



Trabajo Fin de Grado

REQUISITOS DE UN PROVEEDOR DE SERVICIOS U- SPACE (USSP) COMPATIBLE PARA SU USO POR AERONAVES MILITARES.

Mario del Barrio Benito

Director académico: Dr. D. Juan Pablo Hierro Álvarez

Director militar: Cap. D. Juan José Bermúdez Antona

Centro Universitario de la Defensa-Academia General Militar

2023



Agradecimientos

En este apartado quisiera expresar mi completo agradecimiento a todas esas personas que, con su esfuerzo y confianza en mí han logrado reforzar mi vocación desde el primer día que tuve claro mi ingreso en la Academia General Militar hasta el día de la fecha.

En segundo lugar, quisiera agradecer a las dos academias en las que cursé mi formación, la Academia General Militar y la Academia de Aviación del Ejército de Tierra, y más concretamente al Capitán D. Juan José Bermúdez Antona (tutor militar del presente trabajo) por involucrarse en el proyecto y facilitarme el contacto de expertos en la operación de drones y la infraestructura U-Space.

En tercer lugar, quería agradecer a D. Rubén Gil Fontán, CEO de Vig-Sec Drone, por su disposición y su involucración en el desarrollo del trabajo.

En cuarto lugar, darle las gracias a mi tutor académico, el Dr. D. Juan Pablo Hierro Álvarez, por su paciencia desde el primer día que me presenté en su despacho y, a pesar de las dificultades que se presentaban en esa fecha se propuso sacar el proyecto adelante.

A continuación, quería agradecer a toda mi familia por haberme apoyado en todos los momentos de flaqueza durante mi formación, haber dedicado su tiempo en estar presente en los momentos más importantes y por los valores que desde pequeño me han inculcado. Especialmente a mi hermano, ejemplo a seguir y figura ejemplar desde que tengo conciencia hasta hoy. Si hoy en día estoy en esta situación, no me cabe ninguna duda de que es gracias a todos vosotros.

En último lugar, pero no por ello menos importante, agradecer a mis amigos que siempre me han apoyado en todas mis decisiones desde fuera del ejército y a mis compañeros de Especialidad Fundamental por representar para mí una familia fuera de casa.

En definitiva, a todos, muchas gracias.





RESUMEN

El creciente número de operaciones de sistemas aéreos no tripulados presenta un desafío en entornos cada vez más complejos y saturados. Para dar solución a la gestión de tales operaciones se planteó el concepto del U-Space, un conjunto de sistemas, servicios y procedimientos que permite el acceso seguro y eficiente de los sistemas no tripulados a estos entornos.

El desarrollo de este concepto puramente civil puede producir tensiones con la aviación militar ya que se rige por distintas normas y procedimientos operativos. Por ello, el objetivo principal del trabajo es proponer requisitos que los proveedores de servicios U-Space han de cumplir de tal forma que permitan la integración efectiva de aeronaves militares en el U-Space.

Para conseguir este objetivo se analiza la estructura y funcionamiento de U-Space, las interacciones con la normativa militar y se identifican posibles puntos de tensión entre la normativa que rige el U-Space y la existente que rige la aviación militar. La herramienta que se utiliza es un análisis DAFO, que resalta los puntos de tensión como debilidades y amenazas, y recalca los beneficios que aprovecharían las operaciones militares en el caso de que pudieran ser integradas dentro de los espacios aéreos U-Space como fortalezas y oportunidades.

Durante el desarrollo se presentan las causas que han llevado a identificar cada apartado del DAFO y se realiza una matriz de confrontación para, junto con la valoración de gravedad personal otorgada a cada debilidad y amenaza, el orden de prioridad con el que se deben abordar estas. Tras esto, se ofrece una solución a cada una en forma de requisito a cumplir tanto por los proveedores de servicios U-Space como por los proveedores de información común.

Los requisitos propuestos para los actores del U-Space se resumen en integrar figuras humanas dentro de los proveedores, desarrollar un sistema de protección para la información de las operaciones militares e impartir cursos de formación para comprender la compleja estructura U-Space.

Estos requisitos obtenidos cumplen con el objetivo principal del trabajo e incluyen también requisitos de cumplimiento para las Fuerzas Armadas en caso de querer integrar sus operaciones dentro de los volúmenes U-Spaces y de cumplimiento conjunto y colaborativo.

Los requisitos que se han considerado para las autoridades militares consisten en la adquisición de los sistemas que se requieren y en el desarrollo de estudios que determinen la cantidad y el tipo información que se ha de compartir durante las operaciones militares con los proveedores de U-Space.

De manera conjunta, ambas partes han de desarrollar la normativa que habilite a las aeronaves militares a operar en estos espacios. Además, se propone el desarrollo de una interfaz de uso exclusivo militar para facilitar la transferencia de información.

Se concluye el trabajo haciendo una recomendación al Ministerio de Defensa de considerar su involucración en proyectos como ACRE para operar en U-Space y/o demás proyectos que estrechen la relación de las operaciones de las fuerzas aeromóviles con la infraestructura U-Space, en especial las del Ejército de Tierra ya que opera a bajo nivel de vuelo como los sistemas aéreos no tripulados.

Palabras clave

Bajo nivel de vuelo, Proveedor de servicios U-Space, Sistemas aéreos no tripulados, U-Space.



ABSTRACT

The growing number of unmanned aerial systems operations presents a challenge in increasingly complex and crowded environments. The U-Space concept, a set of systems, services and procedures that enable safe and efficient access of unmanned systems to these environments, was developed to address the management of such operations.

The development of this purely civilian concept may lead to tensions with military aviation as it is governed by different rules and operational procedures. Therefore, the main objective of the paper is to propose requirements that U-Space service providers have to meet in order to enable the effective integration of military aircraft into U-Space.

To achieve this objective, the structure and functioning of U-Space, the interactions with military regulations and the identification of possible points of tension between the regulations governing U-Space and the existing regulations governing military aviation are analysed. The tool used is a SWOT analysis, which highlights the points of tension as weaknesses and threats, and highlights the benefits to military operations if they could be integrated into U-Space as strengths and opportunities.

During the development, the causes that have led to the identification of each section of the SWOT are presented and a confrontation matrix is made in order to, together with the personal severity assessment given to each weakness and threat, prioritise the order in which these should be addressed. Following this, a solution to each is offered in the form of a requirement to be fulfilled by both U-Space service providers and common information providers.

The proposed requirements for U-Space actors are summarised as integrating human figures within the providers, developing a protection system for military operations information and providing training courses to understand the complex U-Space structure.

These requirements meet the main objective of the work and also include compliance requirements for the Armed Forces should they wish to integrate their operations within the U-Spaces and joint and collaborative compliance volumes.

The requirements considered for the military authorities consist of the procurement of the required systems and the development of studies determining the amount and type of information to be shared during military operations with U-Space providers.

Jointly, both sides are to develop the regulations enabling military aircraft to operate in these areas. In addition, the development of an interface for exclusive military use to facilitate the transfer of information is proposed.

The paper concludes with a recommendation to the Ministry of Defence to consider its involvement in projects such as ACRE to operate in U-Space and/or other projects that strengthen the relationship between the operations of airmobile forces and the U-Space infrastructure, especially those of the Army, as it operates at a low flight level, such as unmanned aerial systems.

KEYWORDS

Low level flight, Unmanned Aircraft Systems, U-Space, U-Space services provider.



INDICE DE CONTENIDO

<i>Agradecimientos</i>	I
<i>RESUMEN</i>	III
<i>Palabras clave</i>	III
<i>ABSTRACT</i>	IV
KEYWORDS	IV
<i>INDICE DE FIGURAS</i>	VII
<i>INDICE DE TABLAS</i>	VIII
<i>ABREVIATURAS, SIGLAS Y ACRÓNIMOS</i>	X
1 INTRODUCCIÓN	1
2 OBJETIVOS Y METODOLOGÍA	2
2.1 OBJETIVOS Y ALCANCE.....	2
2.2 METODOLOGÍA.....	2
3 ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO	3
3.1 ANTECEDENTES.....	3
3.1.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS U-SPACE.....	3
3.1.2 ANTECEDENTES LEGISLACIÓN U-SPACE.....	5
3.2 MARCO TEÓRICO	7
3.2.1 RPA.....	7
3.2.2 U-SPACE	7
3.2.3 ESTADO ACTUAL DESARROLLO U-SPACE	13
4 DESARROLLO: ANÁLISIS Y RESULTADOS	14
4.1 ANÁLISIS DAFO	14



4.1.1	DEBILIDADES	15
4.1.2	FORTALEZAS	21
4.1.3	OPORTUNIDADES	23
4.1.4	AMENAZAS	25
4.2	MATRIZ DE CONFRONTACIÓN DAFO	26
4.3	ANÁLISIS DE RESULTADOS	28
4.3.1	SOLUCIONES A DEBILIDADES Y AMENAZAS	28
4.3.2	REQUISITOS	30
5	CONCLUSIONES.....	31
6	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	32



INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Bombardeo sobre Venecia. Fuente: Wikipedia.	3
Figura 2. Representación concepto U-Space. Fuente: ENAIRE	5
Figura 3. Esquema de los servicios U-Space. Fuente: (SESAR JU, 2020).....	8
Figura 4. Esquema del modelo centralizado de prestación de servicios U-Space. (Ministerio de Transporte, Movilidad y Agenda Urbana, 2022)	10
Figura 5. Actores involucrados en U-Space. (Ministerio de Transporte, Movilidad y Agenda Urbana, 2023).....	11
Figura 6. Análisis DAFO. Fuente propia	15
Figura 7. Petición restricciones de espacio aéreo DAR. (European Defence Agency, 2023)...	17
Figura 8. Reserva de volumen de altitudes determinadas DAR. (European Defence Agency, 2023)	17
Figura 9. Reserva de corredor aéreo DAR. Fuente: (European Defence Agency, 2023)	17
Figura 10. Reserva de sector aéreo DAR. Fuente: (European Defence Agency, 2023)	17
Figura 11. Matriz de confrontación DAFO. Fuente propia	26



INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Orden de prioridad para debilidades y fortalezas. Fuente propia.....	27
Tabla 2. Orden de prioridad para oportunidades y amenazas. Fuente propia.....	28
Tabla 3. Clasificación RPA según MTOW, altitud operativa, rango operativo y tiempo de vuelo. (Sergi Gasull Baldó, 2020)	37
Tabla 4. Clasificación RPAS OTAN. Publicación Doctrinal. Empleo táctico de la unidad de RPAS. (PD4-013)	37
Tabla 5. Clasificación de los Estados según sus estaciones de control y número de drones y helicópteros.	38



INDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Costes anuales según escenarios de integración para un Estado mediano. Fuente: (European Defence Agency, 2023)	20
Gráfica 2. Costes anuales según escenarios de integración para un Estado grande. Fuente: (European Defence Agency, 2023)	20



ABREVIATURAS, SIGLAS Y ACRÓNIMOS

ADS-B. Automatic Dependent Surveillance Broadcast (Sistema de vigilancia automatizado).

AIP. Aeronautical Information Publication (Publicaciones de información aeronáutica).

AMC. Acceptable Means of Compliance (Medios de cumplimiento aceptables).

ANSP. Air Navigation Service Provider (Proveedor de Servicios de Navegación Aérea).

ATC. Air Traffic Control (Control del tráfico aéreo).

ATM. Air Traffic Management (Gestión del tráfico aéreo).

ATS. Air Traffic Services (Servicios proporcionados al tráfico aéreo).

ATSP. Air Traffic Services Provider (Proveedor de servicios ATS).

BVLOS. Beyond Visual Line of Sight (Fuera del alcance visual directo).

CIA. Central Intelligence Agency (Agencia central de inteligencia).

CISP. Common Information Service Provider (Proveedor de los servicios de información común).

CNS. Comunication, Navigation and Surveillance (Comunicación, Navegación y Vigilancia).

DAFO. Debilidades, Amenazas, Fortalezas, Oportunidades.

DAR. Dynamic Airspace Reconfiguration (Reconfiguración dinámica del espacio aéreo).

DGAC. Dirección General de Aviación Civil.

EASA. European Aviation Safety Agency (Agencia europea de seguridad en la aviación).

EDA. European Defence Agency (Agencia de defensa europea).

FFCCSS. Fuerzas y Cuerpos de Seguridad del Estado.

GM. Guidance Material (Material de orientación).

MINDEF. Ministerio de Defensa.

MITMA. Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana.

NOTAM. Notice to Airmen (Notificaciones para aviadores).

OACI. Organización de Aviación Civil Internacional.

OTAN. Organización del Tratado del Atlántico Norte.

PANDU. Plan de Acción Nacional para el Despliegue del U-Space.



- RPA. Remotely Piloted Aircraft (Aeronave pilotada a distancia).
- SES. Single European Sky (Cielo único europeo).
- SESAR. Single European Sky ATM Research (Investigación ATM del cielo único europeo).
- SESAR JU. SESAR Joint Undertaking (Acuerdo conjunto SESAR).
- SORA. System Operation Risk Assessment, explicado en ANEXO I.
- SRD. Short Range Device (Dispositivo de bajo corto alcance).
- SSR. Secondary Surveillance Radar (Radar secundario de vigilancia).
- TTPs. Tácticas, Técnicas y Procedimientos.
- UAM. Urban Air Mobility (Movilidad aérea urbana).
- UAS. Unmanned Air System (Sistema Aéreo no Tripulado).
- UAV. Unmanned Air Vehicle (Vehículo Aéreo no Tripulado).
- UHF. Ultra High Frequency.
- USSP. U-Space Service Provider (Proveedor de servicios U-Space).
- UTM. Unmanned Traffic Management (Gestión del tráfico no tripulado).
- VLL. Very Low Level airspace (Espacio aéreo de muy baja altura).



INTRODUCCIÓN

El espacio aéreo contemporáneo se enfrenta a los desafíos que representa la incorporación de aeronaves no tripuladas (UAV) y sistemas de vehículos aéreos no tripulados (UAS) en unos entornos cada vez más complejos y saturados. Este Trabajo de Fin de Grado (TFG) se centra en un aspecto crucial para la integración satisfactoria de dichos sistemas en el espacio aéreo: los "Requisitos de un Proveedor de Servicios U-Space (USSP) compatible para su uso por aeronaves militares".

La relevancia de este estudio radica en la necesidad de integrar de manera segura y eficiente las operaciones militares en el U-Space, un concepto emergente destinado a gestionar el tráfico aéreo de sistemas no tripulados. Con el aumento del uso de drones y otras aeronaves no tripuladas, tanto en aplicaciones civiles como militares, la gestión del U-Space se ha convertido en un tema de interés y preocupación a nivel global.

El objetivo principal que se pretende alcanzar es la identificación y análisis de los requisitos específicos que un Proveedor de Servicios U-Space debe cumplir para ser compatible con su uso por aeronaves militares. Esto implica no solo considerar aspectos técnicos y operativos, sino también abordar las complejidades y sensibilidades asociadas con las operaciones militares.

Para alcanzar este objetivo, el estudio adopta una metodología que incluye la revisión de literatura relevante, el análisis de normativas existentes, y la evaluación de tecnologías y procedimientos actuales en el contexto del U-Space. Además, se consideran las experiencias y prácticas de diferentes pilotos de helicópteros del Ejército de Tierra, lo que proporciona una perspectiva amplia y diversa.

Los resultados esperados de este TFG incluyen una lista detallada de requisitos y recomendaciones para los Proveedores de Servicios U-Space, enfocándose en su compatibilidad con las necesidades y particularidades de las operaciones militares. Estos hallazgos no solo serán de interés para los proveedores de servicios y entidades reguladoras, sino que también proporcionarán una guía sobre la que han de trabajar autoridades civiles y militares para lograr cooperar en estos espacios aéreos.

