse para desplegarse automáticamente desde su estación base y desplazarse de forma autónoma hasta el lugar del aviso para proporcionar un conocimiento de la situación completo y sin precedentes. Una vez completada la misión, la pequeña aeronave regresa de forma autónoma a su estación base, donde se recarga y espera su próxima misión.

Constituye un buen ejemplo de esta filosofía de empleo el UAV de Easy Aerial (Figura 26), que tiene una autonomía de vuelo de 45 minutos y una cámara de infrarrojos

orientada hacia delante montada en un cardán dron [69]. La USAF también ha encargado una versión cautiva, amarrada o *tethered* del dron, en la que éste se conecta a una instalación de alimentación situada en tierra (Figura 27).

Los anclajes cableados de las versiones amarradas permiten a los drones pequeños volar durante períodos mucho más largos sin depender de una batería, lo que les permite proporcionar vigilancia persistente [70]. Esta capacidad es especialmente útil en bases militares austeras donde no hay tiempo ni recursos para desplegar aerostatos de inteligencia, vigilancia y reconocimiento (ISR) o UAV de larga duración.



Figura 26 La USAF desplegó en la base californiana de Travis un sistema basado en un cuadricóptero fabricado por Easy Aerial. Fuente: [69].

Además, los anclajes también proporcionan a los UAV otra vía de transmisión de datos de vídeo, control de vuelo y navegación que puede ser una alternativa más segura a la transmisión de datos a través de las ondas aéreas abiertas. La transmisión de datos a través de ondas aéreas abiertas puede ser vulnerable a interferencias de adversarios o incluso a la falsificación de señales GPS, lo que puede provocar el choque del UAV.

En general, los sistemas UAV cautivos se están convirtiendo en una herramienta cada vez más valiosa para la protección de fuerzas, la seguridad fronteriza y la protección de infraestructuras críticas.



Figura 27 Dron Skyraider de Aeryon Labs, de tipo cautivo o *tethered*. Fuente: [70].

En el contexto de su programa *Smart Air Base*, la RSAF también ha programado la realización de pruebas con drones autónomos que patrullen el perímetro de la base a fin de detectar intrusiones y otras actividades sospechosas. Utilizando la IA y operando junto con fuerzas de seguridad convencionales, se estima que el uso de estos drones mejorará la precisión de la información y la eficiencia de las operaciones de seguridad de la base. Además, su uso puede redundar en una optimización de la mano de obra, pues un único operador puede controlar varios de estos dispositivos [62].

Por otro lado, las Fuerzas de Seguridad de la USAF han comenzado a patrullar alguna de sus bases, como la de Nellis, la de Portland y la de Tyndall, con perros robot semiautónomos de Ghost Robotics (Figura 28) conocidos como Q-UGV (*Quadrupedal Unmanned Ground Vehicle*) [71], [72], [73]. El objetivo de estos robots cuadrúpedos es liberar al personal de seguridad de la obligación de realizar algunas patrullas a pie por la base aérea, aunque no pretenden sustituir a los perros militares convencionales como los K-9. Pueden ser controlados en remoto o funcionar de manera autónoma y se encuentran equipados con diferentes tipos de cámaras. También pueden rastrear de forma independiente el perímetro de la base, superando una gran variedad de terrenos. Adicionalmente, estos robots podrían ser útiles en el campo de batalla para realizar funciones de reconocimiento, explorando por delante o siguiendo a los vehículos en busca de minas, artefactos explosivos improvisados (IED), fuerzas enemigas y obstáculos.

En un ejercicio anterior, la USAF probó su Sistema Avanzado de Gestión de Batalla (ABMS), en el que un Q-UGV de Ghost Robotics proporcionó datos sobre objetivos a activos situados en todo el país. El robot formaba parte de la cadena de ataque y proporcionaba datos en tiempo real a los operadores de la USAF vía *Starlink*. Estos datos incluían transmisiones de vídeo en tiempo real y datos de geolocalización a través del Android Team Awareness Kit (ATAK), una aplicación basada en dispositivos móviles que utilizan los operadores militares [71].



Figura 28 Una de las unidades de Ghost Robotics se pone a prueba en la base aérea de Nellis (Nevada). Fuente: [71].

2.4.4 Pilar IV: Remolcado y operación en pista de aeronaves

Un ejemplo representativo del estado de la tecnología en este Pilar con aplicación militar es el TF-5 de TowFLEXX, un tractor de arrastre utilizado para desplazar los F-15 de la Base Aérea de Robs (Robins AFB) a través zonas de estacionamiento, calles de rodadura y hangares de la misma [74]. A fecha de diciembre de 2021 el área de mantenimiento del Warner Robins Air Logistics Complex (WR-ALC) se encontraba equipada con hasta 10 de estos sistemas.

Estrictamente designados como TowFLEXX 5.4, los TF-5 utilizados en la Robins AFB (Figura) son tractores de bajo perfil controlados remotamente y dotados de una maniobrabilidad superior a la de los sistemas convencionales de tractor y barra de arrastre. De acuerdo con [75], pueden arrastrar aeronaves cuyo peso (con piloto, armamento, combustible y otros fluidos) no exceda las 60 toneladas (132.000 libras). Dado que su funcionamiento está basado en desplazar directamente la rueda del tren delantero de la aeronave, su modo de operación está exento del uso de barra de



arrastre, lo que se traduce en una menor dependencia de la arquitectura del avión en concreto, así como en una mayor flexibilidad a la hora de trazar trayectorias curvas y rotaciones.

El TF-5 no funciona con combustible fósil, sino que la energía empleada en su propulsión proviene de 4 baterías de 200 Ah de 12 VDC, lo que a su vez se traduce en una reducción de los niveles de ruido y en una supresión de las emisiones contaminantes, especialmente críticas en entornos cerrados como hangares. Sin embargo, cabe destacar que estos sistemas no consiguen reemplazar a los tractores de arrastre habituales en trayectos de mayor recorrido dada su limitada autonomía, que ronda los 8 km. Debe mencionarse, no obstante, que la citada base aérea tiene una superficie total de 6.935 acres (unos 28 km²) [76], lo que puede proporcionar una idea de la escala de las dimensiones manejadas.

Adicionalmente, el hecho de que el único operador del TF-5 lo controle remotamente mediante un sistema operable desde su cintura, en una envolvente de 360° en torno a la aeronave, se traduce en una mayor seguridad para el personal durante las operaciones de amarre, desplazamiento y liberación de la aeronave.

Siempre atendiendo a lo expuesto en [74], su pequeño tamaño y capacidades hacen del tractor de arrastre TF-5 un sistema fácilmente desplegable, pudiendo ser cargado en cualquier aeronave de transporte.

El TF5 no es el único tractor controlado remotamente desarrollado por TowFLEXX, sino que dicha compañía comercializa toda una gama de productos con capacidad para arrastrar desde algo menos de 10 t hasta 86 t. En la Tabla se recogen las características de dichos modelos.

Tampoco es TowFLEXX la única empresa que proporciona esta clase de sistemas a la industria aeronáutica, siendo una compañía líder en este ámbito la empresa Mototok International GmbH, con sede en Alemania. Ésta ha desarrollado una serie de familias de tractores eléctricos controlados remotamente semejantes conceptualmente al TF-5, entre las cuales pueden citarse [77]:



- Spacer Series. Destinados a operaciones de MRO y FBO, así como *pushback* de aviones de pasillo único y doble pasillo. Tres modelos, con capacidad para trasladar aeronaves de hasta 200 t, para el mercado civil.
- Twin-Series. Orientados a la ejecución de operaciones de MRO y FBO. Consta de seis modelos diferentes, con capacidad para desplazar aviones de hasta 75 t. Serie orientada al mercado civil.
- LB Series. Aplicación militar (véase la Tabla). Consta de ocho modelos, siendo alguno de ellos capaz de desplazar aviones tipo C-130 Hércules (Figura).
- M-Class. Destinada a aviación ejecutiva.
- Alligator y Helimo. Desarrollados para la manipulación de aeronaves de ala rotatoria de ámbito civil.

En la Tabla también se recogen las características de los tractores de la serie Mototok LB Series, de aplicación expresamente militar. Cabe mencionar que dicho fabricante no aporta información respecto a la autonomía de sus sistemas, aunque se explaya al detallar otros detalles técnicos tales que los diámetros y anchos de rueda compatibles o la velocidad de desplazamiento los tractores. Estas últimas oscilan entre los 3 y los 7 km/h (disminuyendo con la capacidad o peso de la aeronave arrastrada). Por otro lado, el paquete de baterías de todos los productos de la serie se encuentra compuesto por 4 unidades de 220 Ah de capacidad [77], con un voltaje de trabajo total de 48 V, de modo que en primera instancia es posible inferir que la autonomía de estos equipos ronde aquella del TF5 de TowFLEXX, las características de cuyo paquete de baterías y autonomía resultante sí son conocidos. Por último, cabe reseñar que, a excepción de los modelos LB 9500 y WIDE 14 de Mototok, todos estos tractores son compatibles con el arrastre de aeronaves de ala fija y aeronaves de ala rotaria.

Los precios de los sistemas de Mototok oscilan entre \$61.000 y \$79.000 (entre 55.000 € y 79.000 €, a 1 de mayo de 2023), dependiendo de la capacidad del sistema en concreto [78]. Un TF5 de TowFlexx ronda los 70.000 € [79] si bien esta cifra, como los anteriores, es meramente orientativa. A la hora de valorar estos precios se debe tener en consideración tanto el ahorro de personal (pasando de 3 ó 4 operadores por tractor a 1), así como el dinero no gastado en combustible.



Figura 29 TowFLEXX 5.4 (TF-5) amarrando la rueda del tren de aterrizaje delantero de un F-15 en Robins AFB (izquierda) y WIDE 14 de Mototok operando con un C-130 (derecha). Fuente: [74] y [75].

A la vista de lo hasta aquí expuesto y de la variedad de modelos y aplicaciones que han podido identificarse es posible concluir que el nivel de madurez de esta tecnología es notable, existiendo numerosas soluciones del tipo llave en mano o *turn-key* sin que medien barreras tecnológicas o de propiedad intelectual que limiten su adopción.

Fabricante	Modelo	Capacidad [kg]	Ruedas tren delantero	Autonomía [km]	Peso en vacío [kg]	Dimensiones (W/D/H) [cm]
TowFLEXX	TF3	9.070	Una	5	350	120/160/45
TowFLEXX	TF4	14.000	Hasta dos	8	600	150/180/51
TowFLEXX	TF5	60.000	Hasta dos	8	1.900	190/260/50
TowFLEXX	HD190	86.000	Hasta dos	3	2.000	286/223/78
Mototok	LB 7500 NG Flat	75.000	Hasta dos	8*	2.100	214/260/32
Mototok	LB 7500 NG	75.000	Hasta dos	8*	2.100	214/260/35
Mototok	LB 6600 NG	55.000	Hasta dos	8*	1.700	214/260/36
Mototok	LB 6500 NG Flat	50.000	Hasta dos	8*	1.700	214/260/33

Mototok	LB 3900 NG	39.000	Hasta dos	8*	1.700	214/260/35
Mototok	LB 528	28.000	Hasta dos	8*	1.000	181/181/33
Mototok	LB 9500	86.000	Dos	-	-	258/203/64
Mototok	WIDE 14	85.000	Dos	8(*)	1.700	296/260/32

Tabla 6 Características principales de algunos modelos de tractores de aeronaves no tripulados y controlados remotamente desarrollados por los fabricantes TowFLEXX y Mototok. El asterisco, (*), denota que el valor en cuestión se ha estimado, mientras que el guion, (-), indica que dicho dato no se encuentra disponible. Fuente: Elaboración propia en base a [75] y [77].

Para acabar, resulta reseñable que el fabricante alemán Mototok ha realizado ya demostraciones de las capacidades de sus productos de la serie LB en el portaaviones INS Vikrant de la Marina India, desplazando cazas embarcados MiG-29K en la cubierta de vuelo del citado portaaviones [80]. Esto pone de relieve que, además de operados civiles y Fuerzas Aéreas occidentales como la USAF, esta clase de soluciones han atraído el interés de numerosos ejércitos a lo largo y ancho del globo terráqueo.

