



U-SPACE: EVALUACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE APROBACIÓN DEL PLAN DE VUELO

Memoria del Trabajo de Fin de Grado en Gestión
Aeronáutica

realizado por

Ariadna Mor Ballesteros

y dirigido por

Juan José Ramos González

Escuela de Ingeniería

Sabadell, junio de 2024

El abajo firmante, Juan José Ramos González director/a del Trabajo de Fin de Grado, profesor de la Escuela de Ingeniería de la UAB,

CERTIFICA:

Que el trabajo al que corresponde la presente memoria ha sido realizado bajo su dirección por

Ariadna Mor Ballesteros

Y para que conste firma la presente.

Sabadell, junio de 2024

Firmado: Juan José Ramos González

Título del Trabajo de Fin de Grado: U-space: evaluación del procedimiento de aprobación del plan de vuelo	
Autor[a]: Ariadna Mor Ballesteros	Fecha: junio de 2024
Tutor: Juan José Ramos González	
Titulación: Grado en Gestión Aeronáutica	
<p>Palabras clave:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Catalán: U-space, pla de vol, UAS, gestió de trànsit aeri, seguretat operacional, regulació aeronàutica, ATS y evaluaciónde riscos. • Castellano: U-space, plan de vuelo, UAS, gestión de tráfico aéreo, seguridad operacional, regulación aeronáutica, ATS y evaluación de riesgos. • Ingles: U-space, flight plan, UAS, air traffic management, operational safety, aeronautical regulation, ATS and risk assessment. 	
<p>Resumen del Trabajo de Fin de Grado:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Catalán: Aquest treball avalua el procediment d'aprovació del pla de vol en el context del U-space. Es detallen els requisits tècnics i operacionals per a les operacions de drons, incloent la gestió d'un pla de vol, les característiques de les classes de UAS i les mitigacions de riscos. S'aborda la importància de l'autonomia del UAS, la identificació del pilot al comandament i les marques distintives del dron. Es presenten les fases d'implementació del U-space i s'explica com es tramita un pla d'operació de drons. Es discuteix la categoria oberta d'operacions de drons i es descriu un esquema general de la metodologia SORA. • Castellano: este trabajo evalúa el procedimiento de aprobación del plan de vuelo en el contexto del U-space. Se detallan los requisitos técnicos y operacionales para las operaciones de drones, incluyendo la gestión de un plan de vuelo, las características de las clases de UAS, y las mitigaciones de riesgos. Se aborda la importancia de la autonomía del UAS, la identificación del piloto al mando, y las marcas distintivas del dron. Se presentan las fases de implantación del U-space y se explica cómo se tramita un plan de operación de drones. Se discute la categoría abierta de operaciones de drones y se describe un esquema general de la metodología SORA. • Inglés: This work evaluates the flight plan approval procedure within the U-space context. It details the technical and operational requirements for drone operations, including flight plan management, characteristics of UAS classes, and risk mitigations. The importance of UAS autonomy, pilot identification, and drone distinctive markings are addressed. The phases of U-space implementation are presented, along with an explanation of how drone operation plans are processed. The open category of drone operations is discussed, and a general outline of the SORA methodology is described. 	

ÍNDICE

GLOSARIO	7
1. INTRODUCCIÓN	11
2. U-SPACE	12
2.1. IMPLEMENTACIÓN DEL U-SPACE	17
3. SESAR	18
4. SORA.....	19
5. UAS.....	31
5.1. CATEGORÍAS DE OPERACIONES DE DRONES	32
5.1.1. REQUISITOS DE EQUIPOS Y CARACTERÍSTICAS.....	37
5.2. VOLUMENES OPERACIONALES	40
5.2.1. TIPO X	40
5.2.2. TIPO Y	40
5.2.3. TIPO Z	41
5.3. CUMPLIMIENTOS DE LOS REQUISITOS DEL DISEÑO DEL DRON	42
5.3.1. PASOS QUE SEGUIR	42
6. REGLAMENTACIÓN	43
6.1. ORÍGENES E INCLUSIÓN	43
6.2. ADMINISTRACIONES INVOLUCRADAS	45
6.2.1. CISP.....	45
6.2.2. USSP.....	46
6.2.3. OTROS ACTORES INVOLUCRADOS	47
6.3. LEGISLACIÓN ESPAÑOLA VIGENTE.....	48
7. PLAN DE VUELO	51
7.1. FINALIDAD	51
7.2. PASOS	52
8. GESTIÓN DE UN PLAN DE VUELO.....	56
8.1. REQUISITOS REGLAMENTARIOS	57
8.2. PREPARACIÓN DEL PLAN DE VUELO.....	57
8.3. TRAMITACIÓN DEL PLAN DE VUELO.....	58
8.4. SERVICIO DE RESOLUCIÓN DE CONFLICTOS	59
8.5. SERVICIO DE GESTIÓN DE EMERGENCIAS	59
8.6. SERVICIO DE MONITOREO	60
8.7. INTERFAZ CON ATC	61