En resumen, este trabajo busca contribuir significativamente al desarrollo de un U-Space seguro y eficiente, que pueda acomodar las operaciones militares sin comprometer la seguridad, la eficiencia y la interoperabilidad con otros usuarios del espacio aéreo.



OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

1.1 OBJETIVOS Y ALCANCE

El desarrollo del siguiente trabajo tiene como objetivo principal proponer requisitos que han de cumplir los proveedores de servicios U-Space (USSP), actor fundamental de un sistema de gestión del tráfico aéreo no tripulado civil, de tal manera que las aeronaves militares pudieran integrarse dentro de este sistema y operar dentro de estas estructuras. Para concluir en esos requisitos, se han de cumplir una serie de hitos durante el desarrollo del proyecto.

El primer hito es analizar el concepto de U-Space y su estructura, agentes involucrados en su funcionamiento y desarrollo, funciones que cumple cada actor dentro del sistema y fundamentalmente los servicios que ofrece a los tráficos aéreos que operan dentro de él. El segundo hito consiste en realizar un análisis que obtenga los puntos en los que la normativa que rige el U-Space sea incompatible o haya vacíos normativos en el desarrollo del sistema con respecto a la interacción con aeronaves militares y la normativa que actúa sobre ellos. El tercer y último hito, que concluye en los requisitos y/o recomendaciones para los proveedores USSP, se centra en estudiar las opciones posibles que cubran estos vacíos o solucionen las incompatibilidades que se encuentren y definir de qué manera se pueden realizar.

Los problemas a abordar están relacionados con la novedad de este sistema, ya que es un proyecto en desarrollo que se encuentra todavía en la fase de realización de trámites legislativos. Esto significa que, el mayor problema que se plantea es el cambio en la legislación durante la realización del trabajo.

El alcance de este trabajo se limita a proponer una serie de requisitos que han de cumplir ambas partes, tanto civil como militar para esta integración. Por lo que no se desarrollarán la legislación o los procedimientos que se pueden proponer como requisito.

1.2 METODOLOGÍA

La metodología utilizada para la realización del trabajo se centra en un enfoque cualitativo.

Para cumplir con los dos primeros hitos, se realizará una investigación bibliográfica para conocer los procedimientos operacionales de la gestión del tráfico aéreo. Esta investigación incluye también el conocimiento de la legislación que rige el U-Space y el plan de acción nacional para su integración dentro de los sistemas de gestión del espacio aéreo ya existentes.

Paralelamente y de manera complementaria a la investigación bibliográfica, se realizarán entrevistas con expertos en la materia que puedan aportar conocimientos sobre la estructura U-Space o incluso incompatibilidades que desde su experiencia en el campo hayan detectado.

De esta manera, se dispondrá de la información necesaria para, desde una visión hipotética en la que las aeronaves militares se encuentran integradas dentro del U-Space, realizar un análisis DAFO. Se ha optado por esta herramienta ya que muestra tanto los beneficios que esta integración ofrece al tráfico aéreo militar, como las debilidades y amenazas que esta integración supone para ellos.

Las debilidades y amenazas obtenidas tras el análisis serán objeto de estudio con el fin de llegar a las diferentes opciones para subsanarlas, plasmadas a modo de requisitos que han de cumplir tanto los proveedores USSP, como los organismos militares que se integren en la estructura para conseguir una integración eficiente y segura.



ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO

Las coordinaciones con operadores de drones comenzaron en 2018, en virtud del Real Decreto 1036/2017, y desde entonces, las operaciones de aeronaves pilotadas remotamente (RPA) han experimentado un crecimiento exponencial. Se proyecta que las operaciones en 2023 superarán significativamente las registradas en 2022, que fueron de 10,325. ENAIRE, uno de los desarrolladores del proyecto U-Space, reflejaba en una ponencia que tan sólo en 2022, experimentó un aumento del 70% en la gestión de operaciones de drones con respecto al año anterior. Esta tendencia ha impulsado la necesidad de un enfoque digital y automatizado para registrar y gestionar la coordinación de los vuelos y acabó dando origen a la idea del U-Space.

1.3 ANTECEDENTES

1.3.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS U-SPACE

1.3.1.1 UAV

Los antecedentes del uso de UAVs se remontan a una cronología que abarca varios siglos y se caracteriza por una evolución tecnológica significativa. A pesar de que hoy en día los asociamos comúnmente con vehículos aéreos no tripulados y su aplicación militar, el concepto de estas aeronaves sin piloto ha existido en diversas formas desde el siglo XIX.

Uno de los primeros registros del uso de aeronaves no tripuladas data de 1849, cuando el ejército austriaco utilizó aproximadamente 200 globos aerostáticos no tripulados cargados con bombas sobre la ciudad de Venecia. Este evento marcó uno de los primeros antecedentes del uso de aeronaves no tripuladas con fines militares.

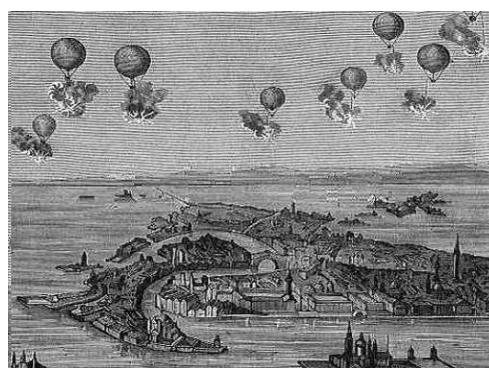


Figura 1. Bombardeo sobre Venecia. Fuente: Wikipedia.

Durante la Guerra Civil en Estados Unidos, tanto las fuerzas de la Confederación como las de la Unión emplearon globos para misiones de reconocimiento. Estos globos tripulados, aunque no eran aviones no tripulados en el sentido moderno, representaron un uso temprano de aeronaves para obtener información estratégica. Posteriormente, en 1896 y de la mano de Samuel P. Langley fueron desarrolladas una serie de aeronaves a vapor sin piloto capaces de volar con éxito a lo largo del río Potomac, cerca de Washington, D.C. Este hito marcó un avance tecnológico en la dirección de las aeronaves no tripuladas.



Fue durante la Guerra Hispanoamericana de 1898, cuando las fuerzas militares de EE.UU. equiparon una cámara a una cometa, lo que resultó en una de las primeras aplicaciones de la fotografía de reconocimiento aéreo.

A lo largo del siglo XX, se observó un interés creciente en el control remoto de vehículos, lo que allanó el camino para el desarrollo de drones. En 1898, Nikola Tesla demostró el control remoto de un barco mediante señales de radio, sentando las bases para la robótica moderna. Esto impulsó el desarrollo de experimentos con aviones dirigidos por control remoto equipados con explosivos bajo la supervisión del capitán Archibald M. Low de la Royal Flying Corps en Reino Unido, que se vieron repetidas veces durante la Segunda Guerra Mundial. Durante este siglo tuvo lugar el desarrollo de nuevos prototipos de drones, con fines principalmente en el ámbito militar que les otorgaba la denominación de armamento de guerra.

El siglo XXI ha sido testigo del uso generalizado de drones en operaciones militares, particularmente en la eliminación de objetivos de inteligencia. Un hito significativo fue la primera operación con drones Predator por la CIA en Afganistán en 2002, que resultó en la eliminación de un inocente confundido con Osama Bin Laden. No obstante, los avances tecnológicos han dado paso también a su uso en aplicaciones de ámbito civil para inspecciones de infraestructuras, observación, vigilancia, operaciones de rescate y como herramienta para medios creadores de entretenimiento. (Richard J. Gross, 2023) (Sergi Gasull Baldó, 2020)

1.3.1.2 SESAR JU

El Cielo Único Europeo (Single European Sky, SES) es una iniciativa reglamentaria de la Unión Europea del año 2004 que tiene el objetivo fundamental de reestructurar el sistema de gestión de la navegación aérea del continente, promoviendo su evolución hacia un sistema de transporte aéreo más eficaz. (ENAIKE, 2023)

Este proyecto sentó las bases tecnológicas que condujeron a la creación en 2007 de la "Empresa Común SESAR," establecida conforme al Reglamento (CE) 219/2007 del Consejo de la Unión Europea, modificado posteriormente por el Reglamento (CE) 1361/2008 del Consejo y finalmente por el Reglamento del Consejo (UE) 721/2014.

Se definieron como objetivos la armonización y la mejora de la eficiencia de los servicios de navegación aérea prestados en la Unión Europea aumentando su capacidad, fortaleciendo su seguridad y disminuyendo la fragmentación del espacio aéreo. Se pensó inicialmente para mejorar la integración de las nuevas tecnologías y de las operaciones militares dentro del cielo europeo. (Cabezas Carrasco, 2016)

Según Alejandra Morer en su análisis del U-Space y su integración en las plataformas gestoras existentes "La importancia de SESAR en el proyecto U-Space es que ha sido su predecesor y es la organización que en 2017 impulsó la creación de U-Space. Fundamentó las ideas que finalmente se han decidido llevar a cabo en un proyecto más centrado y específico para el desarrollo de los UAS." (Alejandra Morer Murcia, 2021)

1.3.1.3 U-SPACE

En el año 2016 fue publicado el European Drones Outlook Study por SESAR JU, en el cual quedaba reflejada la necesidad de medidas urgentes en la gestión del espacio aéreo, que lo hiciera más eficiente y capaz para soportar el gran volumen de tráfico aéreo junto con la gestión de las operaciones de drones que se preveían en el futuro. (SESAR JU, 2016)



Ese mismo año, tuvo lugar la Cumbre de la OTAN en Varsovia, en la que se acordó la necesidad de desarrollar el concepto *U-Space*, capaz de permitir la operación segura de un gran número de drones por debajo de 150 metros y cercano a entornos urbanos. (Moliner, Agosto, 2016)

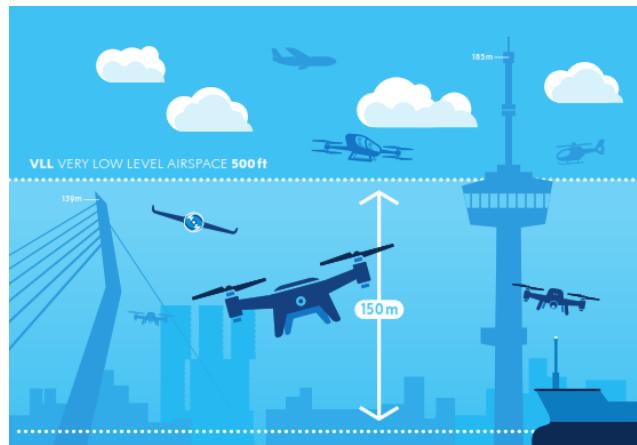


Figura 2. Representación concepto *U-Space*. Fuente: ENAIRE

1.3.2 ANTECEDENTES LEGISLACIÓN U-SPACE

El reglamento para la operación de aeronaves civiles por control remoto tuvo su origen en el artículo 50 de la Ley 18/2014, el cual fue derogado por el Real Decreto 1036/2017. Este real decreto establece las condiciones de explotación de las aeronaves RPA, limitando su uso a operaciones especializadas, vuelos de prueba, investigación y desarrollo, y demostración de seguridad y aborda la regulación de aeronaves pilotadas por control remoto en operaciones de seguridad pública y establece requisitos de identificación, limitaciones de operación y la necesidad de comunicación previa al Ministerio del Interior para operaciones sobre aglomeraciones urbanas y reuniones al aire libre.

El marco normativo continua con el Reglamento (UE) 2018/1139 que tiene como objetivo establecer y mantener un alto nivel de seguridad en la aviación civil en la Unión Europea mediante la adopción y aplicación de actos legislativos, medidas de seguridad y la creación del 'Reglamento Base' de la Agencia Europea de Seguridad Aérea (EASA), creada mediante el Reglamento (CE) nº216/2008.

El siguiente paso en cuanto a la legislación aplicable a la utilización de aeronaves pilotadas remotamente (RPAs) quedó reflejado en el Reglamento de Ejecución (UE) 2019/947, que establece un marco común para la operación de drones en la Unión Europea. Este reglamento busca garantizar la seguridad de las operaciones de drones y facilitar su integración en el espacio aéreo proponiendo normas de seguridad, limitaciones de vuelo, tipos de certificados y licencias a obtener y una serie de requisitos de manera diferenciada para cada categoría de sistemas RPA. Además, establece la necesidad de obtener autorización de las autoridades de la aviación civil y las reglas específicas para operar estos sistemas en el espacio aéreo controlado. Complementario a éste, el Reglamento Delegado (UE) 2019/945 proporciona un marco regulatorio que se ocupa de la autorización, certificación y supervisión del cumplimiento de este reglamento de los sistemas RPA y los operadores de terceros países dentro del espacio de la Unión Europea.



En 2021 llegó el Paquete de Regulación U-Space, compuesto por el Reglamento de Ejecución (UE) 2021/664, el Reglamento de Ejecución (UE) 2021/665 y el Reglamento de Ejecución (UE) 2021/666. El primero, que será desarrollado posteriormente, introduce el concepto de U-Space y designa el conjunto de servicios que ha de proporcionar la infraestructura, reflejados en el análisis de la infraestructura U-Space, y los procedimientos que han de llevarse a cabo para gestionar y supervisar el tráfico de drones de manera segura en el espacio aéreo de la Unión Europea y, además refleja las capacidades y las tareas de las autoridades competentes.

El segundo modifica el Reglamento de Ejecución (UE) 2017/373 en una serie de definiciones relativas al U-Space, en la coordinación por los proveedores de servicios de tránsito aéreo en el espacio aéreo U-Space de tal manera que proporcionarán la información necesaria sobre el tráfico tripulado y establecerán procedimientos de coordinación con las dependencias de control del tránsito aéreo tripulado, y en la reconfiguración dinámica del espacio aéreo U-Space¹ obligando a las dependencias de control a limitar temporalmente las zonas delimitando sus límites laterales y superiores y a notificar estas limitaciones de manera oportuna y eficaz.

El tercero modifica el Reglamento (UE) 923/2012 en los requisitos para comunicaciones, el transpondedor SSR (Radar Secundario de Vigilancia) y la viabilidad electrónica en el espacio aéreo U-Space exigiendo a todos los vuelos VFR que vuelen en los espacios aéreos de clase E, F o G² a portar equipo de comunicaciones para transmitir con anticipación a la entrada en zonas obligatorias de radio y a portar transpondedores SSR que sean capaces de operar en los modos A y C o S³.

Entrando el paquete completo de regulación en vigor el 26 de enero de 2023.

¹ Explicado en Anexo I.

² Son los espacios aéreos menos controlados, comenzando por el E que proporciona control sólo a los vuelos IFR, F permite todo tipo de vuelos sin estar controlados, y G es la capa de libre circulación permitiendo el vuelo de drones, ultraligeros, etc.

³ Según el tiempo entre los pulsos y la capacidad de reporte, encontramos diferentes tipos de operación del radar secundario de vigilancia:

- Modo A: Es el más sencillo de todos; solo muestra la posición de la aeronave.
- Modo C: Muestra la posición y la altitud de presión de la aeronave. La altitud de presión es la altitud que marca el altímetro con referencia 1013 Hpa.
- Modo S: Es el modo más sofisticado, y también el utilizado por los aviones comerciales. Permite conocer la posición, altitud, velocidad, reportes meteorológicos, velocidad respecto al suelo y el TCAS, que es un sistema que evita colisiones en vuelo entre aviones. (OneAir,)



1.4 MARCO TEÓRICO

1.4.1 RPA

La Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) ha establecido una clasificación para estas aeronaves, que incluye UAV (Vehículo Aéreo No Tripulado) para hacer referencia a los vehículos aéreos desprovistos de tripulación, sin hacer distinciones entre aquellos que son autónomos y los que son pilotados por control remoto. Asimismo, se utiliza el término RPA (Aeronave Pilotada a Distancia) para hacer referencia a las aeronaves no tripuladas que presentan la característica distintiva de ser operadas exclusivamente mediante control remoto.