2.4.5 Pilar V: Conectividad

Para la USAF la velocidad y fiabilidad de las comunicaciones son críticas para los sistemas asociados al F-35, que necesitan soporte cibernético y utilizan la doctrina ACE⁵ en cualquier despliegue. Para satisfacer estas necesidades, los cibernéticos del 388th Fighter Wing's Operations Support Squadron utilizaron las capacidades de Internet por satélite y móvil para conectar una instalación de *debriefing* desplegada del F-35 con el punto central de entrada de la red de las Fuerzas Aéreas de los Estados Unidos que permite la cadena de suministro y logística del F-35 [81]. La capacidad actual de Internet por satélite no es suficiente para las operaciones remotas del F-35, pero se puede usar como una opción para las comunicaciones.

La instalación de comunicaciones es portátil y se puede llevar en la cápsula de viaje de un F-35 (Figura 30). Puede conectarse a una red fija, Internet por satélite o varias tarjetas SIM de telefonía móvil que pueden transmitir datos de muchas bandas y

⁵ El *Agile Combat Employment* (ACE) es un esquema operacional de maniobra reactivo y proactivo introducido por la USAF y ejecutado dentro de la secuencia de amenazas para aumentar la supervivencia mientras se mantiene poder de combate [90].

regiones. El *router* selecciona automáticamente la señal y la red más rápida y transmite los datos simultáneamente. Además, su configuración es fácil y prácticamente cualquier aviador puede ser entrenado para configurarlo en menos de 10 minutos.



Figura 30 Por primera vez, cibernéticos aviadores (*cyber airmen*) utilizaron las capacidades de Internet por satélite y móvil para conectar una instalación de *debriefing* desplegada para operar con el F-35 Lightning II y conectada al "punto central de entrada" de la red de las Fuerzas Aéreas para la cadena de suministro y logística de los F-35. Fuente: [81].

En este sentido también merece la pena destacar el programa de investigación gestionado por el Air Force Research Laboratory (AFRL) de la USAF en cuyo contexto la empresa GATAR Technologies Inc. ha desarrollado y comercializado sistemas de antenas autónomas hinchables y ultraportátiles que pueden desplegarse con mayor rapidez y eficacia que los sistemas tradicionales remolcados [82].

Con el asesoramiento técnico y la gestión de programas del AFRL, GATR perfeccionó el concepto de antena SATCOM hinchable hasta convertirlo en un terminal portátil de 1,2 metros, que puede llevarse en una mochila y pesa menos de 18 kilos (Figura 31).

Anteriormente, las fuerzas militares estadounidenses tenían que cargar con antenas SATCOM grandes y pesadas que suponían una importante carga logística de transporte aéreo. Estos sistemas tampoco eran adecuados para un despliegue rápido con los equipos de las fuerzas especiales estadounidenses, que normalmente

dependen de pequeños helicópteros, HUMVEEs, camionetas o mochilas para el transporte en terrenos y entornos difíciles.



Figura 31 Sistema ultrapotátil de comunicaciones por satélite de GATR se utiliza durante un ejercicio de las fuerzas de operaciones especiales en Mt Adams, Washington. Fuente: [82].

Un aspecto relevante de los sistemas de comunicaciones es su portabilidad y facilidad de adecuación para su integración en plataformas móviles, terrestres o aéreas. En este sentido merece la pena destacar la *suite* de sistemas *Tactical Integrated Communications Shelters* (TICS) desarrollada por la compañía 4K Solutions e integrado en los vehículos tácticos Polaris Defense MRZR que operan las SFAB (*Security Forces Assistance Brigade*) del US Army. Instalado en la parte trasera de los MRZR (Figura 32), este paquete incluye herramientas como 5G CCFT, comunicación BLOS (*Beyond Line of Sight*), radios para comunicación por satélite táctico (TACSAT), radio MESH MANET o 802.11 WiFi 6. En el paquete integrado, que puede ser instalado en otros vehículos como el JLTV, el LMTV o el HMMWV, incluye también los mecanismos de refrigeración, antenas y sistemas de aislamiento apropiados [83].



Figura 32 Paquete de sistemas *Tactical Integrated Communications Suite (TICS)* de 4K Solutions instalado en un Polaris Defense MRZR UTV. Fuente: [83].

3. IMPLEMENTACIÓN Y FASES

Una vez descrito el sistema de pilares e identificadas algunas de las soluciones adoptadas por parte de otras Fuerzas Aéreas y/o la industria civil para resolver los retos que se derivan de los problemas que atacan cada uno de los pilares definidos, en este tercer capítulo se detalla la filosofía de implementación propuesta. Ésta constaría de una primera fase a corto plazo centrada en la adopción de soluciones comerciales ya existentes y de una segunda fase a largo plazo basada en el desarrollo de una familia de vehículos que tome de partida una misma plataforma. Finalmente se realiza una comparativa meramente cualitativa entre las capacidades de las herramientas tecnológicas actualmente disponible y las de aquellas cuya implementación se propone mediante este estudio.

3.1 Filosofía de implementación

Aunque idealmente sería deseable disponer de un único sistema que pudiera acometer todas las actividades identificadas, esto podría conducir a la adopción de un sistema en exceso complejo, caro, grande y pesado. La mayoría de estos inconvenientes podrían superarse por medio de la implementación de un sistema modular de plataforma común. Sin embargo, este vehículo no tripulado debería diseñarse prácticamente de cero, lo que supondría no sólo un coste de desarrollo elevado, sino una entrada en servicio demasiado tardía.

Por todo ello, se plantea escalonar la incorporación de sistemas no tripulados en las actividades del Ejército del Aire y del Espacio identificadas en los Pilares siguiendo un esquema multifase, de modo que en una primera fase (Fase I) se adoptaran soluciones “llave en mano” o COTS (*Commercial Off-The-Shelf*), implementables y operables a corto y medio plazo, mientras que en una segunda fase (Fase II) se colaborara con la industria nacional para trabajar en el desarrollo de una familia de vehículos no tripulados, de plataforma común y características individuales en forma de módulos, con vistas a mediados y finales del siglo XX (i.e. largo plazo).

Seguidamente se desarrollan estos dos enfoques.

3.2 Fase I: Solución “llave en mano” basada en COTS

En esta Fase I se pretende evaluar y seleccionar los sistemas que mejor se adaptan a las necesidades identificadas en cada Pilar. En algunos casos se seleccionará un sistema concreto existente, mientras que en otros se elegirá el concepto en sí, según el grado de madurez del sistema y/o los datos disponibles. En la Figura 33 se resume la disponibilidad de soluciones en los mercados civil y militar.

Pilar	Soluciones comerciales mercado civil	Soluciones comerciales mercado militar	Valoración del grado de madurez
I	Sí, mayoritariamente fijas	En fase embrionaria	3/5
II	N/A	Sí, en fase de desarrollo	1/5
III	Sí, en forma de drones aéreos adaptables	Sí	4/5
IV	Sí	Sí	4/5
V	Sí	Sí	3/5

Figura 33 Madurez y grado de implementación de soluciones tecnológicas compatibles con las actividades en las que se centra cada uno de los Pilares. Fuente: Elaboración propia.

Pilar I: Limpieza de FOD

Para seleccionar una solución comercial que cumpla con los requisitos establecidos en el caso del Pilar I se evalúan minuciosamente las características de ciertos sistemas no tripulados de detección y eliminación de FOD identificados durante el proceso de *benchmarking*, valorándose la movilidad, el carácter aerotransportable y la integración de las dos labores a realizar (detección y supresión) de cada una de las plataformas identificadas.

El sistema FOD Finder™ XM de Trex Aviation Systems, que incorpora detección y recolección de FOD en una misma plataforma, es una solución integral disponible comercialmente con la que se pueden equipar vehículos SUV actualmente en servicio en el Ejército del Aire y del Espacio. Está avalada por la FAA estadounidense, lo que contribuye a reafirmar su grado de madurez. Estrictamente no se trata de una solución no tripulada, pues el vehículo es conducido desde dentro por una persona. No obstante, las citadas labores de identificación y eliminación de FOD sí se realizan de



forma autónoma, pudiendo entonces centrarse el esfuerzo en el desarrollo de una solución controlada remotamente que reemplace a la *pickup* del concepto existente.

Con esta solución podrían suprimirse los paseos FOD en pistas y calles de rodadura, así como aumentarse la frecuencia de las labores de aseguramiento frente a FOD de estas superficies en lado aire y lado tierra del aeródromo, lo que redundaría tanto en una mayor disponibilidad de éstas como en un aumento de la seguridad en las operaciones.

Pilar II: Rearme y manejo de municiones

Para la elección de una solución existente que permita cubrir los requisitos definidos en el caso del Pilar II se evalúan las características generales de los sistemas de rearme identificados en el ejercicio de *benchmarking*, valorándose la capacidad de éstos de reducir la cantidad de personal involucrado en dichas operaciones de rearme.

Dado que apenas se encuentran disponibles soluciones comerciales en este sentido, el prototipo de carretilla manipuladora de municiones no tripulada utilizada por la RSAF, dotada de ruedas Mecanum, es el concepto que mejor se adapta a las necesidades identificadas.

El cargador de municiones mejorado de la RSAF reduce la necesidad de personal y tiempo para armar los aviones de combate. Con un solo operador, el nuevo cargador es hasta un 60% más eficiente que el actual equipo de carga de tres hombres además de ser altamente maniobrable y requerir menos movimientos para la carga y descarga de armamento. Al tratarse de un prototipo se considera que es una solución poco madura.

Pilar III: Seguridad

En la evaluación detallada de soluciones comerciales para satisfacer los requisitos definidos en el caso del Pilar III se han examinado las características de varios sistemas de seguridad que fueron identificados durante el proceso de *benchmarking*.

Los UAV proporcionan la mayor flexibilidad en tareas de seguridad y vigilancia de la base al poder tener una visión cenital del área y poder responder con gran velocidad



a cualquier alerta. También los UAV con cable son complementarios en este sentido al permitir una mayor persistencia en el aire y ser inmunes a las interferencias que se puedan dar.

Al no tener suficientes datos y haber tantas soluciones basadas en el empleo de drones aéreos disponibles en los mercados civil y militar no se ha seleccionado un sistema concreto, sino que ambos conceptos de dron, con o sin cableado, se consideran necesarios para cubrir los requisitos del Pilar III. Éstos operarían desde un vehículo nodriza o desde uno o varios puntos fijos en la Base Aérea.

Pilar IV: Remolcado y operación en pista de aeronaves

En el mercado existen numerosas soluciones orientadas a los mercados civil y militar consistentes en tractores eléctricos operados remotamente, de bajo perfil y tamaño reducido. Dado que no emplean barra de arrastre presentan un grado de movilidad superior al de los tractores convencionales. Además, su manejo en remoto dota a su operador de una mayor visibilidad sobre el movimiento del conjunto tractor-avión y, finalmente, su funcionamiento es libre de humos y emisiones acústicas, resultando no sólo más ecológico, sino más confortable de cara a la operación en el interior de hangares y refugios.

Tratándose de un mercado algo más maduro que el de aquellos sistemas orientados a las actividades que centran la atención del resto de Pilares, seguidamente se plantea un ejercicio algo más detallado en el que se selecciona un modelo en concreto de tractor eléctrico operado remotamente. Como se describirá a continuación, un vehículo similar al escogido para dar respuesta a las necesidades de este Pilar es utilizado en la Fase II a modo de plataforma base para la definición de una serie de soluciones tecnológicas en forma modular. A fin de estimar las características físicas orientativas de dicha plataforma se considera relevante que la elección del tractor no tripulado escogido el Fase I sea justificada de forma algo más minuciosa.