9. ARBOL DE DECISIONES	62
10. CÓDIGO PYTHON.....	66
11. CONCLUSIONES.....	72
12. REFERENCIAS.....	74

GLOSARIO

A

ABSAA: Airborne-Based Sense and Avoid
ACAS-X: Airborne Collision Avoidance System
ADEP: Aerodrome of Departure
ADES: Aerodrome of Destination
ADS: Automatic Dependent Surveillance
AEC: Categorías de encuentro en un espacio aéreo
AESa: Agencia Estatal de Seguridad Aérea
AGL: Above Ground Level
AIM: Airspace Information Management
AIS: Servicio de Información Aeronáutica
ALTN: Alternate Aerodrome
AMC: Material de aprobación Específico
AOC: Certificado de Operador Aéreo
ARC: Air Risk Class
ARCID: Aircraft Identification
ARO: ATS Reporting Office
ATC: Air Traffic Control
ATM: Air Traffic Management
ATS: Servicios de Tránsito Aéreo
ATSP: Proveedores de Servicios de Tráfico Aéreo

B

BVLOS: Beyond Visual Line of Sight

C

CIS: Servicios Comunes de Información
CISP: Proveedores de Servicios Comunes de Información
CNI: Centro Nacional de Inteligencia
CNS: Comunicación, Navegación y Vigilancia
COM: comunicaciones
CONOPS: Concepto de Operación
CS: estación de control

D

DAA: detect and avoid
DEP: departure Aerodrome
DEST: Destination Aerodrome
DGAC: Dirección General de Aviación Civil
DVR: Design Verification Report

E

EASA: Agencia Europea de Seguridad Aérea
EET: Estimated Elapsed Time
ENAIRO: Empresa Nacional de Navegación Aérea
EOBT: Estimated Off-Block Time
EAS/EARO: Estudio Aeronáutico de Seguridad
EVLOS: Extended Visual Line of Sight

F

FIZ: Flight Information zone
FPL: flight plan

G

GBSAA: Ground-Based Sense and Avoid
GM: guías de mantenimiento
GNSS: Global Navigation Satellite System
GRC: Ground Risk Class
GTA: Gestión de Tráfico Aéreo

H

HMI: Interfaz Hombre Máquina

I

IAM: Movilidad aéreas innovadoras
IFR: Instrumental Flight Rules

L

LUC: Certificado de Operador de UAS ligero

M

MIDCAS: Mid-Air Collision Avoidance System
MINISDEF: Ministerio de Defensa
MINT: Ministerio del Interior
MITMA: Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana
MTOM: masa máxima para el despegue
MOTW: Peso Máximo de despegue