El funcionamiento de estos sistemas, su clasificación civil y la clasificación adoptada por la OTAN está recogido en el Anexo II.

1.4.2 U-SPACE

Derivada del crecimiento de las operaciones en el espacio aéreo y la masiva inclusión de drones en éste, surgió la necesidad de crear un sistema de gestión de tráfico aéreo en el cual se viesen involucrados los RPAs. Con estos conceptos y con los antecedentes previamente mencionados nace U-Space, una iniciativa de la Comisión Europea que propone un conjunto de servicios novedosos destinados a la integración de estos sistemas con el resto del tráfico aéreo. Este enfoque tiene como objetivo principal lograr una uniformidad en la gestión del tráfico de aeronaves tanto tripuladas como no tripuladas, al tiempo que ofrece una solución que se fundamenta en un elevado grado de digitalización y automatización de funciones.

El denominado “concepto U-Space” engloba un conjunto de sistemas, servicios y procedimientos para permitir el acceso seguro y eficiente al espacio aéreo de un gran número de operaciones de drones. El despliegue del U-Space desarrollará los elementos necesarios para la operación de drones en los llamados espacios aéreos U-Space, conforme a criterios de seguridad, protección, privacidad y medioambiente. (Ministerio de Transporte, Movilidad y Agenda Urbana, 2023)

Se podría llegar a la conclusión de que esto propone una solución análoga al Sistema de Gestión de Tráfico Aéreo (ATM) para la aviación no tripulada, enfocada en el intercambio de información y la conectividad en los servicios aéreos como piedra angular de la estructura. Simultáneamente, busca establecer una interfaz adecuada con la aviación tripulada y los sistemas de control de tráfico aéreo. La creación de esta red integral de servicios se apoya fundamentalmente en la participación de proveedores de servicios dispuestos a ofrecer su asistencia, y, por otro lado, en la digitalización y automatización de todas las funciones involucradas, tanto en las propias aeronaves como en el segmento de control en tierra.

El primer elemento clave que cabe destacar del proyecto son los espacios aéreos U-Space, definidos en el Plan de Acción Nacional para el Despliegue del U-Space (PANDU) (Ministerio de Transporte, Movilidad y Agenda Urbana, 2022) como “volúmenes de espacio aéreo en los que, para garantizar operaciones seguras, eficientes e interoperables, se prestan los servicios de U-Space que se hayan establecido como mínimos y obligatorios en ellos.”



1.4.2.1 SERVICIOS

Los servicios prestados dentro de los espacios aéreos son el pilar sobre el que se basa el proyecto. Se trata de servicios que garanticen un acceso protegido, eficiente y seguro a un elevado número de RPA de manera digitalizada y automatizada. En la figura mostrada a continuación se pueden diferenciar los servicios que ofrece el proyecto para apoyar la posterior explicación de lo que supone para los usuarios cada uno.

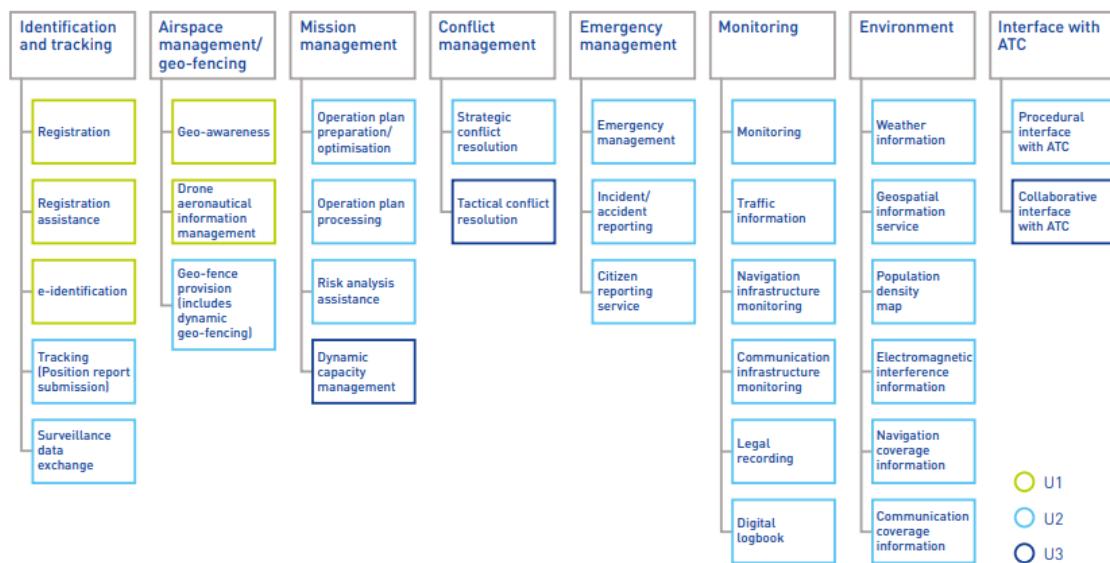


Figura 3. Esquema de los servicios U-Space. Fuente: (SESAR JU, 2020)

Como se puede apreciar en el esquema, cada cabeza de columna representa un objetivo a abordar con la infraestructura U-Space, y de cada objetivo cuelgan los servicios necesarios para cumplir cada uno. Por lo tanto, los principales objetivos son los siguientes:

- Identificación y seguimiento
- Gestión del espacio aéreo y geo-fencing⁴
- Gestión de las operaciones
- Gestión de los conflictos
- Gestión de las emergencias
- Monitorización
- Entorno
- Interacción con ATM

⁴ El geofencing en los drones es un sistema que utiliza tecnología GPS para establecer límites geográficos virtuales, conocidos como “geovallas”, dentro de los cuales los drones pueden operar. (UMILES, 2023)



Si seguimos el código de colores que utiliza SESAR JU podemos diferenciar tres tipos de servicios que a continuación serán explicados:

- Foundation Services (**U1**): Cubren el registro electrónico y la identificación, recopilando Servicio de registro, Servicio de asistencia de registro, Servicio de identificación electrónica, Gestión de información aeronáutica de drones y Geo-Awareness⁵.
- Initial services (**U2**): Se encargan de cubrir la gestión de los sistemas durante todas sus fases de operación. Los servicios más destacados que recoge son Seguimiento, Intercambio de datos de vigilancia, Información dinámica de Geofencing, Asistencia en el plan de operaciones, Resolución estratégica de conflictos, Gestión de emergencias, Información de tráfico, Información meteorológica e Interfaz de procedimiento con el ATC.
- Advanced Services (**U3**): Permiten ejecutar operaciones complejas en entornos con mayor densidad de tráfico. Recoge los servicios de Resolución táctica de conflictos capaz de resolver conflictos durante el vuelo, Interfaz de comunicación con ATC y Gestión de capacidad dinámica, una herramienta que calcula el riesgo en función de las operaciones planificadas en un volumen de espacio aéreo.

Estos son los servicios que SESAR JU recoge dentro de su informe *U-SPACE. Supporting Safe and Secure Drone Operations In Europe* publicado en 2020. Sin embargo, en el Reglamento de Ejecución (UE) 2021/664 quedan recogidos estos servicios de manera más comprimida y diferencia entre aquellos que de manera obligatoria se han de proporcionar en cualquier espacio aéreo U-Space y servicios adicionales que, aunque no son obligatorios, podrían serlo en función de la evaluación de riesgos que se realizará dentro de cada volumen U-Space.

Los servicios obligatorios son los siguientes:

- Servicio de Identificación de Red, encargado de proporcionar a todos los usuarios la identidad de los operadores, ubicación, trayectoria y rumbo de los drones durante su operación.
- Servicio de Geoconsciencia, cuya responsabilidad recae en proporcionar la información sobre limitaciones del espacio aéreo, restricciones temporales y condiciones operacionales.
- Servicio de Autorización de Vuelo, cuyo fin es garantizar que las operaciones realizadas en un mismo volumen aéreo estén libres de conflictos con otros RPA y zonas que puedan tener restricciones.
- Servicio de Información de Tráfico, proporciona información a los operadores sobre otros tráficos tripulados y no tripulados que puedan encontrarse en las proximidades de sus aeronaves.

A continuación, se muestran los servicios considerados adicionales:

- Servicio de Información Meteorológica, de gran utilidad para la planificación y ejecución del vuelo.

⁵ "El servicio de gestión de información aeronáutica de UAS permite a las organizaciones autorizadas a crear, actualizar o eliminar "geofences" y otros datos geográficos en cualquier momento." (SESAR JU, 2020)



- Servicio de Supervisión de la Conformidad, que avisa a los operadores en el momento que se han desviado del perfil de vuelo al que estaban autorizados, así como a otros operadores, a los proveedores de servicios U-Space y a los servicios de tránsito aéreo que operen en el mismo espacio aéreo.

1.4.2.2 PROVEEDORES DE SERVICIOS

Los proveedores de servicios tienen un papel fundamental ya que son los encargados de proporcionar los servicios aeronáuticos para desarrollar cualquier actividad. U-Space cuenta con los proveedores ya existentes en la navegación aérea (Proveedores de Servicio de Navegación Aérea y Proveedores de Servicio de Tránsito Aéreo) y añade la figura de los proveedores de servicios de U-Space (USSP) y los proveedores de servicios comunes de información (CISP), cuyas funciones están reflejadas en el Reglamento de Ejecución (UE) 2021/664.

Los Proveedores de Servicios Comunes de Información están encargados de hacerle llegar a todos los agentes involucrados en el sistema de U-Space toda la información necesaria para su correcto y eficiente funcionamiento. En el caso de España, la figura de proveedor único CIS recae en ENAIRE, por lo que ENAIRE es considerada la única fuente confiable de información común estática y dinámica, y será el elemento de enlace entre los proveedores de servicios U-Space y los proveedores de servicios de tráfico aéreo.

Los Proveedores de Servicios de U-Space prestan los servicios de los que dispone cada espacio aéreo U-Space a los operadores de aeronaves no tripuladas, pudiendo existir un único proveedor o varios en cada unidad de espacio aéreo. Servirán de enlace con los operadores, garantizando la seguridad, la eficiencia y la protección de las operaciones durante todas las fases de las operaciones. Para desarrollar sus funciones se servirán de la información común proporcionada por el proveedor CIS.

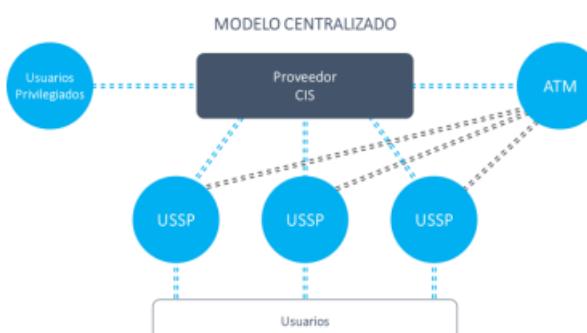


Figura 4. Esquema del modelo centralizado de prestación de servicios U-Space. (Ministerio de Transporte, Movilidad y Agenda Urbana, 2022)

1.4.2.3 ENTIDADES INVOLUCRADAS

El PANDU (Ministerio de Transporte, Movilidad y Agenda Urbana, 2022) destaca el rol y las competencias de las administraciones involucradas en este proyecto, cuya función es de vital importancia en el sector de la aviación tripulada y que ahora extienden competencias para cumplimentar el despliegue del U-Space y la eficiente operación de los RPAs. Dentro de estas se encuentran:



- Dirección General de Aviación Civil (DGAC), cumplirá un rol como regular y apoyado en el Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (MITMA) se encargará de coordinar, tanto nacional como internacionalmente, a los organismos del sector.
- Agencia Estatal de Seguridad Aérea (AES), encargada de garantizar la seguridad y supervisar el cumplimiento de la normativa. Certifica y supervisa a los proveedores CISPs y USSPs, cuyos roles serán explicados más adelante.
- ENAIRE, entidad pública adscrita al MITMA, cumplirá el rol de proveedor único de servicios CISPs, proveedor de servicios de navegación y proveedor de servicios USSP para el sector público.
- Ministerio de Defensa (MINDEF), colaborará con el resto de las organizaciones para conjugar este proyecto con las necesidades de la Defensa Nacional.

1.4.2.4 OTROS ACTORES INVOLUCRADOS

El sistema U-Space incluye, además de las entidades públicas y de los nuevos proveedores de servicios, otros actores protagonistas en este sistema de gestión de tráfico aéreo no tripulado. Para que el despliegue del proyecto tenga éxito, es vital que todas las partes del proyecto y los usuarios conozcan la función del resto de entidades y usuarios. Dicha función será explicada a continuación de la figura que muestra de una manera gráfica a todos estos actores. (Ministerio de Transporte, Movilidad y Agenda Urbana, 2022)



Figura 5. Actores involucrados en U-Space. (Ministerio de Transporte, Movilidad y Agenda Urbana, 2023)

- Proveedores de servicios de tráfico aéreo (ATSPs), son los encargados de gestionar el tránsito aéreo en caso de que otros usuarios necesiten operar en un espacio aéreo U-Space tras una reconfiguración dinámica. En espacio aéreo controlado prestan los servicios ATS a la aviación tripulada y gestiona las reconfiguraciones dinámicas del espacio aéreo. En espacio aéreo no controlado, prestan servicios de información de vuelo.
- Operadores de RPA, son personas físicas o jurídicas con intención de utilizar dispositivos RPA, se puede asemejar a la figura de la compañía aérea en la aviación convencional. Piloto a distancia de RPA, ejecuta, supervisa y monitoriza el vuelo. Propietario del RPA, persona jurídica o física en posesión legal de los RPA.
- Fabricante de RPA, persona jurídica o física que fabrica o diseña un producto y lo comercializa con su marca comercial o nombre.



- Operadores aeroportuarios, respaldan la definición de los procedimientos operativos y la interoperabilidad que asegure la integración de los RPA.
- Fuerzas y Cuerpos de Seguridad, podrían ser usuarios de estos servicios garantizando que en caso de necesitarlo se tenga en cuenta la situación de urgencia en sus operaciones.
- Usuarios de la aviación, relacionados con aeronaves tripuladas y actividades como paracaidismo, y público general que pueda ser afectado por la operación de los RPA.
- Industria de servicios U-Space, que desarrolla productos para hacer realidad la prestación de estos servicios, y asociaciones de RPA que ofrecen asistencia a los usuarios.

1.4.2.5 ESTRUCTURA DEL ESPACIO AÉREO

Dentro de la estructura de U-Space, se diferencia el espacio aéreo controlado y no controlado de la misma manera que ocurre en la aviación convencional. El pilar sobre el que se basa la seguridad de los vuelos en el espacio aéreo U-Space es la segregación de vuelos tripulados y no tripulados. (European Defence Agency, 2023)

Dentro del espacio aéreo U-Space controlado, se gestiona esta segregación realizando reconfiguraciones dinámicas del espacio aéreo que aseguran que las aeronaves tripuladas que reciben servicios de control de tráfico aéreo permanezcan separadas de los drones.

Dentro del espacio aéreo U-Space no controlado, los proveedores USSP se apoyan en la combinación de distintos servicios U-Space como la autorización de vuelo de RPAs, geoconsciencia e información de tráfico para informar a los tráficos involucrados y permitir su operación segura.