Así, para la elección de una solución comercial que permita cubrir los requisitos definidos en el caso del Pilar IV se evalúan en detalle las características de algunos de los tractores eléctricos no tripulados de la empresa Mototok identificados en el ejercicio de *benchmarking*, comparándolas con el MTOW de una serie de aeronaves



objetivo, así como con las dimensiones de las ruedas que componen el tren de aterrizaje delantero o auxiliar de éstas [84], [85], [86]:

- LB 7500 NG Flat, de la empresa Mototok (Tabla). Este equipo sería compatible con todas las aeronaves escogidas a excepción de P.3, T.23 y T.24.
- LB 3900 NG, desarrollado por Mototok (Tabla). Este tractor podría operar con todas las aeronaves definidas salvo P.3, T.23 y T.24. Presenta un peso en vacío 400 kg inferior al del LB 7500 NG Flat y unas dimensiones esencialmente semejantes a las de éste último (a excepción de su altura, que es superior frente a la del modelo anterior, de tipo *Flat*) y, además, puede desplazarse a una mayor velocidad (5,4 km/h frente a 3,78 km/h). Presenta una capacidad, en términos de carga desplazable, notablemente inferior (39 t vs 75 t), aunque compatible con las mismas aeronaves que el LB 7500 NG Flat, presumiblemente, con un coste inferior.
- LB 9500, de Mototok (Tabla). A diferencia de los dos tractores anteriores podría operar con el P.3 Orión, pero seguiría sin poder trasladar el T.23 y el T.24 en condiciones de MTOW. Además, no es compatible con las aeronaves de una única rueda en su tren de aterrizaje delantero, lo que limitaría su aplicabilidad a P.3 y T.21, siendo la primera de éstas una aeronave próxima a su baja en el seno del Ejército del Aire y del Espacio.
- SPACER 200, de la empresa Mototok (Tabla). Es el único de los tractores evaluados que sería compatible con la operación del T.23, si bien su rango de actuación quedaría limitado a esta aeronave y el P.3 pues es incompatible con el diámetro de la rueda o ruedas del tren delantero de aquellas aeronaves más ligeras. Si bien presenta una capacidad portante de 200 toneladas, el T.24 en condiciones de MTOW supone una masa de 242 toneladas, de modo que tampoco sería compatible con dicha aeronave o, cuanto menos, vería limitada su utilidad a condiciones de carga parcial, lo que no constituye una de las figuras de mérito establecidas. Además, se debe tener en cuenta que, a la diferencia de los modelos restantes, no se trata de un modelo perteneciente a una serie de productos de aplicación militar, de modo que un análisis más exhaustivo de mano del fabricante podría revelar que este sistema no fuera para operar en entornos más hostiles o, en todo caso, menos controlados (vibraciones, polvo, condición de la pista...).



A la vista del análisis realizado se estima que tanto LB 7500 NG (en su versión *Flat* o no) como LB 3900 NG resultarían aptos para operar con aquellas aeronaves de combate y transporte más ligeras, mientras que se debería optar por un modelo SPACER 200 en el caso de querer operar con aeronaves como el T.23. Los dos primeros modelos identificados emplean la misma rueda tractora, siendo algo superior la distancia al suelo o *ground clearance* y velocidad de desplazamiento en el caso del LB 3900 NG [77], de modo que presumiblemente la movilidad de éste último será algo mejor.

El LB 3900 NG presenta un menor margen en términos de capacidad que el LB 7500 NG. Es decir, son capaces de desplazar las mismas aeronaves objetivo si bien el LB 7500 NG podría arrastrar aeronaves de mayor peso si fuera menester. Tal podría ser el caso de operaciones con aeronaves de naciones aliadas en ejercicios y despliegues OTAN o la incorporación de nuevas aeronaves a la flota del Ejército del Aire y del Espacio. En todo caso, el MTOW de un F-35A Lightning II es inferior a las 32 toneladas [87] y el de un F-16 Fighting Falcon Block 70/72 es del orden de 22 toneladas [88], mientras que las primeras informaciones disponibles ubican el MTOW del hipotético “A200M” en el entorno de las 97 toneladas [89]. En consecuencia, las compatibilidad e incompatibilidades de ambos sistemas serían semejante de modo que, teniendo esto presente, así como las consideraciones antes realizadas, se propone el empleo de un sistema más ajustado a las necesidades del Ejército del Aire y del Espacio como es el caso del LB 3900 NG.

En el caso de querer conseguir la mayor versatilidad en las operaciones posible en principio debería optarse por una combinación de LB 3900 NG y SPACER 200, si bien optando por un *mix* en el que abunden más los primeros, pues serán aquellos destinados a auxiliar las operaciones de las aeronaves de combate, estando los segundos restringidos al T.23.

Dado el carácter preliminar de este estudio y la limitación en cuanto a la información relativa a cada una de las aeronaves analizadas disponible, y aunque se trata de una figura que debe ser tenida en cuenta, se hace notar que no se ha evaluado la compatibilidad con respecto al peso por rueda delantera. Así, hay que reseñar que estos remolcadores pueden operar con un peso máximo de aeronave desplazada y con un peso máximo por rueda delantera, de forma que si se excede este segundo el

dispositivo no puede remolcar la aeronave en cuestión. En el SPACER 200 de Mototok esta limitación es de 22 toneladas, siendo de 4,5 toneladas en el LB 3900 NG.

Designación del tractor		Capacidad [kg]	Velocidad [km/h]	Ruedas	Diámetro admisible [mm]	Ancho máximo admisible [mm]
LB 7500 NG Flat		75.000	3,78	1 ó 2	180 - 670	665
Designación aeronave		MTOW [kg]	Número de ruedas, N	Diámetro [mm]	Ancho [mm]	1,25·(Ancho·N) [mm]
C-212	T.12	6.000	1	610	196	245
CN-235	T.19	16.000	1	610	196	245
C-295	T.21	23.200	2	610	196	490
A400M	T.23	141.000	2	940	356	890
A330 MRTT	T.24	233.000	2	1.050	395	988
EF2000	C.16	22.800	1	508	216	270
P.3	P.3	63.000	2	711	196	490
F-18	C.15	25.400	2	560	168	420

Leyenda: Compatible, incompatible, requiere un estudio en detalle

Tabla 7 Evaluación del tractor eléctrico no tripulado LB 7500 NG Flat de Mototok en base a la comparativa con una serie de aeronaves objetivo. Fuente: Elaboración propia en base a [77], [48], [84], [85], [86] y fotografías [49].

Designación del tractor		Capacidad [kg]	Velocidad [km/h]	Ruedas	Diámetro admisible [mm]	Ancho máximo admisible [mm]
LB 3900 NG		39.000	5,4	1 ó 2	180-670	665
Designación aeronave		MTOW [kg]	Número de ruedas, N	Diámetro [mm]	Ancho [mm]	1,25·(Ancho·N) [mm]
C-212	T.12	6.000	1	610	196	245
CN-235	T.19	16.000	1	610	196	245
C-295	T.21	23.200	2	610	196	490
A400M	T.23	141.000	2	940	356	890
A330 MRTT	T.24	233.000	2	1.050	395	988
EF2000	C.16	22.800	1	508	216	270
P.3	P.3	63.000	2	711	196	490
F-18	C.15	25.400	2	560	168	420

Leyenda: Compatible, incompatible, requiere un estudio en detalle

Tabla 8 Evaluación del tractor eléctrico no tripulado LB 3900 NG de Mototok en base a la comparativa con una serie de aeronaves objetivo. Fuente: Elaboración propia en base a [77], [48], [84], [85], [86] y fotografías [49].

Designación del tractor		Capacidad [kg]	Velocidad [km/h]	Ruedas	Diámetro admisible [mm]	Ancho máximo admisible [mm]
LB 9500		86.000	-	2	600-1.000	1.100
Designación aeronave		MTOW [kg]	Número de ruedas, N	Diámetro [mm]	Ancho [mm]	1,25·(Ancho·N) [mm]
C-212	T.12	6.000	1	610	196	245
CN-235	T.19	16.000	1	610	196	245
C-295	T.21	23.200	2	610	196	490
A400M	T.23	141.000	2	940	356	890
A330 MRTT	T.24	233.000	2	1050	395	988
EF2000	C.16	22.800	1	508	216	270
P.3	P.3	63.000	2	711	196	490
F-18	C.15	25.400	2	560	168	420

Leyenda: Compatible, incompatible, requiere un estudio en detalle

Tabla 9 Evaluación del tractor eléctrico no tripulado LB 9500 de Mototok en base a la comparativa con una serie de aeronaves objetivo. Fuente: Elaboración propia en base a [77], [48], [84], [85], [86] y fotografías [49].

Designación del tractor		Capacidad [kg]	Velocidad [km/h]	Ruedas	Diámetro admisible [mm]	Ancho máximo admisible [mm]
SPACER 200		200.000	4	2	650-1.200	1.400
Designación aeronave		MTOW [kg]	Número de ruedas, N	Diámetro [mm]	Ancho [mm]	1,25·(Ancho·N) [mm]
C-212	T.12	6.000	1	610	196	245
CN-235	T.19	16.000	1	610	196	245
C-295	T.21	23.200	2	610	196	490
A400M	T.23	141.000	2	940	356	890
A330 MRTT	T.24	233.000	2	1.050	395	988
EF2000	C.16	22.800	1	508	216	270
P.3	P.3	63.000	2	711	196	490
F-18	C.15	25.400	2	560	168	420

Leyenda: Compatible, incompatible, requiere un estudio en detalle

Tabla 10 Evaluación del tractor eléctrico no tripulado SPACER 200 de Mototok en base a la comparativa con una serie de aeronaves objetivo. Fuente: Elaboración propia en base a [77], [48], [84], [85], [86] y fotografías [49].

La información disponible permite ir un poco más allá y determinar la compatibilidad de los dos tractores de arrastre no tripulados anteriores con los sistemas de pallets y contenedores antes identificados. De esta forma, en la Tabla y en la Tabla se realizan las comparativas oportunas para, respectivamente, LB 3900 NG y SPACER 200, en base a la información recopilada. Éstas permiten concluir que, si bien el LB 3900 NG

sería compatible con el pallet 463L HCU-6/E, sus dimensiones impedirían su transporte en el interior de los contenedores aerotransportados ISU-60 e ISU-90 (como consecuencia de las dimensiones interiores de dichos contenedores, en esencia del mismo tamaño en planta), debiendo entonces recurrir a uno de tipo ISO-20. Además, la compatibilidad con el pallet 463L HCU-6/E debería analizarse detenidamente, pues estrictamente el dispositivo sobresaldría unos pocos milímetros del área usable del pallet [43].

Por el contrario, el SPACER 200 no sería transportable mediante ninguno de los pallets o contenedores identificados, principalmente por sus dimensiones, aunque también por peso en el caso del pallet 463L y el contenedor ISU-90, lo que en principio supondría su eliminación como posible solución aerotransportable o desplegable por medios aéreos, pues su anchura y longitud también imposibilitarían su transporte en las aeronaves dotadas de rampa trasera como son el T.21 y el T.23. Tampoco sería compatible con el T.24, pues la puerta de carga lateral de éste tiene un ancho de 3.580 mm [30], mientras que tanto el ancho como el largo del tractor rondan los 4.000 mm.

En resumen, la solución óptima cuya adopción se propone sería semejante al LB 3900 NG de Mototok (Figura 34).

Designación del tractor	Peso [kg]	Ancho [mm]	Largo [mm]	Altura [mm]
LB 3900 NG	1.700	2.136	2.596	350
Contenedor/pallet	Carga de pago admisible [kg]	Ancho admisible [mm]	Largo admisible [mm]	Altura admisible [mm]
Contenedor ISU-90	4.536	2.086	2.591	2.108
Contenedor ISO-20	28.325	2.344	5.898	2.390
Pallet 463L HCU-6/E	4.536	2.134	2.642	N/A
Legenda: Compatible, incompatible, requiere un estudio en detalle				

Tabla 11 Compatibilidad del tractor no tripulado LB 3900 NG de Mototok con diversos sistemas de pallet y contenedor. Se hace notar que, en el caso de los contenedores, como dimensiones admisibles se han considerado las interiores. Fuente: Elaboración propia a partir de [41], [43], [77].