1.4.2.6 OBJETIVOS GENERALES DEL PANDU

El MITMA refleja los objetivos que se han de cumplir para organizar el desarrollo y despliegue efectivo del sistema U-Space en el territorio nacional. (Ministerio de Transporte, Movilidad y Agenda Urbana, 2022)

El primer objetivo se enfoca en la implementación de regulaciones relacionadas con el espacio aéreo en el contexto de sistemas no tripulados (UAS), según las directrices de la Comisión Europea. Los Estados deben designar zonas geográficas como espacios aéreos U-Space, de acuerdo con el artículo 18(f) del Reglamento de Ejecución (UE) 2021/664 que marca las Tareas de las autoridades competentes “*establecerán un mecanismo para coordinar con otras autoridades y entidades, también a nivel local, la designación del espacio aéreo U-Space, el establecimiento de restricciones del espacio aéreo para los UAS dentro del espacio aéreo U-Space y la determinación de los servicios de U-Space que se prestarán en el espacio aéreo U-Space*”. Se destaca la colaboración con las administraciones públicas, incluyendo niveles autonómicos y municipales, a través del Grupo de Trabajo Nacional de Zonas Geográficas.

El segundo objetivo aborda la decisión sobre el modelo de prestación de servicios de U-Space a nivel nacional. España y otros Estados abogan por un único proveedor centralizado de servicios de información común que, como previamente se ha mencionado, en el territorio nacional es ENAIRE. Se argumenta a favor de este modelo en términos de coordinación, seguridad y eficiencia.

El tercer objetivo busca promover la puesta en marcha de servicios de U-Space y de servicios comunes de información. Se destaca la participación en la definición de requisitos y en el desarrollo normativo y técnico de estos servicios. También se menciona la certificación de proveedores y la infraestructura necesaria.



El cuarto y último se centra en establecer mecanismos de cooperación y colaboración entre diversas administraciones, incluyendo actores civiles y militares a nivel local, autonómico y nacional. La DGAC asume un papel de liderazgo a través del Grupo de Trabajo Nacional de U-Space y se resalta la importancia de la transparencia y la difusión del plan, especialmente entre las administraciones autonómicas y locales debido al carácter urbano del sistema.

1.4.3 ESTADO ACTUAL DESARROLLO U-SPACE

Tras la publicación de los paquetes de regulación U-Space y su posterior entrada en vigor en enero de 2023, el desarrollo de las infraestructuras y su puesta en marcha se han acelerado notoriamente. Los Estados miembros están trabajando en su entrada en servicio mediante la publicación de estrategias y hojas de ruta nacionales, como es el caso de España que publicó el PANDU.

Algunos Estados están realizando estudios para la designación de espacios aéreos U-Space y para establecer los procedimientos en los que se van a proporcionar los servicios a los actores que participen en ellos.

Aquellos Proveedores de Servicios de Navegación Aérea (ANSP) que hayan sido designados como CISPs (para el caso nacional ENAIRE) están trabajando para definir los procedimientos y estructuras que les van a facilitar la recopilación de datos y su distribución a los diferentes USSPs en cada espacio aéreo. En los Estados en los que no se ha designado un proveedor CIS, los ANSP están preparando los procesos de certificación para ser acreditados como tal. Por el momento no se ha designado ningún USSP, lo que supone un desafío importante para la definición de los procesos de coordinación. (European Defence Agency, 2023)



DESARROLLO: ANÁLISIS Y RESULTADOS

Durante un largo período, tanto actores de la aviación civil como los de la militar han acabado llegando a la conclusión de que es necesario instaurar un marco normativo unificado que garantice un aprovechamiento seguro y eficiente del espacio aéreo. Esta cooperación se extiende desde la fase de investigación y desarrollo hasta la ejecución de las operaciones aéreas, siguiendo una serie de principios como la interoperabilidad y el flujo de información.

En la 13^a Conferencia de la Navegación Aérea de la OACI se destacó la idea de que esta colaboración cobra especial relevancia cuando se trata de las operaciones en espacio aéreo de muy bajo nivel. (OACI, octubre, 2018)

Por ello, aunque en el Reglamento de Ejecución (UE) 2021/664 esté reflejado que en el U-Space quedan excluidas las operaciones de aeronaves militares y estatales, se garantiza su seguridad en caso de tener que ser realizadas dentro de estos espacios aéreos y además se reconoce la importancia de la colaboración de las autoridades militares en la toma de decisiones de coordinación y en la designación de espacios aéreos U-Space.

Sin embargo, no todo sucede según lo planeado ya que los intereses militares no siempre pueden anteponerse a los intereses de un mercado exigente y competitivo. Es por ello por lo que la European Defence Agency (EDA) afirma lo siguiente: *“El ejército tuvo más bien un papel de observador en la fase de I+D de U-Space, lo que conlleva el riesgo de que el U-Space no aborde completamente los requisitos militares o retenga soluciones que no sean compatibles con los objetivos u operaciones militares.”* (European Defence Agency, 2023)

1.5 ANÁLISIS DAFO

La Universidad de Cantabria define el análisis DAFO como una herramienta que consiste en la evaluación de los puntos fuertes y débiles internos con las amenazas y oportunidades externas, dado que debe concluir en una estrategia que consiga lograr el encaje entre sus capacidades internas y los factores externos. (Universidad de Cantabria, 2014)

Para esta evaluación se plantea el hipotético caso en el que las aeronaves militares estuvieran integradas dentro del espacio aéreo U-Space con los conocimientos, tecnología y procedimientos aeronáuticos de los que disponen y con los que trabajan en la actualidad. De esta manera se pueden observar de una manera más objetiva las debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades que tendrían que afrontar o aprovechar tanto los proveedores USSP como la aviación militar para poder llevar a cabo esta integración de la manera más eficiente y segura.

A continuación, en la Figura 6 se mostrará de manera gráfica el DAFO y posteriormente se desarrollará cada uno de los puntos que están reflejados en él, explicando cómo se ha llegado a esa conclusión. Cabe destacar que, aunque muchos puntos están relacionados entre sí pueden llevar a distintas conclusiones en función de las condiciones en las que se opere o de los actores involucrados.



DEBILIDADES	AMENAZAS
D1. Falta de procedimientos estandarizados D2. Derecho militar de no ser visible D3. Alto grado de automatización D4. Necesidades tecnológicas / Costes adicionales D5. Complejidad del U-Space	A1. Puede suponer riesgos para la gestión del tráfico aéreo A2. Riesgos para la seguridad cibernética militar.
FORTALEZAS	OPORTUNIDADES
F1. Ya existen lazos de cooperación civil-militar en la aviación convencional F2. Mayor seguridad en vuelo F3. Mejora en la gestión del espacio aéreo F4. Mayor eficiencia en el planeamiento y desarrollo de las operaciones militares	O1. Aprovechamiento de las nuevas tecnologías móviles O2. Mejoras en la gestión del tráfico aéreo a bajo nivel

Figura 6. Análisis DAFO. Fuente propia

1.5.1 DEBILIDADES

En este apartado se desarrollan las causas y situaciones hipotéticas que han llevado a señalar estas conclusiones como puntos débiles, incluyendo también una posible solución si se ha podido encontrar. Se entienden por debilidades puntos que no están definidos, posibles situaciones que puedan comprometer el normal desarrollo de las operaciones aéreas, y costes en los que incurren tanto el proyecto U-Space como el ejército en el caso de que esta situación ocurra.

1.5.1.1 FALTA DE PROCEDIMIENTOS ESTANDARIZADOS

La integración de las operaciones aéreas militares en el U-Space propicia un choque entre dos procedimientos de operación ya que el ámbito militar que participaría en estos espacios opera de manera normalizada en espacios aéreos no controlados y a baja altitud, mientras que el U-Space propone un control completo de todas las operaciones que tienen lugar dentro de sus estructuras.

Debido a este contraste es necesario que se establezcan estándares y procedimientos que unifiquen y coordinen estos dos diferentes contextos de operación. Esta estandarización ha de recoger de manera clara y precisa procedimientos para momentos críticos en la aviación como son la transferencia de control entre los distintos ATS cuya zona de responsabilidad acoja



espacios aéreos U-Space, procedimientos de entrada y salida de los espacios aéreos y procedimientos de comunicación entre servicios militares de gestión del tráfico aéreo y los proveedores CIS y USS.

Los procedimientos de comunicación se han de proponer con el fin de estandarizar los mensajes electrónicos de notificación, la coordinación y la transferencia de información entre entidades militares y civiles convencionales y las propias del U-Space.

1.5.1.2 DERECHO MILITAR DE NO SER VISIBLE

La seguridad en los entornos U-Space se basa en la detección electrónica de todas las aeronaves que operan dentro de sus estructuras para garantizar operaciones seguras en un espacio aéreo limitado y compartido. Para que los servicios de gestión puedan desarrollar sus cometidos dentro del U-Space, todas las aeronaves deben ser conspicuas electrónicamente⁶.

“Los objetivos y restricciones militares deben formar parte del desarrollo de U-Space. Se destaca el derecho a no ser conspicuo para los USSP” (European Defence Agency, 2023) Este derecho con el que cuentan las aeronaves pertenecientes a las FFCCSS puede suponer un problema para los proveedores de servicios de U-Space ya que es la única manera que tienen de detectar el tráfico aéreo tripulado que no está bajo un servicio de control aéreo, es decir, que opera en espacios aéreos no controlados, volúmenes donde tienen lugar las operaciones tácticas de los helicópteros.

Por lo tanto, los servicios U-Space no son capaces de garantizar la información de los tráficos militares a todos los usuarios, sólo a aquellos con roles específicos. Entonces, la separación entre vuelos se tiene que conseguir mediante otros mecanismos, tales como la comunicación y coordinación entre las autoridades de control militar y los USSP, la detección y evitación de drones por parte de las aeronaves militares y viceversa.

1.5.1.3 ALTO GRADO DE AUTOMATIZACIÓN

En el PANDU publicado por el MITMA se refleja que el objetivo que tiene el U-Space es la integración segura y gestión automatizada de los RPA de tal manera que se habiliten un mayor número de operaciones simultáneas, especialmente en el espacio aéreo de baja altitud (VLL), en entornos urbanos (UAM) y en convivencia con el sistema de gestión de tráfico aéreo ya existente para la aviación tripulada. (Ministerio de Transporte, Movilidad y Agenda Urbana, 2022)

Esto implica que en muchas gestiones y en coordinación de operaciones no existirá una figura humana que autorice operaciones o resuelva incidentes en vuelo. Es por ello, que los aspectos relacionados con los factores humanos en las operaciones que impliquen la necesidad de los servicios del U-Space han de ser estudiados con anterioridad, haciendo mayor énfasis en las operaciones que requieran coordinación urgente como misiones de emergencias.

Estas misiones requieren en muchos casos de la reconfiguración dinámica del espacio aéreo (DAR) para garantizar la segregación entre aeronaves tripuladas y no tripuladas debido a su carácter de urgencia y a la prioridad que se les otorga en la gestión de operaciones aéreas. Esto consiste en limitar temporalmente los límites, tanto verticales como horizontales, de los

⁶ Conspicuidad electrónica se refiere a la capacidad de una aeronave o vehículo para ser detectado y reconocido electrónicamente por otros dispositivos o sistemas, como radares, sistemas de vigilancia, u otras aeronaves, sin depender únicamente de observación visual.



volúmenes aéreos que están habilitados para el vuelo de RPAs, de tal manera que se cree un espacio libre de drones que puede ser aprovechado para desarrollar el vuelo seguro de las aeronaves militares.

La reconfiguración comienza con la notificación de esta necesidad al CISP y a los USSPs relevantes en el volumen aéreo que se requiere (Figura 7).

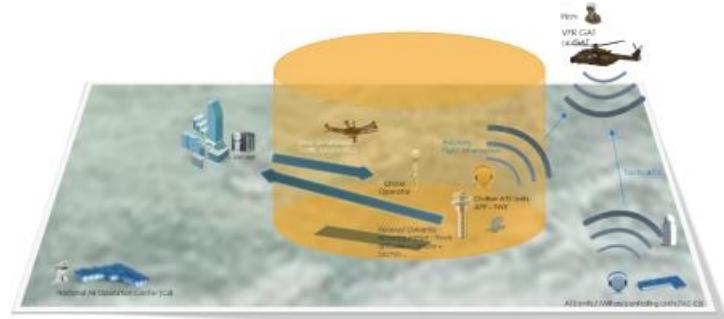


Figura 7. Petición restricciones de espacio aéreo DAR. Fuente: (European Defence Agency, 2023)

De esta manera se realizan los cambios en los límites del espacio aéreo restringido para el vuelo de drones y los proveedores de servicios hacen llegar esta nueva información a todos los usuarios (geo-awareness). Esta restricción se puede realizar de manera que se habilite un corredor seguro para la aeronave (Figura 8), se reserve un volumen de altitud (Figura 8) o un sector completo del volumen U-Space (Figura 10). Estas reconfiguraciones se realizan de la misma manera en espacio aéreo controlado y no controlado. (European Defence Agency, 2023)

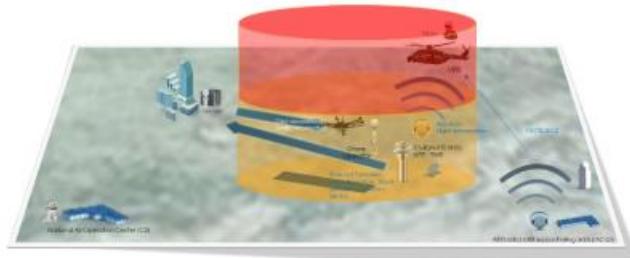


Figura 8. Reserva de volumen de altitudes determinadas DAR. Fuente: (European Defence Agency, 2023)

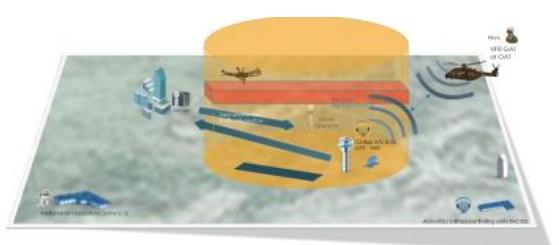


Figura 9. Reserva de corredor aéreo DAR. Fuente: (European Defence Agency, 2023)

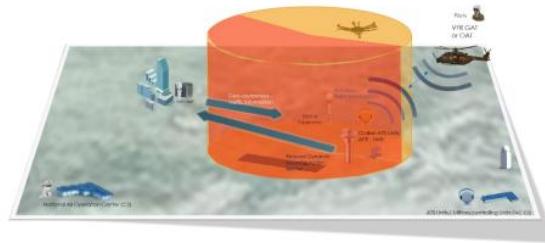


Figura 10. Reserva de sector aéreo DAR. Fuente: (European Defence Agency, 2023)

Los servicios que proporciona U-Space benefician de manera sustancial la conciencia situacional de todos los usuarios que operan dentro de estos espacios aéreos. Para estos casos



cabe destacar servicios como geo-awareness que informa de las modificaciones en el espacio aéreo, la información de tráficos en las proximidades de los distintos RPAs, la representación del vector de vuelo de los RPAs que informa a las autoridades militares del resto de tráficos operando en la zona o la posibilidad de denegar un plan de vuelo en función de la situación que se encuentre la zona en la que se vaya a operar.

Sin embargo, el elevado nivel de automatización que está previsto para las operaciones en U-Space supone notables problemas para los factores humanos. En este caso resulta fácil pensar que no va a ser factible transmitir los procedimientos y métodos de trabajo existentes en la aviación convencional dado que no existe la figura humana en estos proveedores. Esta ausencia de figura humana deja la posibilidad de que el sistema de gestión no contemple todos los posibles casos y pueda resultar en un bloqueo o una respuesta no eficaz que no asegure la separación de aeronaves en estas situaciones.

En cuanto a la gestión de factores humanos⁷, en situaciones de estrés las personas pueden experimentar una disminución de sus capacidades cognitivas. Esto sumado a una interfaz poco intuitiva, puede llevar a una comunicación ineficaz en la que las instrucciones compartidas a un sistema automatizado pueden ser imprecisas y resultar en un malentendido.