Designación del tractor	Peso [kg]	Ancho [mm]	Largo [mm]	Altura [mm]
SPACER 200	13.000	3.988	3.999	879
Contenedor/pallet	Carga de pago admisible [kg]	Ancho admisible [mm]	Largo admisible [mm]	Altura admisible [mm]
Contenedor ISU-90	4.536	2.086	2.591	2.108
Contenedor ISO-20	28.325	2.344	5.898	2.390
Pallet 463L HCU-6/E	4.536	2.134	2.642	N/A
Leyenda: Compatible, incompatible, requiere un estudio en detalle				

Tabla 12 Compatibilidad del tractor no tripulado SPACER 200 de Mototok con diversos sistemas de pallet y contenedor. Se hace notar que, en el caso de los contenedores, como dimensiones admisibles se han considerado las interiores. Fuente: Elaboración propia a partir de [41], [43], [77].



Figura 34 Tractor eléctrico operado remotamente LB 3900 NG de Mototok, identificado como solución compatible a las capacidades y necesidades del Ejército del Aire y del Espacio, y dispositivo empleado para su control. Nótese su aplicación al ámbito militar. Fuente: [46].

Pilar V: Conectividad

Si se analizan las características de los sistemas de conectividad identificados en el proceso de *benchmarking* para seleccionar una solución comercial que cumpla con los requisitos definidos en el caso del Pilar V, la solución *Multi-Mission Mount* de 4K Solutions es la más madura y adaptable a los requisitos dados.

Si bien no se trata de un vehículo autónomo, esta solución se puede adaptar con diversas antenas y *racks* de comunicaciones a cualquier vehículo en uso en el Ejército del Aire y del Espacio, pudiendo seleccionarse diferentes configuraciones posibles con equipos civiles y militares existentes en el mercado, como pudiera ser el sistema *Starlink*, que ha jugado un papel relevante durante el conflicto desatado en 2020 a raíz de la invasión rusa de Ucrania [91].

En la Tabla 13 y la Figura 35 se proporciona un corolario de las soluciones cuya adopción se plantea para dar solución a las problemáticas abordadas en cada uno de los Pilares en esta primera Fase de I de implementación de sistemas no tripulados.

Pilar	Descripción de la solución propuesta	Ventajas
I	Automóvil tripulado dotado de sistemas de detección y recolección de FOD del tipo FOD Finder™ XM.	Automatización de la detección y eliminación de FOD, con un elevado grado de movilidad.
II	Cargador de municiones semejante a aquél desarrollado por la RSAF en el contexto del proyecto <i>Smart Airbase</i> .	Mayor eficiencia y maniobrabilidad, reduciendo los efectivos necesarios.
III	Drones aéreos con y sin cable operando desde una plataforma móvil nodriza o puntos fijos en la Base.	Mayor flexibilidad en tareas de seguridad y vigilancia. Poder responder con gran velocidad a cualquier alerta.
IV	Remolcador eléctrico controlado remotamente semejante el LB 3900 NG de Mototok.	Más compacto, con mayor grado de movilidad. Más silencioso y libre de emisiones. Reducción del personal necesario.
V	Solución tipo <i>Multi-Mission Mount</i> de 4K Solutions.	Adaptable a plataforma no tripulada. Movilidad.

Tabla 13 Resumen de soluciones basadas en COTS propuestas por el presente estudio.
Fuente: Elaboración propia.

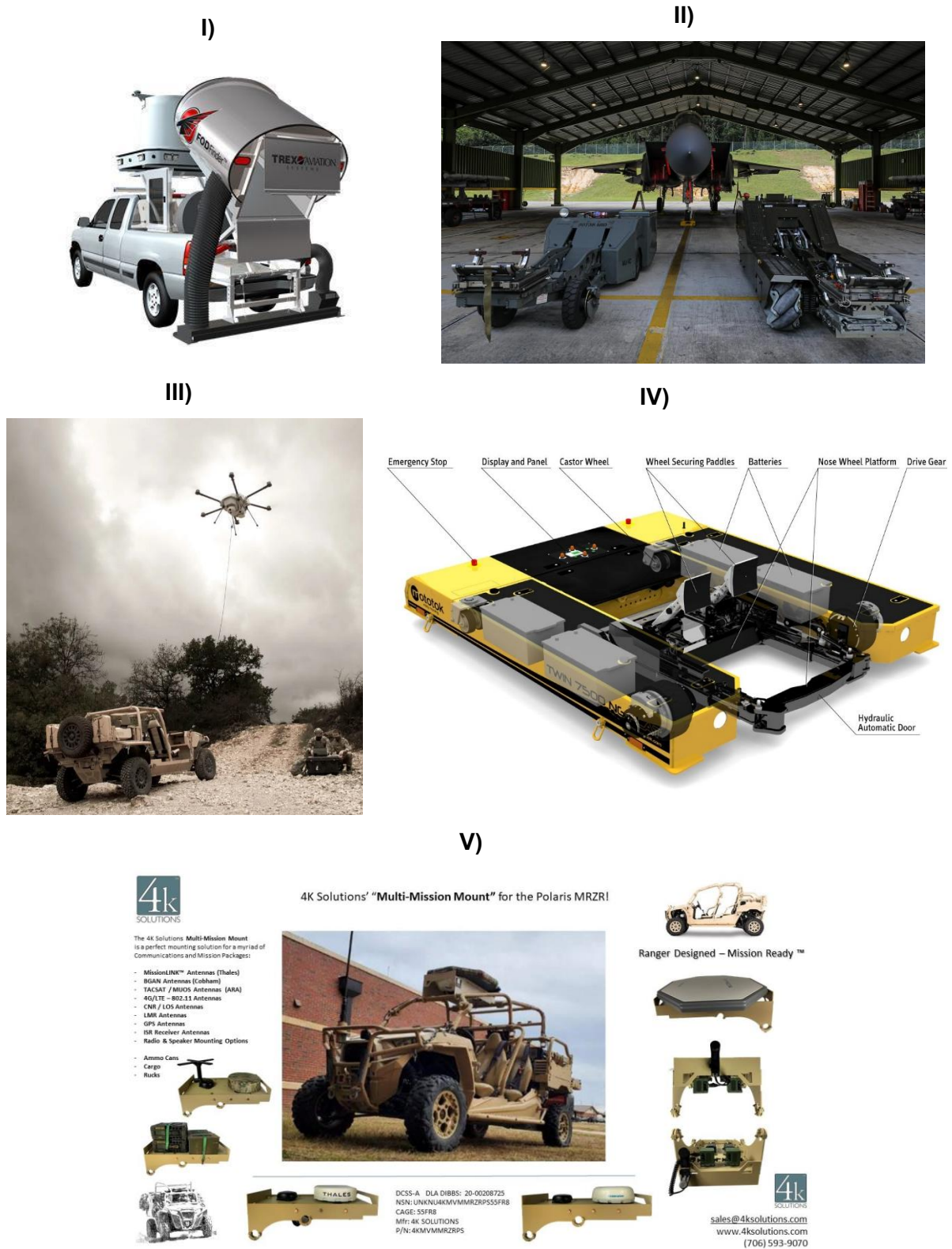


Figura 35 Soluciones no tripuladas de tipo COTS escogidas para cada uno de los Pilares. I) Sistema de detección y limpieza FOD Finder™ XM de Trex Aviation Systems; II) Cargador de municiones tradicional (izquierda) y cargador autónomo (derecha) de la RSAF. Se aprecian las ruedas Mecanum; III) Los drones con cable (*tethered*) y estándar cubren cada espectro de las operaciones de seguridad en la base; IV) Tractor eléctrico no tripulado para remolcado de aeronaves; V) Infografía de la solución *Multi-Mission Mount* de 4K Solutions. Fuente: Elaboración propia en base a [55], [64], [84] y [78].

3.3 Fase II: Familia de productos de plataforma común. Sistema TORO

Para cubrir la Fase II de la propuesta se presenta un concepto de sistema autónomo terrestre que aúna los conceptos que se estimaron más apropiados en la fase anterior en una única solución integrada denominada TORO (Tractor Omnirol Remotamente Operado), mostrada en la Figura 36. De esta forma, a partir de un vehículo plataforma base se implementaría una familia de productos basados en un principio común, con las ventajas en términos de formación, flexibilidad de operación y reducción del estrés de la cadena logística que esto supondría.

El desarrollo de esta solución podría correr a cargo de suministradores y fabricantes locales, lo que contribuiría al desarrollo de la industria nacional y a una mayor capacitación de ésta gracias a la introducción de nuevas tecnologías y filosofías de aplicación.

En lo que sigue a continuación, se hace notar que los diseños planteados son puramente esquemáticos y pretenden reflejar una determinada filosofía de aplicación, sin pretender constituir un diseño elaborado o reproducible en la realidad.

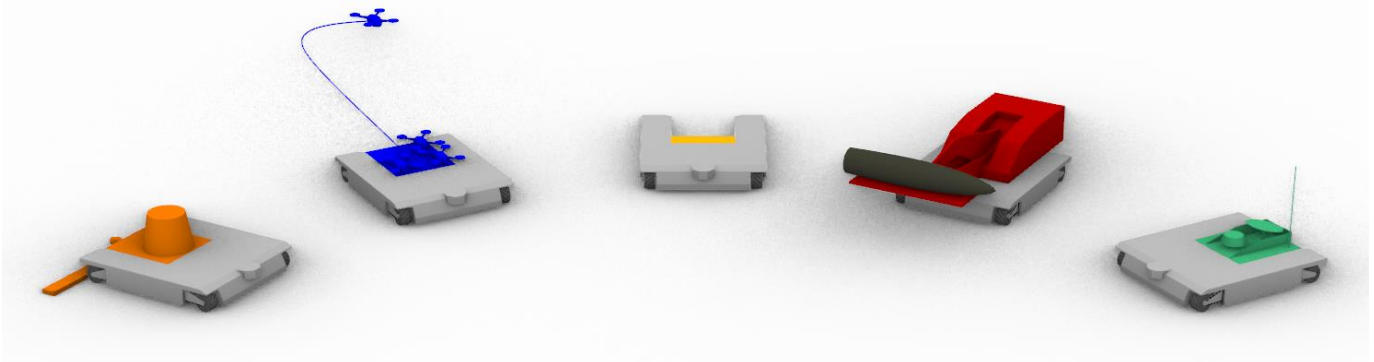


Figura 36 Propuesta de la familia de sistemas TORO. Fuente: Elaboración propia.

Descripción de la plataforma base del sistema

Como base del conjunto de sistemas TORO se plantea el concepto de tractor eléctrico no tripulado LB 3900 NG de Mototok o un modelo con un factor forma similar, ya que constituiría una solución adaptable y compacta ideal para su uso como sistema remoto (Figura 36). El sistema TORO contaría con un sistema de cámaras y sensores que permitirán su uso de forma autónoma o remota dependiendo de la tarea asignada y el grado de autonomía deseado por el usuario.

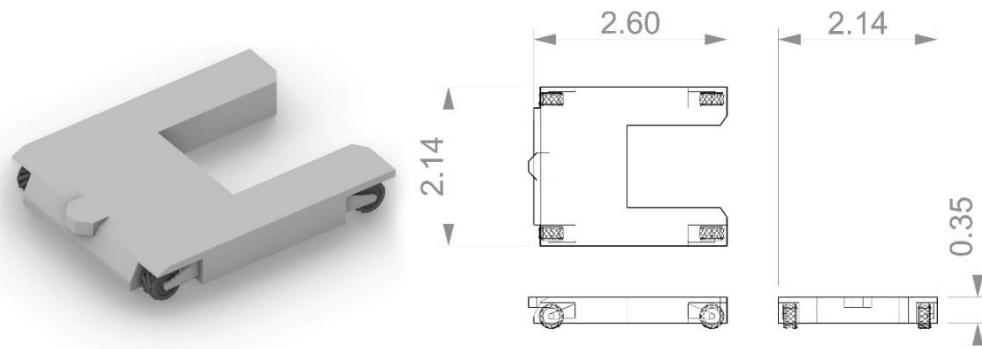


Figura 37 Aspecto y dimensiones generales del vehículo base del TORO. Fuente: Elaboración propia.