A esta situación se suma la falta de definición de los procedimientos de comunicación entre las autoridades de control militares y civiles, explicado previamente.

1.5.1.4 NECESIDADES TECNOLÓGICAS Y COSTES ADICIONALES GLOBALES

La implantación del entorno U-Space se basa en principios similares a los que establece la cooperación civil-militar en la aviación convencional mencionados anteriormente en la introducción al desarrollo. SESAR está llevando a cabo una investigación para sentar las bases de la futura relación entre los Proveedores de Servicios U-Space y los Proveedores de Servicios de Tráfico Aéreo Civiles (ATSPs). (European Defence Agency, 2023)

No obstante, no está contemplada la interacción de la fuerza militar con el U-Space en un plano organizativo y operativo, lo que lleva a dudas sobre la naturaleza que esta interacción tendría. En este contexto, dicha interacción podría articularse mediante dos cauces predominantes, la mediación desempeñada por los ATS de gestión civil, o mediante el establecimiento de una interfaz⁸ directa entre las fuerzas armadas y el paradigma U-Space. (European Defence Agency, 2023)

El primer enfoque podría suponer una disminución de la eficiencia en la gestión de las operaciones ya que supone la presencia de un intermediario que puede resultar en la pérdida de información, ralentizar las comunicaciones y por lo tanto la gestión de la operación que se esté llevando a cabo. Además, si actúa un intermediario ha de conocer el funcionamiento del U-Space para el correcto entendimiento de los mensajes que está trasmitiendo, por lo que tendría que

⁷ Los factores humanos se ocupan de diversos elementos del sistema aeronáutico que incluye: comportamiento y desempeño humano, toma de decisiones, diseño de mandos y presentaciones, ergonomía de cabina, comunicaciones, mapas, cartas y documentación; así como el perfeccionamiento y formación del personal. (Lozano Alvernia, 2008)

⁸ Def. Interfaz: Dispositivo capaz de transformar las señales generadas por un aparato en señales comprensibles por otro.



recibir una formación adicional para gestionar estas operaciones.

El segundo enfoque plantea una inversión por parte del sector militar en el desarrollo y puesta en marcha de la interfaz que transmita la información directamente a las aeronaves interesadas o a las dependencias de control militares para, posteriormente distribuirlas a los operadores militares interesados.

En el caso de distribuirlas directamente a los usuarios interesados cabe destacar que los sistemas equipados en las aeronaves de estado están pensados para cumplimentar las tareas que realizan en la actualidad, esto implica que no en todos los casos sería posible incorporar, debido al espacio limitado en la estructura de la aeronave o por conflictos que pueden surgir con otros sistemas ya existentes en la aeronave, como por ejemplo: equipos de ATM, Comunicación, Navegación y Vigilancia (CNS) o UTM⁹ a bordo. (European Defence Agency, 2023)

Actualmente, el sistema de identificación en la aviación militar tripulada es el transpondedor cuyo funcionamiento consiste en la recepción de una señal de interrogación por parte de las estaciones de ATS en una frecuencia de 1030 MHz y emite su respuesta en una frecuencia de 1090 MHz. Esta respuesta para los modos designados para el uso de las fuerzas OTAN (C y S) ofrece la altitud barométrica de la aeronave.

Además, la EDA afirma que no existe un requisito tal que obligue a las aeronaves tripuladas ni a los drones a que estén equipados con sistemas colaborativos de detección y evitación electrónica fuera del espacio aéreo U-Space. Esto impediría la creación de una imagen de tráfico realista fuera de estos espacios e implica que la prevención de colisiones, para los vuelos aprobados por SORA¹⁰, dependen de la habilidad del piloto de la aeronave tripulada para detectar drones que operan fuera de la línea de visión (BVLOS). (European Defence Agency, 2023)

Por lo que la incorporación de sistemas determinados en las aeronaves para cumplir con los requisitos que garantizan la conspicuidad electrónica en los espacios aéreos U-Space no controlados es otro factor que supone costes adicionales. Los AMC/GM (Medios de Cumplimiento Aceptables y Material de Orientación) recomiendan sistemas alternativos que cumplen con los requisitos de transferencia de información mínima:

- ADS-B¹¹ Out es un sistema de vigilancia de aeronaves que se basa en que las aeronaves transmiten automáticamente información sobre su posición, velocidad, altitud y otros datos relacionados a través de señales de radio a otros aviones que cuenten con ADS-B In y a estaciones en tierra, como las instalaciones de control de tráfico aéreo. (Embention, 2022)
- Sistemas que transmiten en Short Range Device (SRD), se refiere a una porción específica del espectro de radiofrecuencia reservada para dispositivos de corto alcance. Especifica la frecuencia de 860 MHz perteneciente a sistemas Ultra High Frequency (UHF).

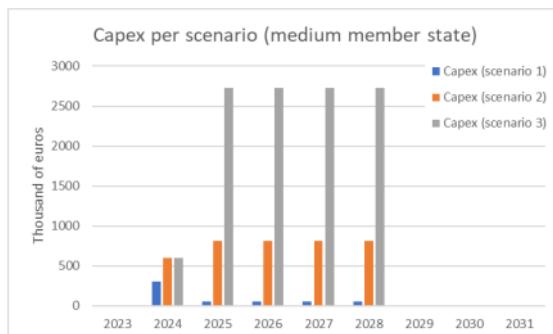
⁹ Unmanned Traffic Management. Se refiere a sistemas que reciben instrucciones correspondientes a la gestión de tráficos aéreos no tripulados.

¹⁰ Explicado en Anexo I.

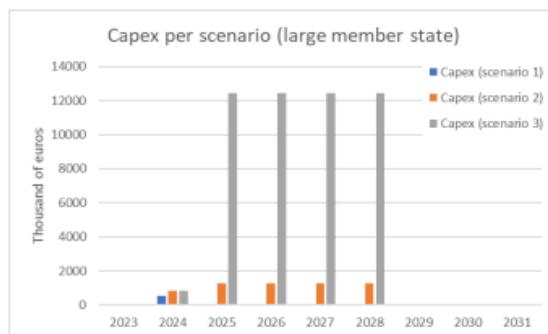
¹¹ Automatic Dependent Surveillance-Broadcast.



Para evaluar el balance de costes-beneficios que supondría para las autoridades militares involucradas la implantación del U-Space, la EDA realizó un estudio en el cual se valoraron los costes que resultan de la realización de estudios sobre seguridad, ciberseguridad y riesgos con el correspondiente coste que deriva de las medidas de mitigación. En este documento también se incluyen los costes del desarrollo de procedimientos estandarizados para la interacción entre autoridades civiles y militares y los gastos en los sistemas necesarios para actuar en los tres escenarios que se plantean. (European Defence Agency, 2023)



Gráfica 1. Costes anuales según escenarios de integración para un Estado mediano. Fuente: (European Defence Agency, 2023)



Gráfica 2. Costes anuales según escenarios de integración para un Estado grande. Fuente: (European Defence Agency, 2023)

El primer escenario implica una colaboración militar mínima, de tal manera que las autoridades al mando de las operaciones aéreas militares colaboran en la gestión estratégica¹² y pre-táctica¹³ del espacio aéreo, que implica aspectos como la emisión de AIP o NOTAM para el espacio aéreo de muy bajo nivel (VLL). Los gastos que se tiene en cuenta en este escenario son aquellos correspondientes a la adopción de procesos, actualización de manuales y a la formación de personal.

En el segundo escenario se asume que los ejércitos de los Estados miembros colaboran activamente en la puesta en práctica del U-Space, lo que requiere una inversión en hardware y software de ATM para facilitar el intercambio y la visualización de información relacionada con U-Space, así como comunicaciones modificadas y procesos operativos dentro de la organización y hacia CISP/USSP. Además, el ejército contribuye a la implementación del proceso de DAR en el espacio aéreo controlado y proporciona datos de tráfico a los USSP.

En el tercer escenario se da la colaboración militar explicada en el anterior escenario, y además se añade el requisito para las aeronaves no tripuladas de hacerse conspicuas para el USSP, lo que requiere nuevos equipos y medios.

¹² Explicado en Anexo I.

¹³ Explicado en Anexo I.



Es interesante apreciar como el primer escenario supone un gasto inicial ya que se haría en el momento de modificar procedimientos y manuales, el segundo escenario se mantiene aproximadamente constante el gasto a lo largo de los años, y el tercer escenario eleva de manera significativa los costes durante los años posteriores a la integración, dado que consiste en aplicar todo lo expuesto en los anteriores escenarios y, además adquirir los sistemas necesarios y mantenerlos durante los años de uso.

1.5.1.5 COMPLEJIDAD DEL U-SPACE

Como se ha podido comprobar durante la realización de este trabajo, la estructura del U-Space es compleja e involucra numerosos actores desconocidos que desempeñan funciones de vital importancia para el funcionamiento del sistema. Además, en el caso de que se decida el uso de los servicios U-Space por parte de las aeronaves militares, se añaden los procedimientos correspondientes a la interacción con estos espacios aéreos mencionados anteriormente.

Toda esta información es indispensable para un usuario que quiera operar en estos espacios, y no es suficiente con conocer las fuentes de reglamentación ya que surgen inquietudes que han de ser resueltas con anterioridad a la interacción con el sistema. En el caso de las FFCCSS es de vital importancia conocer cómo se va a desarrollar esta interacción y tener automatizados los procedimientos para disminuir el riesgo que ya de por sí suponen las misiones que realizan.

Debido a esto, sería conveniente plantear la impartición de cursos de formación en el uso del U-Space para operadores civiles y, de manera especializada, para operadores de RPA, pilotos de aeronaves militares y los integrantes de las unidades de control militares y civiles que han de conocer los procedimientos de comunicación y de interacción entre ellos y con los tráficos que operan dentro de estos volúmenes.

1.5.2 FORTALEZAS

En este apartado se desarrollan las causas y situaciones hipotéticas que han llevado a señalar estas conclusiones como fortalezas en la integración. Se entienden por fortalezas aquellos aspectos que facilitan la creación de la normativa necesaria para la colaboración entre autoridades civiles y militares o situaciones que suponen, durante el uso de los servicios U-Space por el ejército, beneficios en materia de seguridad y eficiencia para las aeronaves militares.

1.5.2.1 ANTECEDENTES EN LA COOPERACIÓN CIVIL Y MILITAR

La cooperación civil-militar en la aviación es un componente crítico para asegurar la seguridad y eficiencia de las operaciones aéreas. Esta colaboración abarca varios aspectos clave que se han de replicar para la gestión del U-Space siguiendo guías similares dado el buen resultado de la actual colaboración.

En primer lugar, el Control del Tráfico Aéreo (ATC) requiere una estrecha cooperación entre las entidades civiles y militares. Ambas comparten la responsabilidad de dirigir las aeronaves en el espacio aéreo, tanto militares como civiles. La gestión del espacio aéreo es otro ámbito en el que la colaboración es fundamental, que abarca la designación de rutas aéreas, la programación de ejercicios militares y la administración de zonas de restricción.

La seguridad aérea es un aspecto crucial, donde la cooperación es esencial para prevenir incidentes y garantizar la seguridad del espacio aéreo. Para garantizar la seguridad en todas las operaciones es necesario compartir información sobre amenazas potenciales y llevar a cabo ejercicios conjuntos de respuesta a emergencias como rescates y búsquedas.



La elaboración de regulaciones y normativas es generalmente responsabilidad de la autoridad civil, que establece las normas que rigen la aviación, no obstante, en el caso del U-Space queda recogido en el Reglamento de Ejecución (UE) 2021/664 la colaboración de las autoridades militares en la toma de decisiones de coordinación de espacios aéreos U-Space.

En cuanto al ámbito de Investigación y desarrollo, las autoridades militares y civiles trabajan conjuntamente en proyectos relacionados con tecnologías que pueden suponer una mejora en los sistemas actuales de navegación, comunicaciones o en las estaciones de control en tierra.

1.5.2.2 MAYOR SEGURIDAD DURANTE LAS OPERACIONES

Para llegar a esta conclusión se han analizado como influirían en esta situación hipotética de integración los distintos servicios que ofrece el U-Space.

El servicio de Geo-Awareness ofrece a los usuarios la información acerca de las limitaciones en el espacio aéreo con el objetivo de salvaguardar las operaciones estatales y militares en curso. Este servicio asegura que los usuarios que van a operar en un espacio aéreo conocen sus limitaciones, lo que se refleja en una mejor conciencia situacional. Además, en el contexto de Misiones de Servicio Público, los pilotos militares y operadores de drones pueden solicitar restricciones en el espacio aéreo a los Proveedores de Servicios de Sistemas U-Space. Esto contribuiría a delimitar geográficamente las áreas de operación, mejorando la seguridad de los activos militares que están desarrollando estas misiones.

El servicio de autorización de vuelo para sistemas de aeronaves no tripuladas debe garantizar la ausencia de intersecciones en espacio y tiempo entre las operaciones de RPA. Este servicio se emplea antes del vuelo para solicitar y obtener autorización de los USSPs para operaciones de drones, resultando en una mejora de la seguridad ya que pueden rechazar solicitudes en función de restricciones resultantes de una reconfiguración dinámica o de operaciones militares cercanas.

El servicio de identificación de red identifica a los operadores de RPA junto con su vector de vuelo y ubicación durante sus operaciones, lo que reporta un beneficio en pro de la seguridad al conocer la ubicación y la dirección del resto de sistemas que están operando en el mismo espacio aéreo que los vuelos militares.

El servicio de información de tráfico alerta a los usuarios sobre otros tráficos que puedan estar operando próximos a su sistema, lo cual reporta un beneficio directo para la conciencia situacional de todos los usuarios.

1.5.2.3 MEJORA EN LA GESTIÓN DEL ESPACIO AÉREO

Para obtener esta fortaleza se ha realizado el mismo ejercicio que en el apartado anterior. Por mejora en la gestión del espacio se entiende simplificar el trabajo a las entidades de control del tráfico aéreo tanto civiles como militares, e incluso en algunos casos facilitar su coordinación.

El servicio de geo-awareness simplificará el manejo estratégico y pre-táctico del espacio aéreo ya que las autoridades militares pueden promulgar restricciones para proteger las operaciones de vuelo estatales y militares y esta información es proporcionada directamente a los usuarios. Además, los controladores militares también reciben esta información sobre las restricciones lo que favorece su conciencia situacional.

El servicio de autorización de vuelo reducirá el número de conflictos a gestionar durante el vuelo ya que permite a los controladores aéreos denegar la autorización de vuelo de acuerdo con las restricciones y los tráficos aéreos que se encuentren en el espacio en el que quieran operar.



El servicio de identificación de red favorece la conciencia situacional de los controladores ya que les permite conocer la ubicación y vector de vuelo de los vuelos de drones próximos a los vuelos bajo su responsabilidad. Además, favorece el control de tráficos que de manera desapercibida se estén dirigiendo a zonas restringidas o estén abandonando el espacio aéreo al que estaban autorizados.

El servicio de información de tráfico en este caso es un servicio destinado a los usuarios operadores, no a controladores tácticos, por lo que no supone un beneficio para la gestión.

1.5.2.4 MAYOR EFICIENCIA EN PLANEAMIENTO Y DESARROLLO DE OPERACIONES

Para obtener esta conclusión se ha realizado el mismo ejercicio de “simulación” que anteriormente. Por mayor eficiencia en el planeamiento y desarrollo de las operaciones se entiende información que facilite el planeamiento y servicios que garanticen la conciencia situacional durante las operaciones.

El servicio de geo-awareness reporta un beneficio en el planeamiento ya que permite conocer el espacio aéreo en el que se va a operar, y asegura que no habrá operaciones ajenas en los espacios que se reserven.

El servicio de autorización de vuelo mejora la planificación de los vuelos y su desarrollo creando una mejor conciencia situacional de las operaciones que se van a desarrollar simultáneamente en el mismo espacio aéreo.