El sistema TORO incorporaría ruedas Mecanum para lograr alcanzar un grado de movilidad superior en espacios reducidos para facilitar la carga y descarga con menos maniobras (Figura 38).

Las ruedas Mecanum son un tipo especial de ruedas omnidireccionales utilizadas en robots móviles y otros vehículos que necesitan moverse en múltiples direcciones. A diferencia de las ruedas tradicionales que solo se mueven hacia adelante y hacia atrás, las ruedas Mecanum tienen una serie de rodillos dispuestos en ángulo que les permiten moverse en todas las direcciones.

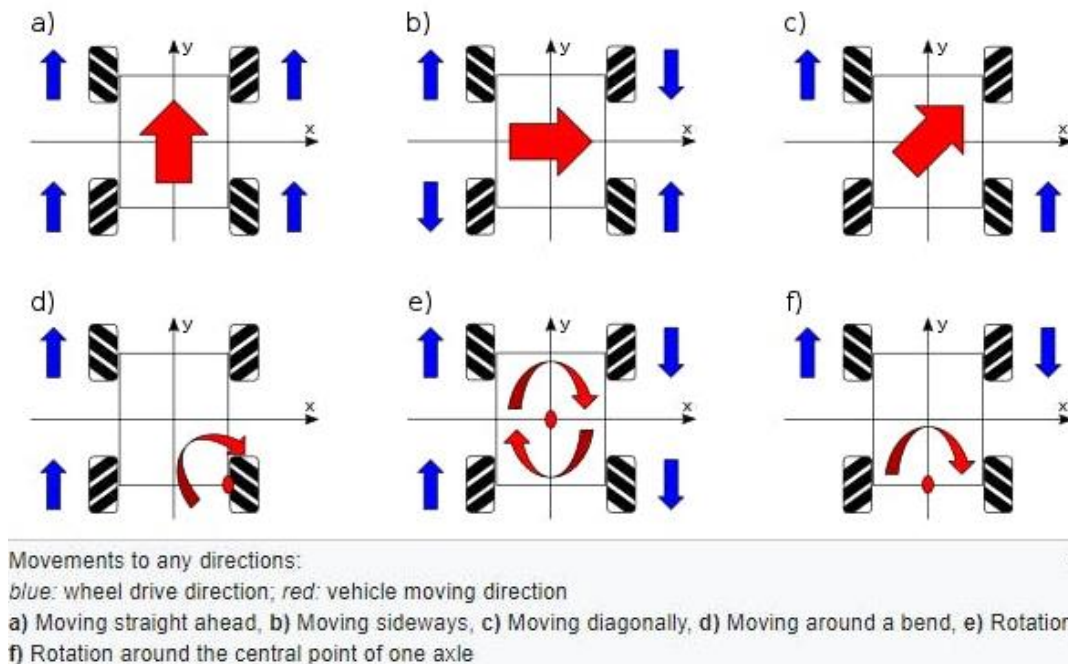


Figura 38 Esquema funcionamiento ruedas Mecanum. Fuente: [91].

La disposición de los rodillos en las ruedas Mecanum permite que el vehículo se mueva en cualquier dirección, incluyendo hacia adelante, hacia atrás, hacia los lados y en diagonal. Al variar la velocidad y la dirección de las ruedas, el vehículo puede moverse con gran precisión y maniobrabilidad en cualquier dirección.

Las ruedas Mecanum son ampliamente utilizadas en robots móviles y otros vehículos de transporte automatizados, ya que permiten una mayor maniobrabilidad y precisión en comparación con otros tipos de ruedas. Es por ello que esta clase de ruedas pueden suponer una ventaja importante a la hora de moverse con precisión en espacios complejos como hangares.

El sistema TORO podría ser controlado por cable con *joystick* y pantalla para una mayor precisión en maniobras especiales y también recibir rutas planificadas con *waypoints*, seguir a otros vehículos, etc., operando de forma semejante a otro UGV moderno (Figura 39).



Figura 39 Controlador XBOX empleado para controlar un UGV. La línea que separa la tecnología civil de la militar es cada vez más difusa y elementos COTS facilitan la integración y la curva de aprendizaje. Fuente: [92].

Módulos de misión por Pilar

El espacio interior en origen destinado a albergar las ruedas del tren delantero del avión a remolcar sería utilizado para incorporar los diferentes módulos de misión en un sistema *plug and play* que facilitaría en poco tiempo el cambio de rol según necesidad y disponibilidad (Figura 40).

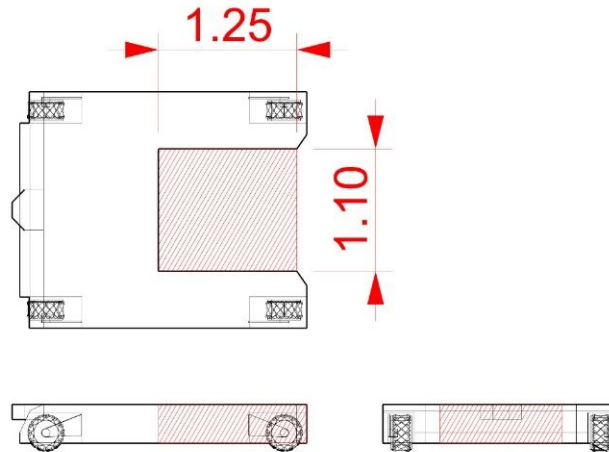


Figura 40 El espacio reservado para albergar las ruedas del tren de aterrizaje auxiliar o delantero del avión remolcado en el tractor eléctrico no tripulado de partida posee un volumen interno de $0,5 \text{ m}^3$ en la versión más compacta de módulo de misión. Sería ampliable según requisitos.

Pilar I: Limpieza de FOD

En la definición de un vehículo no tripulado que pudiera acometer las labores de detección y eliminación de FOD se integraría la solución FOD Finder™ XM seleccionada en la Fase I en el sistema TORO. Consistiría en un radar milimétrico para detectar FOD, junto con un sistema de aspiración y limpieza con depósito integrado (Figura 41).

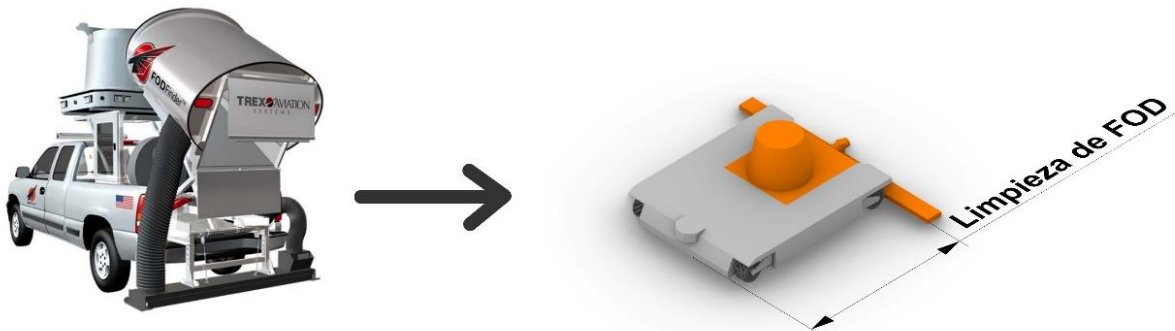


Figura 41 Vehículo base del sistema TORO equipado con el módulo para detección y eliminación de FOD en pistas, calles de rodadura y plataformas. Fuente: Elaboración propia.

Pilar II: Rearme y manejo de municiones

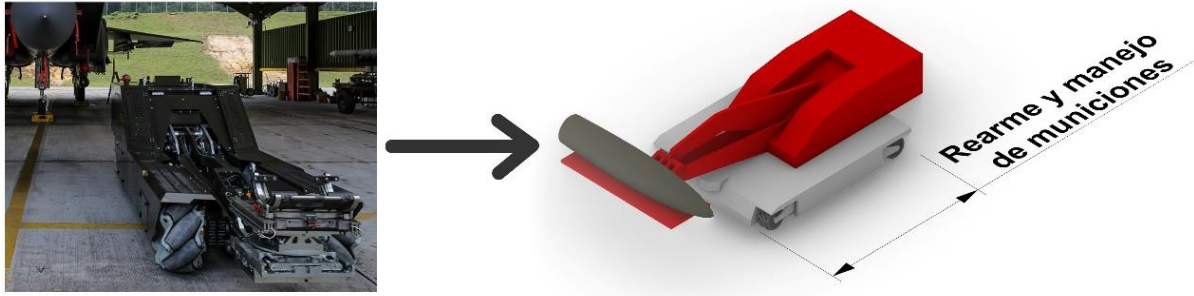


Figura 42 Vehículo base del sistema TORO equipado con el módulo para manipulación de misiles y otras municiones, destinado a labores de rearme de las aeronaves de combate.
Fuente: Elaboración propia.

Se integraría en el sistema TORO la solución planteada por la RSAF en su proyecto *Smart Airbase*, presentado durante el ejercicio de *benchmarking* y seleccionada en la Fase I. Consistiría en un vehículo no tripulado con ruedas Mecanum que permitirían realizar las operaciones de rearme con un menor número de maniobras y mayor seguridad, pudieron operar en refugios y hangares más angostos (Figura 42).

Pilar III: Seguridad

En este caso se adoptaría el concepto de drones aéreos, con y sin cable, seleccionado en la Fase I en el sistema TORO. Los drones con cable permiten una mayor persistencia para controlar el área de interés y el perímetro de la base, siendo inmune a las interferencias y sin emisiones detectables. Por otro lado, drones estándar pueden patrullar zonas concretas en caso de alerta e incluso colaborar en la identificación de FOD y daños en las instalaciones en caso de ataque.

El sistema se equiparía con una plataforma, mecanismos para la descarga de datos y vaciado de memoria, así como con módulos de recarga de baterías y de monitorización del estado de los drones a fin de poder implementar soluciones basadas en el *Drone Health Monitoring*, a semejanza de las filosofías de *Engine Health Monitoring* y *Structural Health Monitoring* de aplicación en la actualidad en el campo del mantenimiento aeronáutico (Figura 43).

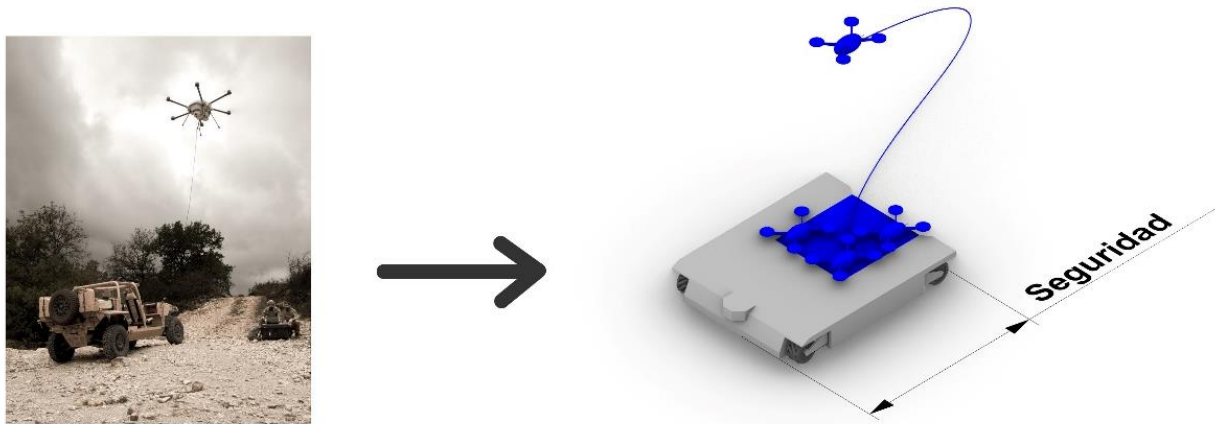


Figura 43 Vehículo base del sistema TORO equipado con el módulo de seguridad, diseñado para poder a operar con drones aéreos con cable (*tethered*) y sin éste. Fuente: Elaboración propia.

Pilar IV: Remolcado y operación en pista de aeronaves

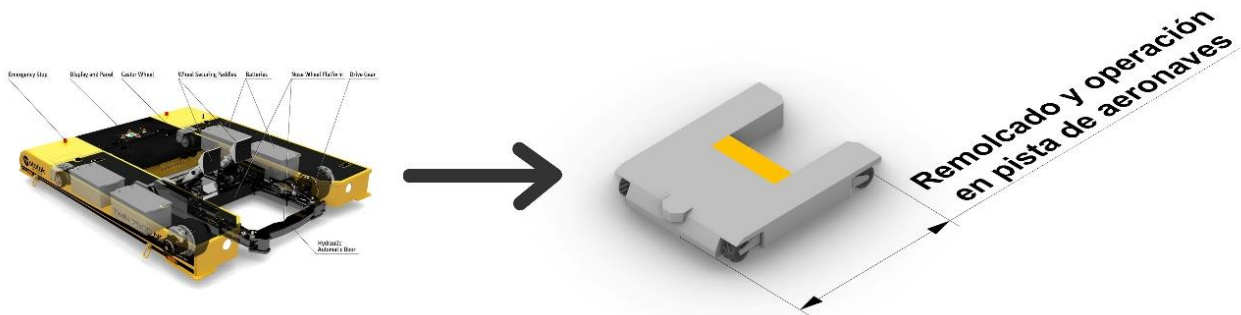


Figura 44 Vehículo base del sistema TORO equipado con el módulo para remolcado de aeronaves. Fuente: Elaboración propia.

Como se ha señalado con anterioridad, el concepto de tractor no tripulado LB 3900 NG se seleccionaría como base para el sistema TORO. El remolcador tendría capacidad para mover la mayoría de aviación táctica disponible actualmente en el Ejército del Aire y del Espacio, tal y como se justificó durante la Fase I (Figura 44).

Pilar V: Conectividad

Por último, en la solución destinada a cubrir las necesidades relativas a conectividad y comunicaciones se incorporaría al sistema TORO el concepto *Multi-Mission Mount* seleccionado en la Fase I. Gracias a las baterías del sistema TORO y el espacio para portar múltiples *racks* de comunicaciones y antenas, con este módulo se pretende tener una conectividad siempre disponible sin depender de generadores ni voluminosos equipos SATCOM. Con antenas tipo *Starlink* y otras podrían conectarse con la red que se requiera o generar una red local. También serviría de punto de

acceso para subir y bajar datos de misión para los aviones de combate desplegados de forma segura en bases expedicionarias, en línea con las tendencias operativas planteadas por ejércitos como la USAF para sacar el máximo partido a las plataformas aéreas de quinta generación (Figura 45).

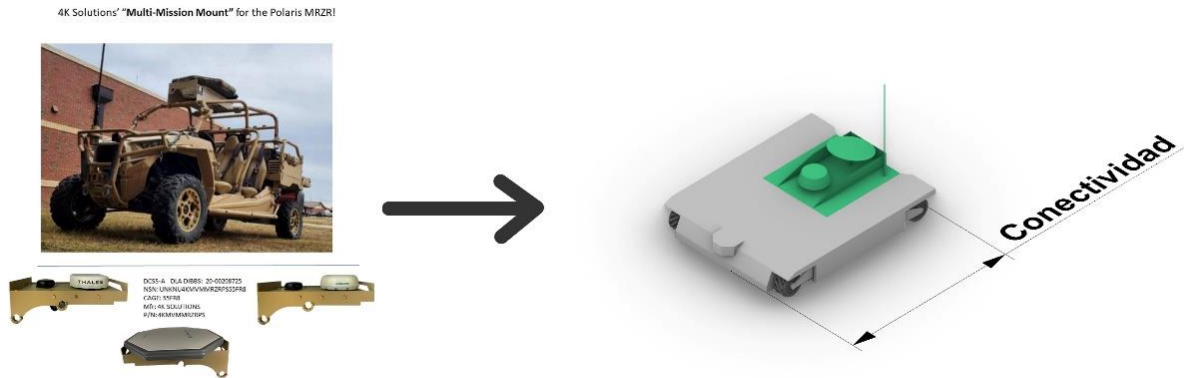


Figura 45 Vehículo base del sistema TORO equipado con el módulo de conectividad y comunicaciones. Fuente: Elaboración propia.

Transporte

Para su transporte la plataforma seleccionada estaría homologada para ser transportada en el sistema de contenedores ISO-20, en el interior de los cuales se podrían introducir hasta 10 gracias a su factor de forma reducido. Los módulos de misión podrían ser transportados en contenedores aerotransportables ISU-90/60 o pallets de la familia 463L. De esta forma, y atendiendo a la estimación orientativa mostrada en la Figura 46, en una única aeronave de transporte T.23 (A400M) podrían transportarse fácilmente 10 sistemas TORO con sus respectivos módulos de misión.

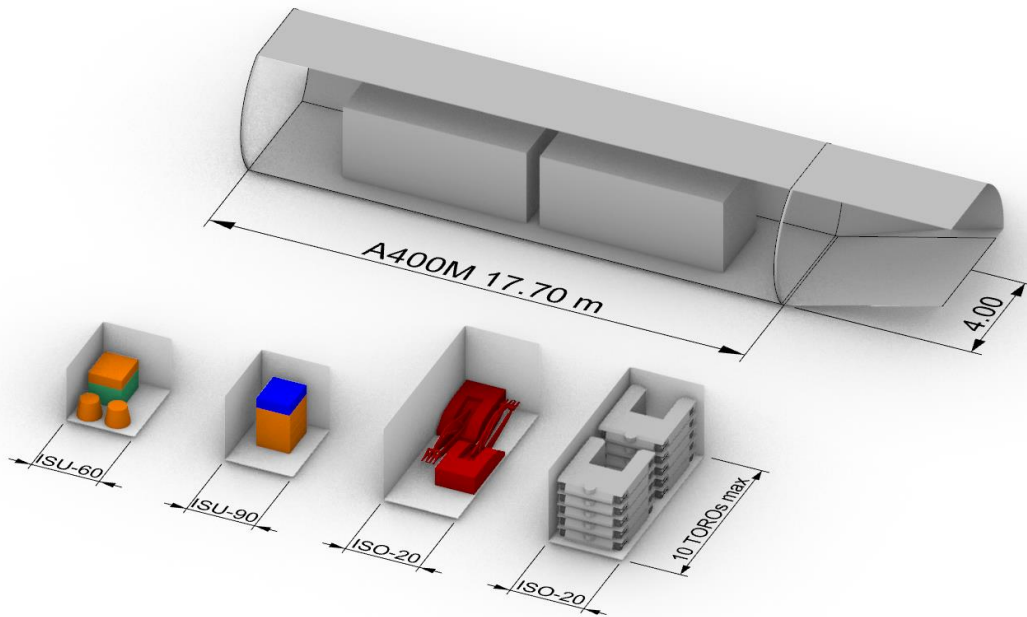


Figura 46 Esquemas de transporte en T.23 (A400M) y contenedores estándar. Fuente: Elaboración propia.

Caso práctico de uso

Puede suponerse un hipotético despliegue en el que se transportaran 10 sistemas robóticos modulares TORO y 20 módulos de uso en total. Asumiendo que fueran igual de relevantes los 5 ámbitos de aplicación distintos antes descritos (es decir que, por ejemplo, la limpieza de FOD tiene el mismo peso que la conectividad en la misión en concreto, de modo que se desplegaran el mismo número de módulos de cada tipo), se optaría por desplegar un total de 4 módulos de cada clase. Podrían intercambiarse los módulos en cada sistema operado remotamente según las necesidades de la tarea en particular (Figura 47).

Por ejemplo, si se planteara una tarea que requiriera limpieza de FOD en una pista de aterrizaje recién desplegada (situación de “despliegue inicial”), podrían intercambiarse los módulos de los sistemas robóticos que tienen la función de limpieza de FOD para maximizar la eficiencia en esta tarea. En este caso, se tendrían un total de 4 módulos para la limpieza de FOD y otros dedicados a la seguridad y conectividad de la base en esa fase inicial.

De manera similar, si se tuviera una tarea que requiriera preparar aviones para una salida (lo que se conoce como “surge”), podrían intercambiarse los módulos de los sistemas no tripulados que tienen la función de remolque y rearme para maximizar la

eficiencia en esta tarea. En este caso, se dispondría de un total de 8 módulos para el remolque y rearme, que podrían ser empleados en la mayoría de los sistemas robóticos disponibles.

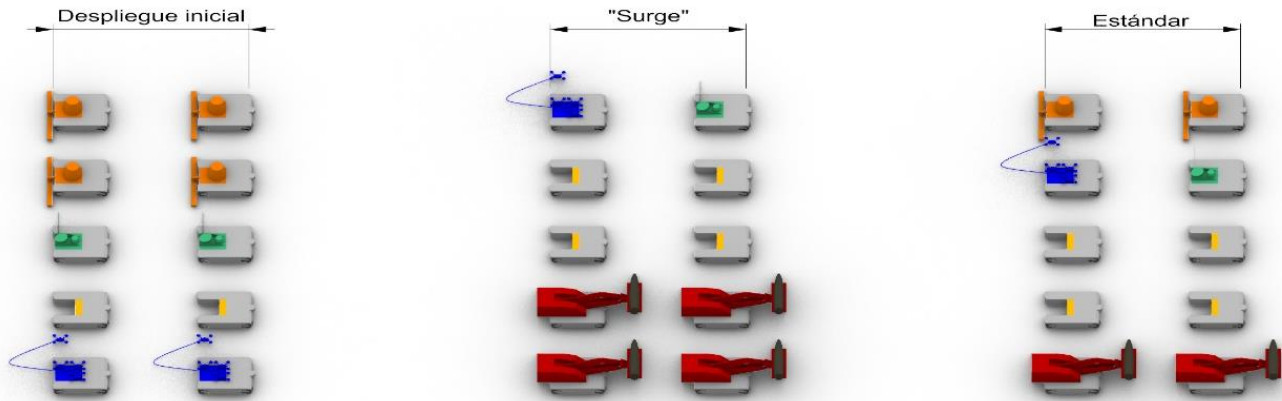


Figura 47 Ejemplo de posibilidades de despliegue con 10 sistemas TORO y 20 módulos de misión. Fuente: Elaboración propia.

En resumen, con 10 sistemas robóticos modulares y 20 módulos de uso en total sería posible intercambiar los módulos según las necesidades de la tarea en particular para maximizar la eficiencia. Al tener una cantidad igual de módulos para cada uso, los medios utilizados en este despliegue hipotético del Ejército del Aire y del Espacio podrían adaptarse fácilmente a las distintas tareas que se presentaran.

3.4 Comparativa y mejoras alcanzables

Atendiendo a la información presentada, el Ejército del Aire y del Espacio desplegado en destacamentos en África central y occidental, así como en los Países Bálticos, Rumanía y Bulgaria, utiliza principalmente el transporte aéreo para trasladar material y efectivos, empleando para ello las aeronaves T.21 y T.23. Sin embargo, el número de personal desplegado no suele superar las 140 personas.

Un sistema de vehículos operados remotamente específico como TORO, podría ayudar a reducir significativamente la cantidad de personal necesario en estas operaciones. TORO sería un vehículo no tripulado diseñado para transportar cargas pesadas en terrenos difíciles y que podría ser operado a distancia por una sola persona.