El servicio de identificación de red supone una mejora en el desarrollo de las operaciones ya que ubica al resto de sistemas garantizando una mejor conciencia situacional.

El servicio de información de tráfico mejora la eficiencia en el desarrollo de las operaciones ya que ofrece información de tráficos próximos, y se refleja de manera clara en operaciones nocturnas, ya que facilita la detección de helicóptero por parte de los operadores de drones.

1.5.3 OPORTUNIDADES

En este apartado se desarrollan las causas y situaciones hipotéticas que han llevado a señalar estas conclusiones como oportunidades que surgen de esta cooperación. Se señalan oportunidades que ofrece el mundo civil para subsanar algunas de las debilidades expuestas anteriormente y beneficios que se obtienen de esta colaboración fuera de los espacios aéreos U-Space.

1.5.3.1 APROVECHAMIENTO DE LAS TECNOLOGÍAS

Las tecnologías móviles pueden ser utilizadas para crear aplicaciones que propongan una interfaz que permita la transmisión de los servicios al ejército. Este tipo de interfaz podría involucrar sistemas de comunicación, vías para el envío de documentación y que proponga facilidades para la reserva de espacios aéreos en las misiones de emergencias.

Estos datos pueden incluir información sobre el tráfico aéreo, condiciones meteorológicas, ubicación de aeronaves, imágenes y video en tiempo real, entre otros. La transmisión de estos datos puede ser crucial para la gestión de operaciones militares, la toma de decisiones estratégicas y la seguridad en el espacio aéreo.

De esta idea surgen proyectos como ACRE (Área de Control Restringido de Emergencias), llevado a cabo por Vig-Sec Drone. Este proyecto en fases avanzadas de su desarrollo tiene la ambición de ejercer un rol de mediador entre el CISP definido en España (ENAIKE) y las



operaciones de aeronaves de estado. La entrevista con Rubén Gil Fontán, integrante del proyecto, ha arrojado luz sobre esta innovadora idea.

Los desarrolladores, conocedores de los servicios que ofrece U-Space y de las limitaciones que presenta en cuanto a la gestión de operaciones militares y de emergencias, han elaborado una interfaz de uso exclusivo para aeronaves de estado.

Esta interfaz recoge la información que proporcionan de manera obligatoria los USSPs y se la ofrece al operador en un dispositivo móvil. La información disponible incluye una representación visual de las áreas de operación de drones, volúmenes U-Space, aeronaves no tripuladas, obstáculos para el vuelo a bajo nivel e incluso representa en tiempo real las reconfiguraciones dinámicas del espacio aéreo. Además, incluye un geo-fencing efectivo para los drones que operen en áreas bajo su control, es decir, con capacidad para inhabilitar y detener aquellos drones que se salgan de su zona de operación habilitada.

El proyecto incluye la figura de un coordinador del tráfico aéreo no tripulado que solventa el problema relativo a una alta automatización expuesto anteriormente en el apartado 4.1.1.3. El controlador, conocedor de las aeronaves que operan bajo su responsabilidad, dispone de un sistema que ofrece datos acerca de la maniobrabilidad de los sistemas en el espacio aéreo que le ayuda a ordenar maniobras de contingencia en caso de ser necesario. Tras esta orden, el operador del sistema tiene un tiempo definido de reacción que, en caso de no cumplir la orden, pasa a realizar una respuesta automatizada.

Como se ha mencionado anteriormente, ACRE pretende ejercer de mediador entre ENAIRE y las aeronaves de estado, conociendo el lenguaje de programación que utiliza el CISyP y transmitiendo la información de esa manera. En las operaciones militares en las que se reserve el derecho de no ser visible, sólo ACRE conocerá la posición y los datos de la aeronave y, en función de esta información podrá reservar pasillos, sectores y/o volúmenes de seguridad. De esta manera, no se revela a todos los tráficos la información crítica de las operaciones militares y se evita detener por completo la actividad aérea en el momento que una aeronave tripulada entre en un área de operación de drones.

Incluye además una solución a la adquisición de sistemas adicionales de conspicuidad, ya que las aeronaves pueden transmitir su posición a ACRE mediante redes de telefonía móvil, comunicación satélite o mediante una radiobaliza que, en el momento que es activada activa el protocolo de emergencia. Este protocolo reconfigura dinámicamente el espacio aéreo y activa corredores de seguridad mediante los algoritmos disponibles para alejar las aeronaves en estas situaciones del resto de tráficos.

1.5.3.2 MEJORA DE LA GESTIÓN DE TRÁFICO AÉREO A BAJO NIVEL

Los espacios aéreos U-Space proponen un sistema de gestión de control de aeronaves que vuelan a bajo nivel que, si expanden estos servicios a las aeronaves de estado, pueden resultar en un mayor control de todos los tráficos aéreos a bajo nivel.

Esto sería así siempre y cuando las aeronaves militares comparten también su información de posición operando fuera los volúmenes U-Space para, en beneficio de su seguridad, conocer la información relativa a los sistemas que operan en sus proximidades.

Es cierto que compartir este tipo de información conlleva su riesgo explicado en el apartado de amenazas, sin embargo, los beneficios que se obtienen son sustancialmente importantes en materia de seguridad en vuelo y eficiencia en la gestión de tráficos aéreos a bajo nivel.



1.5.4 AMENAZAS

En este apartado se desarrollan las causas y situaciones hipotéticas que han llevado a señalar estas conclusiones como amenazas que pueden surgir de la integración militar en estos servicios. Se entienden por amenazas aquellas consecuencias negativas que pueden afectar a las operaciones militares ajenas a la interacción con el U-Space o a actores completamente ajenos al U-Space.

1.5.4.1 RIESGOS DE SEGURIDAD

La interacción no regulada entre aeronaves militares y drones en el contexto de U-Space en espacios no controlados plantea preocupaciones significativas en términos de seguridad aérea. Esta situación puede aumentar el riesgo de colisiones y otros incidentes de seguridad en el espacio aéreo. La implantación del U-Space, que puede resultar en un aumento considerable en el número de operadores de drones, también conlleva el riesgo de saturar el espacio aéreo, lo que no es beneficioso para la gestión de operaciones militares.

En particular, el posible desarrollo de proyectos de Urban Air Mobility (UAM), que proponen la integración de aeronaves no tripuladas y eventualmente aeronaves tripuladas, en el espacio aéreo de áreas urbanas o metropolitanas para transportar personas o mercancías de manera eficiente y sostenible (EASA, 2021), plantean desafíos adicionales en áreas con alta densidad de tráfico aéreo controlado, como podría ser el caso de una ciudad como Madrid. La creación de zonas de U-Space en áreas metropolitanas podría crear situaciones en las que los drones abandonen las áreas habilitadas para sus operaciones, y actualmente no existe una herramienta certificada para detener estas aeronaves de manera inmediata.

Aunque se presume que los usuarios de la aeronáutica actúan en concordancia con las normativas de seguridad aérea y regulaciones aplicables para obtener las licencias correspondientes, existe la posibilidad de que se produzcan salidas no autorizadas de su espacio de operación, lo que podría comprometer la seguridad aérea y poner en riesgo a la población cercana a estas áreas.

1.5.4.2 RIESGOS EN SEGURIDAD CIBERNÉTICA

En la evaluación de los beneficios potenciales de los servicios en el marco U-Space en el contexto militar, se presupone que los militares están utilizando activamente servicios como la identificación de red y la información de tráfico. Esto implica la recepción de información sobre drones civiles y la posibilidad de proporcionar información sobre sus propios drones, aeronaves y helicópteros a través de estos servicios.

Se plantea la posibilidad de proporcionar datos militares adicionales directamente al Centro de Información de U-Space. Esto requeriría definir y estandarizar los procedimientos y la información que el ejército compartiría. El CIS, a su vez, debería tener la capacidad de proporcionar información de interés específico para el ejército como, por ejemplo, una visión integral de las operaciones de drones que respalde sus actividades y mejore su conciencia situacional. La información disponible en el CIS se distribuirá a los proveedores de servicios para que, complementariamente con la información de los tráficos civiles, gestionen de manera eficiente y segura las operaciones bajo su responsabilidad.

El flujo de información relativa a las operaciones estatales o militares como transporte de personalidades o adiestramiento en Tácticas, Técnicas y Procedimientos (TTPs) propios del ejército, deja al descubierto la necesidad de desarrollar un sistema de gestión de seguridad efectivo que mitigue posibles amenazas en este contexto.



1.6 MATRIZ DE CONFRONTACIÓN DAFO

Tras realizar el análisis DAFO, es sencillo apreciar la relación que en gran medida las debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades tienen entre sí. Y de manera consecutiva surgen preguntas acerca de las posibilidades que ofrece acentuar una fortaleza, ¿se aprovecharán mejor las oportunidades o se reducirán las amenazas? Y surgen las mismas preguntas paralelamente en el caso de que se ponga el foco en las debilidades y se puedan superar.

Por ello se ha realizado la siguiente matriz de confrontación (Figura 11). Esta matriz permite vincular las debilidades y las fortalezas con las amenazas y oportunidades. Para conseguir esto, se da un valor subjetivo a la relación que tiene cada debilidad y fortaleza con las oportunidades y amenazas. (Universidad de Cantabria, 2014). Para el valor de las relaciones utilizamos la escala numérica subjetiva que se muestra a continuación:

- Relación alta: 10
- Relación media: 5
- Relación baja: 1
- No hay relación: 0

En el Anexo IV queda reflejada la explicación que se le da a esta valoración subjetiva

MATRIZ CONFRONTACIÓN		Oportunidades		Σ	Amenazas		Σ	Total
		O1	O2		A1	A2		
FORTALEZAS	F1	1	5	6	5	1	6	12
	F2	5	10	15	10	10	20	35
	F3	10	10	20	10	5	15	35
	F4	10	10	20	5	10	15	35
	Σ	26	35		30	26		
DEBILIDADES		D1	5	10	15	10	1	26
		D2	0	5	5	5	10	15
		D3	10	5	15	10	0	10
		D4	10	10	20	1	1	22
		D5	5	1	6	10	0	10
		Σ	30	31		36	12	
		Total	56	66		66	38	

Figura 11. Matriz de confrontación DAFO. Fuente propia.

La matriz de confrontación muestra que las fortalezas 1,2 y 3 están relacionadas de manera similar con las oportunidades y amenazas. Esto se debe a que tanto las mejoras en la planificación y desarrollo de operaciones como las mejoras en la seguridad de vuelo favorecen la gestión del espacio aéreo, y viceversa ya que una mejora en los servicios de control aéreo repercute directamente en mayor seguridad en vuelo y facilidades en el planeamiento y desarrollo de las misiones por parte de la fuerza aérea militar.



También se puede apreciar que la oportunidad de que se vean reflejadas mejoras en la gestión del tráfico aéreo puede conseguirse siempre y cuando el ejército realice una colaboración con el U-Space en la que se incluya la conspicuidad. Esto significa que mientras las operaciones militares se reserven el derecho a no ser visibles durante sus operaciones, no se definan procesos de colaboración estandarizados o no se adquieran los sistemas necesarios esta oportunidad queda completamente fuera del alcance.

Además de no ser posible una mejora de la gestión del espacio aéreo fuera del U-Space, si no se actuase sobre las debilidades que se acaban de mencionar, también incidiría de manera negativa en las fortalezas reduciendo tanto la seguridad en vuelo como la gestión de los espacios aéreos U-Space.

En cuanto a la amenaza con la que más relacionadas están tanto fortalezas como debilidades, es la posibilidad de que esta integración suponga riesgos para la gestión del tráfico aéreo. En el caso de las fortalezas todas tienen un nivel de relación medio o alto, lo que significa que si se refuerzan y las operaciones aéreas reciben todos los servicios que propone el U-Space, la probabilidad de que esto ocurra se puede ver reducida de manera considerable. Sin embargo, las debilidades, sobre todo la falta de procedimientos estandarizados, el alto grado de automatización y la complejidad de la estructura, son potenciadores de esta probabilidad y que esto ocurra puede suponer grandes problemas para el desarrollo del proyecto.

El objetivo principal de la matriz es obtener el orden en el que hay que poner el foco para superar las debilidades y la prioridad en la que potenciar las fortalezas en función de su relación con las amenazas y oportunidades.

Por lo tanto, sumados los valores de la matriz se obtiene el orden en el que hay que poner el foco para superar las debilidades y la prioridad en la que potenciar las fortalezas en función de su relación con las amenazas y oportunidades.

Tabla 1. Orden de prioridad para debilidades y fortalezas. Fuente propia.

DEBILIDADES	FORTALEZAS
1. Falta de procedimientos estandarizados	1. Mayor seguridad en vuelo
2. Alto grado de automatización	2. Mejora en la gestión del espacio aéreo
3. Necesidades tecnológicas / Costes adicionales	3. Mayor eficiencia en el planeamiento y desarrollo de las operaciones militares
4. Derecho militar a no ser visible	4. Lazos existentes de cooperación civil-militar en la aviación convencional
5. Complejidad del U-Space	

También se puede reflejar el orden en el que las amenazas y oportunidades resultarán más fáciles de acentuar y neutralizar respectivamente, si se superan las debilidades y se aprovechan las fortalezas de la integración.



Tabla 2. Orden de prioridad para oportunidades y amenazas. Fuente propia.

OPORTUNIDADES	AMENAZAS
1. Mejoras en la gestión del tráfico aéreo a bajo nivel	1. Puede suponer riesgos para la gestión del tráfico aéreo
2. Aprovechamiento de las nuevas tecnologías móviles	2. Riesgos para la seguridad cibernética militar

1.7 ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este apartado se van a analizar de manera conjunta los resultados obtenidos en la matriz de confrontación y las conclusiones a las que se llegó durante el análisis DAFO. Durante el análisis anterior se ha podido observar que el proyecto de integración es viable, siempre y cuando las entidades que desarrollan el U-Space y las Fuerzas Armadas que van a operar en él lleguen a un acuerdo y colaboren conjuntamente para llevarlo a cabo. Por lo tanto, como resultado de este análisis se propondrán unos requisitos para los actores del U-Space y otros para los actores militares interesados en esta cooperación.

1.7.1 SOLUCIONES A DEBILIDADES Y AMENAZAS

Durante el análisis DAFO, se han destacado varias debilidades que en caso de no ser reforzadas podrían suponer un grave problema para la viabilidad del proyecto. Por lo que se va a poner el foco en las debilidades y amenazas para encontrar una solución que se plasmará como requisito a cumplir por las partes interesadas.

Se analizarán en el orden de gravedad que suponen para el desarrollo del proyecto, que se obtiene de combinar las razones expuestas en el apartado 4.1 y la información extraída de la matriz de confrontación (apartado 4.2).

1. La primera que cabe destacar es la falta de procedimientos estandarizados, que se coloca como el mayor impedimento. Es necesario desarrollar procedimientos para la transferencia de control entre autoridades civiles y militares, entradas y salidas de los espacios aéreos y procedimientos de comunicación entre estaciones de control U-Space y de aviación convencional.

Para favorecer la comunicación, se propone como requisito duplicar los medios de contacto, por lo que se pueden complementar la comunicación por voz, junto con mensajes electrónicos de notificación para transferencias de control, coordinaciones, etcétera.

Para facilitar la cooperación, la conciencia situacional de todos los operadores del espacio aéreo y por lo tanto la seguridad de vuelo, se propone como requisito la creación de un nuevo actor de U-Space encargado de recoger las autorizaciones de vuelo de RPA y convertirlos en planes de vuelo para que sean visibles por todos los usuarios aeronáuticos.

Para favorecer el funcionamiento del U-Space, es necesario que se realicen evaluaciones del riesgo del espacio aéreo antes de determinar los espacios aéreos U-Space, teniendo en cuenta las áreas de operaciones militares.



2. El segundo punto débil que más influye es el alto grado de automatización. Las operaciones aeronáuticas tienen como limitación la seguridad en vuelo, en el momento en el que se pueda ver comprometida esta, es motivo suficiente para reconsiderar la realización de la misión. En este caso ocurre de la misma manera, en operaciones reales de búsqueda y rescate se necesita una rápida y acertada reacción por parte de los servicios de control.

Para favorecer esta comunicación con las autoridades de control U-Space, se propone como requisito la colaboración militar y civil para, haciendo uso de las tecnologías móviles, desarrollar una interfaz de uso específico militar que permita una rápida e intuitiva comunicación con los proveedores USS y CIS.

Para asegurar que los conflictos aéreos son resueltos de manera eficaz, se propone como requisito para los proveedores de servicios U-Space la integración de una figura humana que pueda intervenir en caso de que los sistemas automatizados no consigan resolver los incidentes.

3. El tercer punto débil por tratar es el derecho militar a no ser visible. Las operaciones que llevan a cabo las aeronaves de estado pueden requerir la ocultación al resto de tráficos y un tratamiento discreto por parte de los servicios de control. El tratamiento de estos datos se puede relacionar con la amenaza de ciberseguridad que supone para el ejército.

Para facilitar el tratamiento de datos por parte de los proveedores CIS y USS, el ejército tiene que realizar un estudio y definir los datos e información que puede compartir de manera abierta sin que suponga riesgos para las operaciones y aquella información que no se va a suministrar o que requiere un tratamiento especial por parte de los proveedores.

Para asegurar el tratamiento de estos datos comprometedores, se propone como requisito para los proveedores de información y de servicios U-Space el desarrollo de un sistema que garantice la seguridad de los datos de operación militares que así lo requieran.

4. El cuarto punto es la complejidad que presenta la estructura del U-Space. Para que los usuarios aprovechen al máximo los servicios que se ofrecen y puedan compartir el espacio aéreo con aeronaves de estado, es vital que todas las partes conozcan a la perfección los procedimientos y la normativa que rigen estos espacios.

Para los operadores militares de RPAs puede resultar más sencillo dado que están familiarizados con los sistemas y los procedimientos para la aviación no tripulada convencional. Sin embargo, para las tripulaciones de aeronaves son procedimientos completamente nuevos con los que tienen poca relación. Para solventar esta falta de información, se propone como requisito para los proveedores de servicios ofrecer cursos de formación en la interacción con la infraestructura U-Space.

5. El último punto por tratar son las necesidades tecnológicas para operar en estos espacios y los costes adicionales globales que supone la integración en las infraestructuras U-Space.

Para obtener un mayor rendimiento de los servicios U-Space, se propone como requisito para el ejército la adquisición de los sistemas necesarios de conspicuidad expuestos en el apartado 4.1.1.4. dentro de las posibilidades económicas y de compatibilidad con los sistemas ya disponibles en las actuales flotas de aeronaves.

En cuanto al apartado de costes globales, se deben realizar, por parte de las autoridades militares, estudios que ofrezcan distintas opciones económicas para la adquisición de sistemas, desarrollo y actualización de los procedimientos.



Si bien es cierto que un proyecto como ACRE puede dar solución a los puntos débiles y amenazas encontradas en el análisis DAFO, no hay una intención manifiesta de colaborar en su desarrollo por parte del Ministerio de Defensa. Es por ello que se proponen a continuación una serie de requisitos que pueden subsanar los puntos críticos sin la necesidad de un intermediario entre ENAIRE y las operaciones militares.

1.7.2 REQUISITOS

A continuación, se exponen de manera clara los requisitos que se proponen para los actores del U-Space, para las autoridades militares y requisitos que se obtienen con la colaboración conjunta de ambos.

Requisitos para los actores del U-Space:

1. La creación de un nuevo actor de U-Space encargado de recoger las autorizaciones de vuelo de RPA y convertirlas en planes de vuelo para que sean visibles por todos los usuarios aeronáuticos.
2. Integración de una figura humana en los proveedores de servicios U-Space (USSP) que pueda intervenir en caso de que los sistemas automatizados no consigan resolver los incidentes.
3. Desarrollo de un sistema que garantice la seguridad de los datos de operación militares que así lo requieran.
4. Oferta de cursos de formación en la interacción con la infraestructura U-Space.

Requisitos para las autoridades militares:

1. Realización de estudios para definir los datos e información que se puede compartir de manera abierta sin que suponga riesgos para las operaciones y aquella información que no se va a suministrar o que requiere un tratamiento especial por parte de los proveedores.
2. Adquisición de los sistemas necesarios de conspicuidad expuestos en el apartado 4.1.1.4. dentro de las posibilidades económicas y de compatibilidad con los sistemas ya disponibles en las actuales flotas de aeronaves.
3. Estudios que ofrezcan distintas opciones económicas para la adquisición de sistemas, desarrollo y actualización de los procedimientos.

Requisitos de colaboración:

1. Duplicación de los medios de contacto, por lo que se pueda complementar la comunicación por voz con los mensajes electrónicos.
2. Evaluaciones del riesgo del espacio aéreo antes de determinar los espacios aéreos U-Space, teniendo en cuenta las áreas de operaciones militares.
3. Desarrollo de una interfaz de uso específico militar que permita una rápida e intuitiva comunicación con los proveedores USS y CIS.

Todos los requisitos que involucran la acción de los proveedores de información común ya pueden comenzar a estudiarse, puesto que es pública la información de que esta figura corresponde a ENAIRE. Sin embargo, con los proveedores USS no ocurre lo mismo, ya que se desconoce su identidad por el momento. Por lo tanto, no se han especificado los requisitos que corresponden a estos, y se ha realizado la investigación orientada a proponer requisitos generales que han de cumplir los proveedores, tanto los CISPs como USSPs.



CONCLUSIONES

Durante la elaboración de este trabajo, se ha explorado profundamente la normativa que rige el proyecto U-Space y mediante un análisis DAFO se han observado las debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades que se pueden deducir de una integración de las aeronaves militares dentro de estos espacios aéreos.

Se han identificado como fortalezas los beneficios que reportan a las operaciones militares el uso de los servicios U-Space que, en el caso de cumplir con los requisitos tecnológicos que se proponen, concluyen en un incremento de la seguridad y una mejora en la gestión del espacio aéreo. De la misma se destacan las oportunidades que ofrece el avance de las tecnologías móviles y la posibilidad de facilitar el ejercicio de control de tráfico aéreo fuera de estos espacios.

Sin embargo, el fin del trabajo es analizar las debilidades y amenazas que se deducen de esta integración y encontrar soluciones en forma de requisitos que han de cumplir tanto los proveedores de servicios e información como el ejército.

Los requisitos propuestos para los actores del U-Space se resumen en la creación de un actor que convierta las autorizaciones de vuelo de RPA a planes de vuelo OACI, integrar figuras humanas dentro de los proveedores, desarrollar un sistema de protección para la información de las operaciones militares e impartir cursos de formación para comprender la compleja estructura U-Space.

Los requisitos que se han considerado para las autoridades militares consisten en la adquisición de los sistemas que se requieren para operar en estos espacios aéreos considerando la posible incompatibilidad con los ya instalados en las aeronaves y en el desarrollo de estudios que determinen la cantidad y el tipo información que se ha de compartir durante las operaciones militares con los proveedores de U-Space.

De manera conjunta, ambas partes han de desarrollar la normativa que habilite a las aeronaves militares a operar en estos espacios, aclarando los distintos procedimientos para realizarlo con seguridad y de manera eficiente. Además, se propone el desarrollo de una interfaz de uso exclusivo militar para facilitar la transferencia de información y, por lo tanto, la integración.

Cabe destacar que es indispensable superar estos puntos débiles y amenazas ya que de no ser así no se obtendría el máximo rendimiento de los servicios que ofrece U-Space y se vería comprometida la seguridad en el desarrollo de las operaciones militares y civiles dentro de estos espacios aéreos.

Por tanto, el Ministerio de Defensa debe considerar su involucración en proyectos como ACRE y otros proyectos que estrechen su relación con U-Space para salvaguardar los imperativos inherentes a la seguridad y defensa nacionales. A su vez, las expectativas de un incremento en el grado de automatización en el U-Space y la incorporación de nuevos servicios han de contemplar los requisitos militares para facilitar a las fuerzas armadas el cumplimiento de sus deberes.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alejandra Morer Murcia (2021). *ANÁLISIS DEL SISTEMA UTM EUROPEO (U-SPACE) Y SU INTEGRACIÓN EN LAS PLATAFORMAS GESTORAS EXISTENTES INTERNACIONALMENTE.*

Cabezas Carrasco, J. (2016). *Bases y procesos de certificación de sistemas aéreos no tripulados.*, E.T.S.I. Aeronáuticos (UPM).

EASA (2021). "Urban Air Mobility (UAM)".

Embention (2022). "¿Qué es un Sistema ADS-B?".

ENAIRES (2023). *Cielo Único Europeo.* Disponible en: https://www.enaire.es/sobre_enaire/presencia_internacional/cielo_unico_europeo.

European Defence Agency (2023a). "MILITARY AND U-SPACE: GUIDELINES- COST AND BENEFITS ANALYSIS ".

European Defence Agency (2023b). "MILITARY AND U-SPACE: GUIDELINES- D-1 EVALUATION ."

European Defence Agency (2023c). "MILITARY AND U-SPACE: GUIDELINES- FINAL REPORT ."

European Defence Agency (2023d). "MILITARY AND U-SPACE: GUIDELINES- SC3 REPORT ."

Lozano Alvernía, E. (2008). "La seguridad en la aviación depende de los factores humanos".

Ministerio de Transporte, Movilidad y Agenda Urbana (2023) *Divulgación del concepto U-Space y su marco normativo.*

Ministerio de Transporte, Movilidad y Agenda Urbana (2022) *PLAN DE ACCIÓN NACIONAL PARA EL DESPLIEGUE DEL U-SPACE.*

Moliner, J. (Agosto, 2016). "La cumbre de la OTAN en Varsovia".

OACI (Octubre, 2018). "DECIMOTERCERA CONFERENCIA DE NAVEGACIÓN AÉREA", https://www.icao.int/Meetings/anconf13/Documents/WP/wp_311_gen_es.pdf .

OneAir Qué es el radar secundario de vigilancia o SSR. Disponible en: [https://www.oneair.es/radar-secundario-vigilancia-ssr#:~:text=El%20radar%20secundario%20de%20vigilancia%2C%20o%20Secondary%20Surveillance%20Radar%20\(SSR,el%20avi%C3%B3n%20llamada%20respondedor.](https://www.oneair.es/radar-secundario-vigilancia-ssr#:~:text=El%20radar%20secundario%20de%20vigilancia%2C%20o%20Secondary%20Surveillance%20Radar%20(SSR,el%20avi%C3%B3n%20llamada%20respondedor.)

Richard J. Gross (2023). "Evolución completa e historia de los drones: De 1800 a 2022".

Sergi Gasull Baldó (2020) *ANÁLISIS DEL PROYECTO U-SPACE. ESTADO ACTUAL Y PERSPECTIVAS FUTURAS.*

SESAR JU (2020). *SUPPORTING SAFE AND SECURE DRONE OPERATIONS IN EUROPE .*



SESAR JU (2016). "European Drones Outlook Study. Unlocking the value for Europe ".

UMILES (2023). "Geofencing en Drones: ¿Cómo funciona y para qué sirve?".

Universidad de Cantabria (2014). *PDI/PLA.03 DEFINICIÓN DE ALTERNATIVAS ESTRATÉGICAS*.





ANEXOS

Anexo I

Definiciones

Gestión estratégica del espacio aéreo: Se refiere a la gestión del espacio aéreo. Estas acciones incluyen el desarrollo, la evaluación y la revisión de procedimientos y operaciones dentro del espacio aéreo. Se deben establecer mecanismos para recopilar y almacenar datos relacionados con solicitudes, asignación y uso real del espacio aéreo con el fin de analizarlos y planificar actividades futuras. Además, es crucial garantizar que se implementen y publiquen a tiempo las áreas designadas para diferentes fines, como entrenamiento, recreación, sectores de control del tráfico aéreo, rutas y procedimientos de llegada y salida, considerando las necesidades de todos los usuarios del espacio aéreo y los objetivos estratégicos establecidos por la OACI. (Arca Jaurena y OACI, Abril, 2015)

Gestión pre-táctica del espacio aéreo: Las dependencias militares de control y las dependencias de servicios de tránsito aéreo pertinentes se deben comunicar mutuamente todo cambio en la activación planificada del espacio aéreo de manera oportuna y eficiente y asegurarse de notificar a todos los usuarios afectados la situación efectiva del espacio aéreo. (Arca Jaurena y OACI, Abril, 2015)

Reconfiguración dinámica del espacio aéreo: Configuración durante de las operaciones aéreas de los límites de los espacios aéreos en función de las necesidades del tráfico. Consiste en limitar determinadas regiones o habilitar pasillos, corredores o sectores para solventar situaciones de emergencia.

SORA: Specific Operations Risk Assessment es una metodología para la clasificación del riesgo que representa un vuelo de dron en una categoría específica de operaciones y para la identificación de medidas de mitigación y objetivos de seguridad. Ayuda al operador a identificar limitaciones operativas, objetivos de formación para el personal esencial para la operación (por ejemplo, pilotos remotos, observadores, encargados de mantenimiento, etc.), requisitos técnicos para el dron y a desarrollar los procedimientos operativos adecuados que formarán parte del manual del operador. (EASA, 2023)



Anexo II

El siguiente anexo detalla el funcionamiento, la clasificación RPA civil y la clasificación de RPA adoptada por la OTAN.

FUNCIONAMIENTO

Los aviones no tripulados, o drones, se caracterizan por su construcción con materiales livianos y resistentes, lo que resulta en una relación peso-dimensión favorable que mejora su maniobrabilidad. Estos dispositivos se sirven de un ala fija o emplean rotores, a veces hasta ocho, para propulsión y control, los cuales funcionan de manera similar a los ventiladores convencionales. En el caso de los de ala rotatoria, las aspas del dron giran a alta velocidad, generando una fuerza descendente al empujar el aire hacia abajo, al mismo tiempo que el aire ejerce una fuerza ascendente sobre el rotor, exemplificando así la tercera ley de Newton. En consecuencia, un aumento en las revoluciones por segundo de los rotores resultará en una mayor elevación experimentada por el dron.

CLASIFICACIÓN

La tecnología de aeronaves pilotadas por control remoto (RPA) exhibe una notable versatilidad al ser capaz de adaptarse a una amplia gama de servicios y prestaciones sin comprometer su calidad fundamental como vehículo aéreo no tripulado. Esta adaptabilidad permite su utilización en una extensa variedad de operaciones y escenarios. Teniendo estos argumentos, se diferenciarán las clasificaciones según el tipo de ala, su masa máxima al momento del despegue (MTOW), altitud operativa, rango operativo y tiempo en vuelo.

Según su tipo de ala se distinguen dos configuraciones:

- Ala rotatoria: Son los más comunes y pueden presentar configuración que abarcan desde la presencia un único rotor hasta ocho. Se distinguen por su gran maniobrabilidad y estabilidad, siendo los más comunes aquellos que poseen cuatro rotores.
- Ala fija: Son aquellos que utilizan toda la fuerza generada para sustentarse gracias a su aerodinámica similar a la de las aeronaves. Presentan una mayor autonomía gracias a su aerodinámica, sin embargo, no son capaces de mantener el vuelo sobre un punto y requieren de auxiliares y plataformas para ser lanzados y recogidos.