Si se implementara el sistema de TORO en estas operaciones militares, se estima que se podría reducir el número de efectivos necesarios en un 40%, lo que significaría que solo se necesitarían 84 efectivos en lugar de los 140 originales (asumiendo, claro está, una reducción homogénea y transversal a todas las funciones, lo que no es del todo cierto, si bien constituye la mejor aproximación posible en base a la información disponible). La Figura 48 esquematiza esta diferencia. Además, el empleo del sistema TORO conseguiría simplificar notablemente la logística al aunar en un solo sistema múltiples funciones, lo que facilita la disponibilidad, repuestos y reparaciones.

Con una mayor autonomía futura y madurez de los sistemas remotos, la RSAF calcula que el ahorro de personal podría ser de hasta un 60% en esas tareas concretas [63], de modo que la anterior figura sería mejorable.

En conclusión, un sistema de vehículos remotos específicos de apoyo al despliegue como TORO podría reducir significativamente la cantidad de personal necesario en destacamentos, lo que reduciría el riesgo para el personal en zona de operaciones y los costos logísticos. Además, TORO sería capaz de realizar múltiples tareas futuras según sus módulos de misión, gozando de un elevado grado de flexibilidad y adaptación, lo que lo convertiría en una herramienta valiosa para el Ejército del Aire y del Espacio.

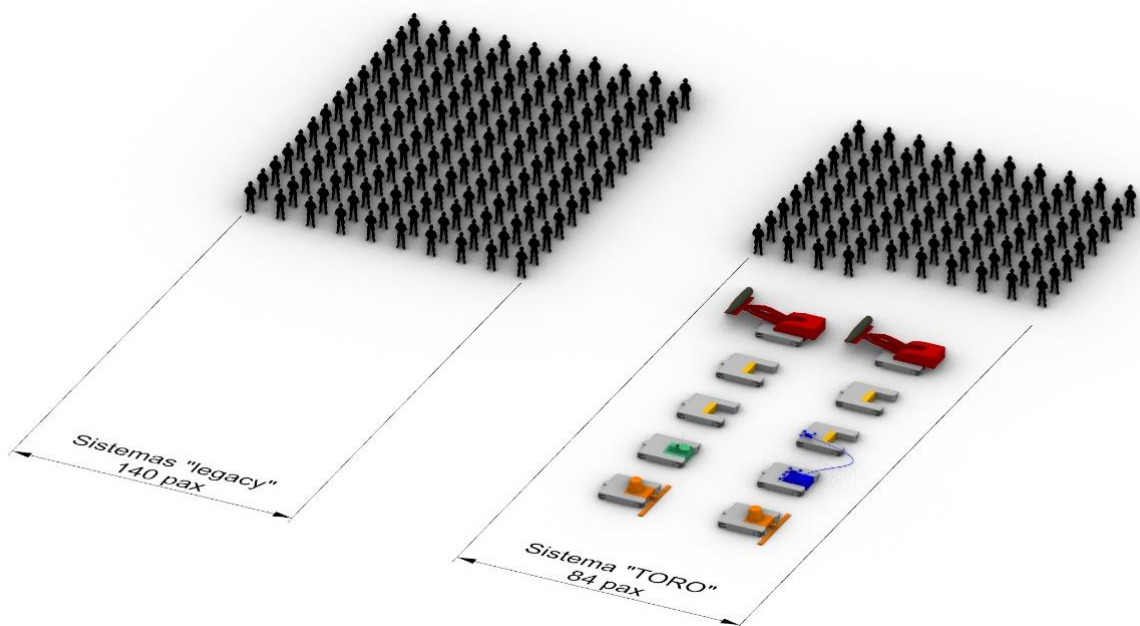


Figura 48 Con el sistema TORO se podría conseguir una reducción de hasta un 40% de personal desplegado para una misma misión. Fuente: Elaboración propia.



4. CONCLUSIONES

Los despliegues aerotácticos del Ejército del Aire y del Espacio, habitualmente llevados a cabo en forma de destacamentos constituidos por aeronaves de combate y el personal y los medios técnicos necesarios para su operación, que son transportados haciendo un notable uso de medios aéreos, suponen una fracción relevante de la actividad total de dicho Ejército. Por ello, el concepto BACSI debe potenciarse hasta el punto de que acompañe de la mano a los soldados aviadores en sus misiones en el extranjero y en los compromisos nacionales en materia de Defensa que lleva a cabo España con sus aliados.

Con la solución planteada en el presente proyecto se pretende dar respuesta a una necesidad cada vez más urgente en cualquier rama de las fuerzas armadas occidentales, que no es otra que la falta de personal. La automatización y “dronificación” de procesos logísticos es un primer paso para lograr reducir las necesidades de personal en las tareas más repetitivas en un espacio controlado como son las Bases Aéreas.

Si se sigue un esquema multifase es posible contribuir al desarrollo de las capacidades operativas del Ejército del Aire y del Espacio en un marco temporal más amplio. De esta forma, con la Fase I se puede empezar a experimentar con algunas soluciones existentes en el mercado para desarrollar técnicas y procedimientos que abran la puerta a una Fase II más madura y un producto diseñado *ex profeso* para satisfacer las necesidades del Ejército del Aire y del Espacio. La modularidad se estima clave para la consecución de una reducción de la huella logística de los despliegues, así como para dotar éstos de una gran flexibilidad y capacidad de adaptación a los diferentes escenarios operativos que pudieran presentarse durante la misión.

La Base Aérea del siglo XXI estará caracterizada por un empleo profuso de soluciones no tripuladas, lo que potenciará las capacidades individuales de los hombres y mujeres, aviadores del Ejército del Aire y del Espacio, liberándolos de aquellas tareas más exigentes físicamente, peligrosas y de menos valor añadido, pasando entonces a poder destinar más tiempo y esfuerzo a labores que requieran de su talento e intelecto humano.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Ejército del Aire y del Espacio, «Apoyo a Centroáfrica,» [En línea]. Available: <https://ejercitodelaire.defensa.gob.es/EA/ejercitodelaire/es/misiones/mision/Apoyo-a-Centroafrica/>.
- [2] Ejército del Aire y del Espacio, «Barkhane,» [En línea]. Available: <https://ejercitodelaire.defensa.gob.es/EA/ejercitodelaire/es/misiones/mision/Barkhane/>.
- [3] Aeronaves Militares Españolas, «Destacamento Orión,» [En línea]. Available: <https://aeronavesmilitaresespanolas.com/destacamento-orion-2/>.
- [5] Estado Mayor de la Defensa (EMAD), «Relevo del contingente en el Destacamento Orión de la Operación Atalanta,» [En línea]. Available: <https://emad.defensa.gob.es/operaciones/operaciones-en-el-exterior/42-ATALANTA/Noticias/listado/220922-relevo-dat-orion.html>.
- [6] InfoDefensa, «Paznic: así es el destacamento español de Eurofighter que vigila el Mar Negro,» [En línea]. Available: <https://www.infodefensa.com/texto-diario/mostrar/3056331/paznic-asi-destacamento-espanol-eurofighter-vigila-mar-negro>.
- [7] Aeronaves Militares Españolas, «Destacamento Paznic-Rumania,» [En línea]. Available: <https://aeronavesmilitaresespanolas.com/destacamento-paznic-rumania/>.
- [8] Aeronaves Militares Españolas, «Destacamento Vilkas – Lituania 2.022,» [En línea]. Available: <https://aeronavesmilitaresespanolas.com/destacamento-vilkas-lituania-2/>.
- [9] Ejército del Aire y del Espacio, «El Ala 12 rumbo a Lituania,» [En línea]. Available: <https://ejercitodelaire.defensa.gob.es/EA/ejercitodelaire/es/noticias/noticia/EI-Ala-12-rumbo-a-Lituania/>.
- [10] Aeronaves Militares Españolas, «Destacamento Strela – Bulgaria,» [En línea]. Available: <https://aeronavesmilitaresespanolas.com/destacamento-strela-bulgaria/>.
- [11] Aeronaves Militares Españolas, «Destacamento Ámbar / Estonia,» [En línea]. Available: <https://aeronavesmilitaresespanolas.com/destacamento-ambar-estonia/>.
- [12] Estado Mayor de la Defensa (EMAD), «Los Eurofighter del Destacamento "Ámbar" ya están en fase de servicios de alerta combinada con la Luftwaffe en Estonia,» [En línea]. Available: <https://emad.defensa.gob.es/operaciones/operaciones-en-el-exterior/36-OTAN-BAP/noticias/listado/220905-ni-dat-ambar-mision.html>.
- [13] Aeronaves Militares Españolas, «Destacamento Orel – Bulgaria,» [En línea]. Available: <https://aeronavesmilitaresespanolas.com/destacamento-orel-bulgaria/>.
- [14] Aeronaves Militares Españolas, «Destacamento Viespe - Rumanía,» [En línea]. Available: <https://aeronavesmilitaresespanolas.com/destacamento-viespe-rumania/>.



- [15] G. S. F. (InfoDefensa), «Perfiles IDS: Llega la Base Aérea Conectada, Sostenible e Inteligente».
- [16] Ejército del Aire y del Espacio, «BACSI,» [En línea]. Available: <https://ejercitodelaire.defensa.gob.es/EA/bacsi/>.
- [17] Revista Ejércitos, «La Batalla Multidominio y el campo de batalla futuro,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.revistaejercitos.com/2018/11/08/batalla-multidominio/>.
- [18] Ministerio de Defensa, «2023-2024 Catálogo Industria Española de Defensa,» 2023.
- [19] EINSA, [En línea]. Available: <https://einsa.es/>.
- [20] defensa.com, «EINSA suministrará tractores remolcadores al Ejército del Aire,» [En línea]. Available: <https://www.defensa.com/espana/einsa-suministrara-tractores-remolcadores-ejercito-aire>.
- [21] La Vanguardia, «Jefe Ejército Aire alerta falta personal y dice se necesitan 5.000 militares,» [En línea]. Available: <https://www.lavanguardia.com/politica/20180320/441737418517/jefe-ejercito-aire-alerta-falta-personal-y-dice-se-necesitan-5000-militares.html>.
- [22] La Razón, «El Ejército de Aire diseña la base aérea 4.0, una “smart city” militar,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.larazon.es/espana/20200930/jdb6lopr4bbdlfnqqe5dbadme.html>.
- [23] Revista Ejércitos, «Las tecnologías de la futura base logística del Ejército de Tierra,» [En línea]. Available: <https://www.revistaejercitos.com/2021/08/02/tecnologias-de-la-futura-base-logistica/>.
- [24] FOD Prevention, «<https://fodprevention.com/fod-awareness/>,» [En línea]. Available: <https://fodprevention.com/fod-awareness/>.
- [25] US Department of Defense, «FOD Walk,» [En línea]. Available: <https://www.defense.gov/Multimedia/Photos/igphoto/2002076408/>.
- [26] Airbus Defense and Space, «C295 - The Reliable Workhorse,» 2021.
- [27] Airbus Military, «A400M - The Versatile Airlifter,» 2010.
- [28] Airbus, «Military Aircraft,» [En línea]. Available: <https://www.airbus.com/en/products-services/defence/military-aircraft>.
- [29] Airbus Military, «The Benchmark A330 MRTT Multi Role Tanker Transport,» 2010.
- [30] Airbus, «A400M aircraft. Design Requirements & Conceptual Definition. Aula Airbus ETSIAE.,» [En línea]. Available: <https://aulaairbus.etsiae.upm.es/wp-content/uploads/2018/09/A400M-Design-Requirements-Conceptual-Definition.pdf>.
- [31] Blog Libro de vuelo, «Montaje final del segundo A400M en Sevilla,» 2012. [En línea]. Available: <http://bloglibrodevuelo.blogspot.com/2012/03/montaje-final-del-segundo-a400m-en.html>.



- [32] Royal Air Facebook, «Página de Facebook Oficial de la RAF,» [En línea]. Available: <https://www.facebook.com/royalairforce>.
- [33] «Evacuado el personal español de Sudán en poco más de 48 horas,» [En línea]. Available: <https://emad.defensa.gob.es/prensa/noticias/2023/04/Listado/230424-evacuacion-sudan.html>.
- [34] Global Security, «Containerization,» [En línea]. Available: <https://www.globalsecurity.org/military/library/policy/army/fm/55-65/appe.htm>.
- [35] CIMSA Ingeniería de Sistemas, «Aerial Delivery Systems,» [En línea]. Available: http://www.cimsa.com/pdf/parachute/A22%20&%20A-7A_ENG.pdf.
- [36] AAR Corp, «Rapid Deployment Equipment, Expeditionary Systems, Command & Control Systems, Sustainment & Technical Services,» [En línea]. Available: https://www.aarcorp.com/globalassets/2.-products/aar_catalog_2022.pdf.
- [37] «Pliego de Prescripciones Técnicas. Expediente N° 196307. Adquisición de un transferidor de carga,» [En línea]. Available: <https://contrataciondelestado.es/wps/wcm/connect/59c2f62b-5784-4cac-b33c-171cb57be6c9/DOC20190606081308PPT.pdf?MOD=AJPERES>.
- [38] «Shipping Container Dimensions - ISU-90,» [En línea]. Available: <https://www.sharkcage.com/shipping-container-dimensions/item/isu90>.
- [39] Mobile Modular Containers, «What Makes Military Shipping Containers Unique?,» [En línea]. Available: <https://www.mobilemodularcontainers.com/blog/military-shipping-containers>.
- [40] EQUIPTO, «Equipto's New ISU90 and TRICON Storage Platform Product Line,» [En línea]. Available: <https://www.equipto.com/pdf/ISU90-TRICON.pdf>.
- [41] M/S Containers, [En línea]. Available: http://www.mscontainers.dk/wp-content/uploads/2014/10/M-S_LF_product_20ft_40ft_standard_0514_03.pdf.
- [42] ONZE, «LD3 Container,» [En línea]. Available: <https://www.onze.it/en/air-freight-transport/air-containers-for-shipment-of-cargoes-on-airplanes/ld3/>.
- [43] Global Security, «463L Pallet Cargo System,» [En línea]. Available: <https://www.globalsecurity.org/military/systems/aircraft/systems/463L-pallet.htm>.
- [44] Boeing, «Foreign Object Debris and Damage Prevention,» [En línea]. Available: https://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/aero_01/textonly/s01txt.html.
- [45] Mototok, «Remotely Controlled Aircraft Tugs: The Future of Ground Handling,» [En línea]. Available: <https://www.mototok.com/blog/remotely-controlled-aircraft-tugs-the-future-of-ground-handling>.
- [46] TaxiBot, «About TaxiBot,» [En línea]. Available: <https://www.taxibot-international.com/about>.



- [47] Airside International, «Fraport and Lufthansa co-testing remote-controlled aircraft tug,» [En línea]. Available: <https://www.airsideint.com/fraport-and-lufthansa-co-testing-remote-controlled-aircraft-tug/>.
- [48] Ejército del Aire y del Espacio, «Aeronaves operativas,» [En línea]. Available: <https://ejercitodelaire.defensa.gov.es/EA/ejercitodelaire/es/aeronaves/operativas/>.
- [49] Airplane Pictures, [En línea]. Available: <https://www.airplane-pictures.net/>.
- [50] MOOG, «Tarsier® Automatic Runway FOD Detection System,» [En línea]. Available: <https://www.moog.com/content/sites/global/en/markets/aircraft/DigitalAirfieldSolutions/tarsier-fod.html>.
- [51] Engadget, «Foreign Object Debris detection and removal systems bring safety bots to the airports,» [En línea]. Available: <https://www.engadget.com/2008-08-09-foreign-object-debris-detection-and-removal-systems-bring-safety.html>.
- [52] Xsight System, «FODetect,» [En línea]. Available: <https://xsightsys.com/fodetect/>.
- [53] Trex Aviation Systems, «FOD Finder XF,» [En línea]. Available: <https://www.fodfinder.com/pages/fodfinderxf.html>.
- [54] Trex Aviation Systems, «FOD Finder XM,» [En línea]. Available: <https://www.fodfinder.com/pages/fodfinderxm.html#>.
- [55] Aero Specialities - Ground Support Equipment, «Trex FOD Finder Detection Systems,» [En línea]. Available: <https://www.aerospecialities.com/aviation-ground-support-equipment-gse-products/safety-equipment/fod-magnetic-sweepers/trex-fod-finder-detection-systems/>.
- [56] Forbes, «U.S. Air Force Developing Robot 'Dogs' To Keep Runways Clear Of Hazardous Debris,» [En línea]. Available: <https://www.forbes.com/sites/davidhambling/2022/01/10/robot-dogs-to-keep-usaf-runways-clear-of-hazardous-debris/?sh=740f6456af28>.
- [57] Siemens, «Need to find FOD? No worries. Intosite has you covered.,» [En línea]. Available: <https://blogs.sw.siemens.com/tecnomatix/need-to-find-fod-no-worries-intosite-has-you-covered/>.
- [58] Robotech SRL, «DustClean,» [En línea]. Available: <https://www.robotechsrl.com/dustclean-en-robot-sweeper/>.
- [59] Trombia Technologies Ltd, «Trombia Free,» [En línea]. Available: <https://trombia.com/free/>.
- [60] Cities Today, «Helsinki trials autonomous street sweeper,» [En línea]. Available: <https://cities-today.com/helsinki-trials-autonomous-street-sweeper/>.
- [61] Defence, Scienza & Technology Agency (DSTA), «Realising Airbases of the Future,» [En línea]. Available: <https://www.dsta.gov.sg/what-we-do/detail?title=realising-airbases-of-the-future&category=e>.



- [62] MINDEF Singapore, «Fact Sheet: New Technology Enablers for the Republic of Singapore Air Force's Smart Airbase of the Future,» [En línea]. Available: https://www.mindef.gov.sg/web/portal/mindef/news-and-events/latest-releases/article-detail/2021/June/30jun21_fs4.
- [63] Channel News Asia, «'Smart' RSAF airbases to use drones to detect intruders, more efficient munitions loader will be deployed,» [En línea]. Available: <https://www.channelnewsasia.com/singapore/smart-rsaf-airbases-drones-enhanced-munitions-loader-1930636>.
- [64] The Drive (The Warzone), «The Air Force Is Testing Robotic Loaders To Mount Hypersonic Missiles On Its Bombers,» [En línea]. Available: <https://www.thedrive.com/the-war-zone/42462/the-air-force-is-testing-robots-to-load-its-bombers-with-hypersonic-missiles>.
- [65] Barksdale Air Force Base, «Forging the Air Force of tomorrow,» [En línea]. Available: <https://www.barksdale.af.mil/News/Article/2782208/forging-the-air-force-of-tomorrow/>.
- [66] Defense News, «US Army's heavy ground robot reaches full-rate production,» [En línea]. Available: <https://www.defensenews.com/land/2020/11/16/us-armys-heavy-ground-robot-reaches-full-rate-production/>.
- [67] defensa.com, «El Ejército de Tierra recibe sus primeros nuevos robots de desactivación,» [En línea]. Available: <https://www.defensa.com/espana/ejercito-tierra-recibe-primeros-nuevos-robots-desactivacion>.
- [68] KUKA, «KMR Quantec,» [En línea]. Available: <https://www.kuka.com/en-de/products/mobility/mobile-robots/kmr-quantec>.
- [69] Flight Global, «US Air Force deploys first automated quadcopter for base security,» [En línea]. Available: <https://www.flightglobal.com/military-uavs/us-air-force-deploys-first-automated-quadcopter-for-base-security/141667.article>.
- [70] Flight Global, «FLIR Systems buys the tethered drone intellectual property,» [En línea]. Available: <https://www.flightglobal.com/civil-uavs/flir-systems-buys-the-tethered-drone-intellectual-property/134571.article>.
- [71] The Drive (The Warzone), «Here Is What The Air Force's New Robot Dogs Are Actually Capable Of,» [En línea]. Available: <https://www.thedrive.com/the-war-zone/38000/here-is-what-the-air-forces-new-robot-dogs-are-actually-capable-of>.
- [72] The Drive (The Warzone), «The Air Force Just Tested "Robot Dogs" For Use In Base Security,» [En línea]. Available: <https://www.thedrive.com/the-war-zone/36229/the-air-force-just-tested-robot-dogs-for-use-in-base-security>.
- [73] Air Force (USAF), «Robot dog reports for duty,» [En línea]. Available: <https://www.af.mil/News/Article-Display/Article/3002329/robot-dog-reports-for-duty/>.
- [74] Air Force (USAF), «Robins AFB remote control aircraft tug creates safer work environment,» [En línea]. Available: <https://www.af.mil/News/Article->



Display/Article/2860893/robins-afb-remote-control-aircraft-tug-creates-safer-work-environment/ .

- [75] TowFLEXX, «Aircraft Tugs,» [En línea]. Available: <https://towflexx.com/aircraft-tugs/>.
- [76] Robins Air Force Base, «U.S. Air Force Fact Sheet - Robins Air Force Base,» [En línea]. Available: https://www.robins.af.mil/Portals/59/documents/2018%20MARE/Robins%20AFB%20Fact%20sheet_%20updated%203-22-19.pdf.
- [77] Mototok, «Tugs,» [En línea]. Available: <https://www.mototok.com/tugs>.
- [78] AINonline, «Mototok Helps Optimize Hangar Space,» [En línea]. Available: <https://www.ainonline.com/aviation-news/business-aviation/2018-12-11/mototok-helps-optimize-hangar-space>.
- [79] PlaneSales, «Ground Support Equipment - TOWFLEXX TF5 up to 60,000KG or 132,000LBS,» [En línea]. Available: <https://www.planesales.com.au/details/Listing/Ground-Support-Equipment/8294/Ground-Support-Equipment---TOWFLEXX-TF5-up-to-60,000KG-or-132,000LBS>.
- [80] Indian Defence Research Wing (IDRW), «INS Vikrant seen with next-gen powered towing tugs for Deck-based fighter jets,» [En línea]. Available: <https://idr.org/ins-vikrant-seen-with-next-gen-powered-towing-tugs-for-deck-based-fighter-jets/>.
- [81] Air Force (USAF), «Hill AFB's 388th OSS exploring agile communications options for F-35A,» [En línea]. Available: <https://www.af.mil/News/Article-Display/Article/2983523/hill-afbs-388th-oss-exploring-agile-communications-options-for-f-35a/>.
- [82] Wright-Patterson AFB (USAF), «Air Force small business contract program delivers ultra-portable satellite communications system,» [En línea]. Available: <https://www.wpafb.af.mil/News/Article-Display/Article/818777/air-force-small-business-contract-program-delivers-ultra-portable-satellite-com/>.
- [83] 4K Solutions, «4K Solutions® Delivers MRZR Tactical Integrated Communications Suite (TICS),» [En línea]. Available: <https://4ksolutions.com/news/press-release/4k-solutions-delivers-mrzs-tactical-integrated-communications-suite-tics/>.
- [84] «Dunlop Aircraft Tires,» [En línea]. Available: <https://www.dunlopaircrafttyres.co.uk/>.
- [85] «Michelin Aircraft Tire - Engineering Data,» [En línea]. Available: https://www.jupitor.co.jp/pdf/michelin_aircraft.pdf.
- [86] Goodyear Aviation, «Application Charts,» [En línea]. Available: <https://www.goodyearaviation.com/resources/pdf/application-charts-6-2018.pdf>.
- [87] Air Force (USAF), «F-35A Lightning II,» [En línea]. Available: <https://www.af.mil/About-Us/Fact-Sheets/Display/Article/478441/f-35a-lightning-ii/>.



- [88] Lockheed Martin, «F-16 Block 70/72,» [En línea]. Available: <https://www.lockheedmartin.com/content/dam/lockheed-martin/aero/documents/F-16/ClearedF16Block7072ProductCard.pdf>.
- [89] defensa.com, «El reto de que España sea socio en el programa del futuro avión A200M,» [En línea]. Available: <https://www.defensa.com/opinion/reto-espana-sea-socio-programa-futuro-avion-a200m>.
- [90] U.S. Air Force, «Air Force Doctrine Note 1-21. Agile Combat Employment».