Según su MTOW, altitud operativa, rango operativo y tiempo en vuelo:



Tabla 3. Clasificación RPA según MTOW, altitud operativa, rango operativo y tiempo de vuelo. (Sergi Gasull Baldó, 2020)

Categoría	MTOW (kg)	Altitud media (m)	Rango operativo (km)	Tiempo de vuelo (h)
Nano(n)	<0,025	<150	<1	<1
Micro(n)	<5	<250	<5	1
Mini	<25	<330	<10	<2
Cobertura 1 (Close range)	<100	<3000	<30	<5
Cobertura 2 (Short range)	<200	<3000	<60	<6
LALE (Baja altitud y gran autonomía)	<30	<3000	<1000	<30
MALE (Media altitud y gran autonomía)	<2000	<12000	<1000	<40
HALE (Alta altitud y gran autonomía)	>2000	<20000	>2000	>40

CLASIFICACIÓN RPA OTAN

Dentro del ámbito militar, en España se ha adoptado una clasificación de los RPAS acordada por el Joint Capability Group on UA/UAS (JCGUA), un grupo de trabajo de la OTAN conocedor de la necesidad de la unificación del uso del lenguaje militar para facilitar el trabajo combinado entre plataformas aéreas no tripuladas entre distintos Ejércitos. (Herráez, 2019)

Tabla 4. Clasificación RPAS OTAN. Publicación Doctrinal. Empleo táctico de la unidad de RPAS. (PD4-013)

Tarjeta operador RPA	Clase según peso máximo al despegue	Categoría OTAN y acrónimo	Radio normal de misión	Ejemplos de RPAS
Tipo I	Clase I ≤ 150 kg	Micro-RPA	2 km	Black Hornet
		Mini-RPA	10 km	Raven RQ-11 B
		Small-RPA	50 km (alcance medio: MR, Medium Range)	Pelícano
Tipo II	Clase II > 150 y ≤ 600 kg	TUAV (táctico)	200 km (largo alcance: LR, Long Range)	Searcher MK-III
	CLASE III > 600 kg	UCAV (de combate)	Sin límite (enlace por satélite: BLOS, Beyond Line of Sight)	Reaper
		MALE (Medium Altitude Long Endurance)		Heron TP
		HALE (High Altitude Long Endurance)		Global Hawk



Anexo III

La complejidad de las implementaciones y los costos de las inversiones necesarias probablemente variarán considerablemente entre los estados miembros. Esta CBA conceptual, por lo tanto, utiliza suposiciones simplificadas que solo distinguen entre estados miembros pequeños, medianos y grandes, estableciendo un conjunto de suposiciones para cada categoría. Después de discutir con las partes interesadas, estas suposiciones pueden ser reemplazadas por datos específicos de cada estado miembro, si están disponibles. (European Defence Agency, 2023a)

Tabla 5. Clasificación de los Estados según sus estaciones de control y número de drones y helicópteros.

Small-sized member state	Number of ATS units: 6 Number of workstations: 60 Number of military drones: 8 Number of Helicopters: 8
Medium-sized member state	Number of ATS units: 12 Number of workstations: 120 Number of military drones: 16 Number of Helicopters: 46
Large-sized member state	Number of ATS units: 20 Number of workstations: 200 Number of military drones: 50 Number of Helicopters: 289



Anexo IV

Explicación de los valores subjetivos en la matriz de confrontación

RELACIÓN FORTALEZAS-OPORTUNIDADES

Relación F1-O1. La existencia de lazos de cooperación civil-militar en la aviación convencional tiene una relación baja con el aprovechamiento de las nuevas tecnologías (1). Esto se debe a que la previa colaboración en I+D no está relacionada con el desarrollo de tecnologías móviles como aplicaciones de uso exclusivo militar, está relacionada más bien con sistemas de navegación y comunicación, innovaciones para la sostenibilidad y simuladores.

Relación F2-O1. Una mejora de la seguridad en vuelo tiene una relación media con el aprovechamiento de las tecnologías para desarrollar aplicaciones de uso militar (5). Si se desarrolla una aplicación que actúe como interfaz para recibir y transmitir los datos entre el ejército y las autoridades de control civiles, los usuarios militares pueden explotar el servicio de información de tráfico.

Relación F3-O1 y F4-O1. El desarrollo de una interfaz para transmitir datos de manera segura a los usuarios y estaciones de control militares está relacionado fuertemente con una mejora en la gestión del espacio aéreo y una mayor eficiencia en el planeamiento y desarrollo de las operaciones (10). Esto es así ya que proporciona un flujo directo y seguro de información entre la aviación civil y militar, lo que ayuda en la gestión del espacio aéreo. En cuanto al planeamiento y desarrollo de las operaciones, una aplicación es una manera rápida de solicitar reconfiguraciones del espacio aéreo necesarias para desarrollar con seguridad las misiones que involucren actuaciones dentro del U-Space.

Relación F1-O2. La existencia de lazos de cooperación civil-militar en la aviación convencional tiene una relación media con las mejoras en la gestión del tráfico aéreo a bajo nivel (5). Estos lazos pueden servir de guía para desarrollar los lazos necesarios para operar en el U-Space, una buena cooperación en el U-Space puede llegar a repercutir en una mejora de la gestión del tráfico aéreo a bajo nivel.

Relación F2-O2, F3-O2 Y F4-O2. Las mejoras en seguridad en vuelo, en gestión del espacio aéreo y en el planeamiento y desarrollo de las operaciones aéreas repercuten de manera directa en una mejora de la gestión de tráfico a bajo nivel fuera de los espacios aéreos U-Space (10). Esto es así ya que la aviación militar se integraría en un modelo de gestión de tráfico totalmente controlado.

RELACIÓN FORTALEZAS-AMENAZAS

Relación F1-A1. La existencia de lazos de cooperación civil-militar tiene una relación media con el riesgo para la gestión del tráfico aéreo (5). Se ha llegado a esta deducción ya que si realmente se aprovecha esta fortaleza y se desarrollan normativas sólidas y que contemplen los numerosos casos ambiguos que pueden ocurrir en las operaciones aéreas, se puede mitigar la amenaza de que se vea comprometida la gestión del tráfico aéreo.

Relación F2-A1. EL incremento en la seguridad en vuelo obtenido por la integración y el cumplimiento de los requisitos U-Space de conspicuidad por parte de las aeronaves militares tiene una relación alta con los riesgos para la gestión del tráfico aéreo (10). Si se adoptan las



medidas que requiere U-Space para operar en sus espacios aéreos resultará en un control mayor de las aeronaves lo que facilita la gestión del espacio aéreo y disipa en gran medida esta amenaza.

Relación F3-A1. La mejora en la gestión del espacio aéreo es la oposición a la amenaza de que suponga riesgos para la gestión del espacio aéreo, por lo tanto, alta relación (10). Que se den ambas afirmaciones contrapuestas es consecuencia de la incertidumbre que supone que el ejército colabore completamente con los servicios de gestión U-Space, lo que puede resultar en una gran mejora si adquiere los sistemas necesarios o en un importante descontrol si no adquiere los sistemas necesarios y opera en los espacios aéreos U-Space sin ser detectable.

Relación F4-A1. Una mayor eficiencia en el planeamiento y desarrollo de las operaciones militares tiene una relación media con la amenaza del riesgo para la gestión del tráfico aéreo (5). Se ha llegado a esta conclusión ya que la información que los proveedores proporcionan a los operadores durante el planeamiento es bastante útil, y si las operaciones militares fueran conspicuas al resto de tráficos recibirían esta información en vuelo y proporcionarían sus datos al resto de usuarios. Sin embargo, al desconocer si el ejército va a disponer de los sistemas necesarios o si sus operaciones les permiten ser detectables, se le da la valoración de relación media.

Relación F1-A2. La existencia de lazos de cooperación civil-militar tiene una relación baja con los riesgos para la seguridad cibernética (1). Aunque ya haya normativa en cuanto al trato de información militar por parte de los servicios de gestión civil, no había sido un control tan exhaustivo de las operaciones, por lo que las anteriores guías pueden servir para abordar el problema, pero no suponen una solución a este.

Relación F2-A2 y F4-A2. Una mayor seguridad en vuelo y una mejora en el planeamiento y desarrollo de las operaciones militares están altamente relacionadas con los riesgos para la seguridad cibernética (10). Esto es así ya que la seguridad y la mejora en la eficiencia de las operaciones se consiguen transmitiendo los datos de las aeronaves militares, lo que supone un grave riesgo para la seguridad cibernética de las operaciones.

Relación F3-A2. Una mejora en la gestión del espacio aéreo tiene una relación media con el riesgo para la seguridad cibernética (5). La mejora en la gestión del espacio aéreo se consigue mediante la colaboración militar y el desarrollo de normativa que regule los espacios aéreos de bajo nivel, esta colaboración incluye en ocasiones transmitir los datos de aeronaves militares, lo que se puede traducir en riesgos para la seguridad cibernética.

RELACIÓN DEBILIDADES-OPORTUNIDADES

Relación D1-O1. La falta de procedimientos estandarizados tiene una relación media con el aprovechamiento de las nuevas tecnologías móviles (5). Esto se debe a que se puede facilitar el desarrollo de estos procedimientos apoyándose en una interfaz que haga más sencilla e intuitiva la cooperación entre entidades militares y civiles.

Relación D2-O1. El derecho militar de no ser visible no tiene relación con el aprovechamiento de las nuevas tecnologías móviles (0). El ejercicio de este derecho no tiene influencia negativa ni positiva en el desarrollo de una interfaz de uso exclusivo por el ejército.

Relación D3-O1 y D4-O1. El alto grado de automatización y las necesidades tecnológicas y costes adicionales tienen una relación alta con el aprovechamiento de las nuevas tecnologías



móviles (10). Esto es así dado que el alto grado de automatización podría verse beneficiado por el uso de una interfaz exclusiva militar, cuyo desarrollo conlleva un coste adicional.

Relación D5-O1. La complejidad del U-Space tiene una relación media con el aprovechamiento de las nuevas tecnologías móviles (5). El desarrollo de una interfaz accesible e intuitiva puede facilitar el entendimiento de los servicios U-Space y su uso.

Relación D1-O2. La falta de procedimientos estandarizados tiene una relación alta con las mejoras en la gestión del tráfico a bajo nivel (10). Si no se desarrollan los procedimientos estandarizados necesarios para operar en los volúmenes U-Space resulta impensable obtener mejoras en la gestión del tráfico a bajo nivel ya que no habrá un intercambio de información efectiva que puede comprometer la seguridad de las aeronaves que operan este espacio.

Relación D2-O2 y D3-O2. El derecho militar de no ser visible y el alto grado de automatización tienen una relación media con las mejoras en la gestión del tráfico aéreo a bajo nivel (5). Ambas debilidades pueden comprometer la gestión del tráfico aéreo dentro de los espacios aéreos U-Space, por lo que de la misma manera pueden comprometer la seguridad de las aeronaves que operan a bajo nivel cerca de los volúmenes U-Space.

Relación D4-O2. Las necesidades tecnológicas y los costes adicionales tienen una relación alta con las mejoras en la gestión del tráfico aéreo a bajo nivel (10). La adquisición de los equipos necesarios para lograr la plena integración en el U-Space, el desarrollo de procedimientos estandarizados y los cursos de formación son costes adicionales que mejoran la compresión de la infraestructura U-Space y por lo tanto son necesarios para explotar esta oportunidad.

Relación D5-O2. La complejidad de la infraestructura U-Space tiene una relación baja con las mejoras en la gestión del tráfico aéreo a bajo nivel (1). El desconocimiento del concepto U-Space puede comprometer la seguridad de las aeronaves que operan en los alrededores de los volúmenes U-Space.

RELACIÓN DEBILIDADES-AMENAZAS

Relación D1-A1. La falta de procedimientos estandarizados tiene una relación alta con la posibilidad de que haya riesgos para la gestión del tráfico aéreo (10). Si no están definidos los procedimientos para las situaciones más críticas durante el vuelo, como la transferencia de control o la entrada y salida de los distintos espacios aéreos, es fácil pensar que ocurrirán malentendidos que pueden comprometer la seguridad de las aeronaves.

Relación D2-A1. El derecho militar de no ser visible tiene una relación media con la posibilidad de que haya riesgos para la gestión del tráfico aéreo (5). En el caso de las operaciones en las que las aeronaves de estado se reserven este derecho, el entrar en los volúmenes U-Space sin ofrecer información detallada sobre su posición puede suponer cierta incertidumbre para el resto de las aeronaves que operen en sus alrededores. Esto dificulta la tarea de los servicios de control que han de separar de manera imprecisa y con amplios márgenes de distancia al resto de sistemas.

Relación D3-A1. El alto grado de automatización tiene una relación alta con la posibilidad de que haya riesgos para la gestión del tráfico aéreo (10). Como se ha expuesto anteriormente en el apartado 4.1.1.3, este nivel de automatización puede ser ineficiente y en algunos casos impreciso, lo que compromete las operaciones aéreas que se vean involucradas en la resolución de ciertas incidencias.



Relación D4-A1. Las necesidades tecnológicas y los costes adicionales tienen una relación baja con la posibilidad de que haya riesgos para la gestión del tráfico aéreo (1). La inversión en sistemas adicionales es necesaria para llegar a una integración completa y eficiente dentro de los espacios aéreos U-Space, pero no invertir en estos sistemas no implica riesgos para la gestión del tráfico aéreo fuera de estos espacios aéreos. Sin embargo, está relacionado ya que se ha de invertir en formación de personal para conocer cómo funciona y en el desarrollo de procedimientos y legislación aeronáutica en los alrededores de estos nuevos espacios aéreos.

Relación D5-A1. La complejidad del U-Space tiene una relación alta con la posibilidad de que haya riesgos para la gestión del tráfico aéreo (10). El desconocimiento de la infraestructura U-Space puede inducir incertidumbre en las tripulaciones que operen cerca de estos volúmenes, lo que queda reflejado por completo en una pobre conciencia situacional y produce un riesgo para estos tráficos.

Relación D1-A2. La falta de procedimientos estandarizados tiene una relación baja con los posibles riesgos para la seguridad cibernética militar (1). La falta de procedimientos estandarizados de intercambio de información supone un riesgo para la información de las operaciones militares. Sin embargo, solo está relacionado con los procedimientos de intercambio de información, mientras que la carencia de el resto de los procedimientos afecta con mayor gravedad a la inseguridad en la gestión del espacio aéreo.

Relación D2-A2. El derecho militar de no ser visible tiene una relación alta con los posibles riesgos para la seguridad cibernética militar (10). Las operaciones de aeronaves de estado que se reserven el derecho de no ser visibles al resto de tráficos han de ser separadas con garantías de seguridad del resto de tráficos. Para ello, los servicios de U-Space tienen unos requerimientos de conspicuidad de los cuales todas las aeronaves extraen información y forman su conciencia situacional. El aporte de estos datos compromete la discreción de estas operaciones realizadas por aeronaves de estado y pone en grave riesgo la ciberseguridad de las operaciones.

Relación D3-A2. El alto grado de automatización no tiene relación con los posibles riesgos para la seguridad cibernética militar (0). Intercambiar estos datos con un servicio automático o una persona física realmente no influye en el trato que estos datos reciban.

Relación D4-A2. Las necesidades tecnológicas y los costes adicionales tienen una relación baja con los posibles riesgos para la seguridad cibernética militar (1). Los sistemas necesarios para la conspicuidad dentro de los espacios aéreos U-Space influyen en el intercambio de información crítica acerca de los vectores de vuelo durante operaciones. Sin embargo, este intercambio de información puede no suponer un problema si se desarrollan procedimientos para el trato de esa información.

Relación D5-A2. La complejidad del U-Space no tiene relación con los posibles riesgos para la seguridad cibernética militar (0). El desconocimiento de la infraestructura U-Space no implica riesgos directos en la seguridad de la información de las operaciones realizadas por aeronaves de estado.