N

NAA: Autoridad Nacional de Aviación
NOTAM: Notice To Airmen

O

OACI: Organización Nacional de Aviación Civil

OPR: Operator

OSO: Operational Safety Objectives

P

PDRA: Evaluación de riesgo Predefinida

R

RMK: Remarks

RMZ: Radio Mandatory Zones

RPA: Remotely Piloted Aircraft

RPAS: Remotely Piloted Aircraft Systems

S

SAIL: Specific Assurance and Integrity Levels

SDSP: Proveedores de Servicios de Datos Suplementarios

SESAR: Single European Sky ATM Research

SME: Subject Matter Expert

SNA: Servicios de Navegación Aérea

SORA: Evaluación de Riesgo para Operaciones Específicas

SSR: Secondary Surveillance Radar

STS: standard scenarios

T

TCAS: Traffic Collision Avoidance System

TMPR: Tactical Mitigation Performance Requirements

TMZ: Zona de Transponder Obligatorio

TYP: Type of Aircraft

U

UAM: entornos urbanos

UAS: Aeronaves No Tripuladas

USSP: Proveedores de Servicios U-space

UTM: Gestión de tráfico de UAS

V

VELA: Specific Elevation Levels of Assurance

VFR: Visual Flight Rules

VLOS: Visual Line of Sight

VLL: Espacio aéreo de baja altitud

1. INTRODUCCIÓN

Desde sus inicios, el sistema de transporte aéreo se ha centrado en la aviación convencional tripulada como su principal actor. Sin embargo, en los últimos años, el surgimiento del sector de los Sistemas de UAS ha representado una revolución y un desafío para la aviación. Este nuevo segmento, caracterizado por un entorno no tripulado y un enfoque altamente innovador y tecnológico, ha experimentado un importante crecimiento en su actividad.

Al principio, la operación civil de estas aeronaves se realizaba en áreas segregadas de las utilizadas por la aviación convencional. Sin embargo, el rápido crecimiento de este sector y la consolidación de sus diversas aplicaciones y servicios han generado la necesidad de extender su operación a zonas del espacio aéreo compartidas con la aviación tripulada. Esto plantea el desafío de integrar de manera segura, eficiente y sostenible estos sistemas en el sistema de transporte aéreo actual.

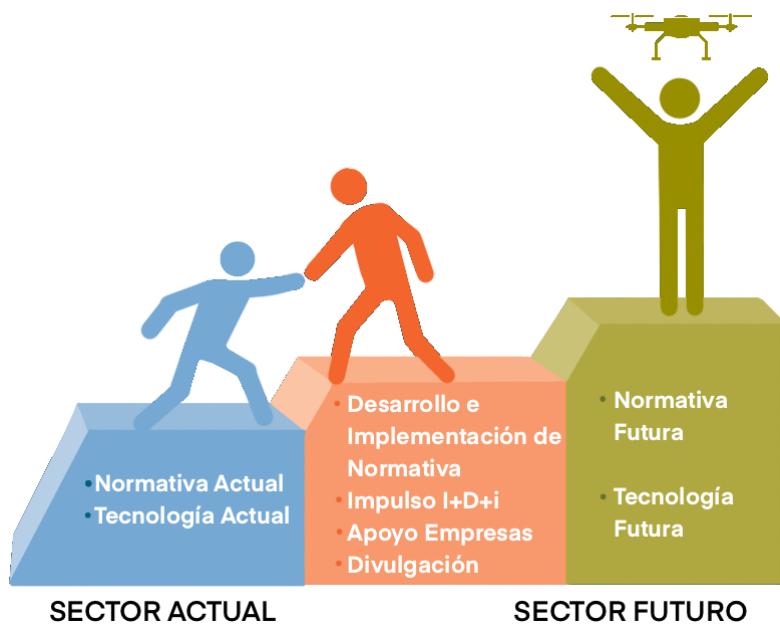


Figura 1: Principales palancas en la evolución del sector.

Fuente: [32]

Para abordar esta situación y establecer un marco de operaciones con garantías de seguridad, en 2019 se publicó el nuevo marco europeo sobre UAS [1] [2]. Este marco normativo armoniza la operación, diseño y fabricación de los UAS en Europa.

Los avances significativos en el sector y el aumento en el número de operaciones de UAS han resaltado la necesidad, tanto a nivel europeo como nacional, de contar con un sistema que gestione de manera segura y eficiente el tráfico de estas aeronaves no tripuladas. Este sistema, conocido como U-space, se está desarrollando de manera coordinada en Europa y se encargará de la gestión del tráfico de UAS en el espacio aéreo. Conformará lo que se ha denominado UTM.

2. U-SPACE

El concepto U-space es a lo que se denomina al conjunto de sistemas, servicios y procedimientos específicos que han sido diseñados para permitir el acceso seguro, asequible y eficiente al espacio aéreo de un gran número de operaciones de drones. Este desarrolla los elementos necesarios para la operación de drones conforme a criterios de seguridad, protección, privacidad y medioambiente.

Este concepto surge para facilitar un alto número de operaciones con aeronaves no tripuladas, especialmente aquellas de mayor complejidad, de una manera ordenada, fluida, segura y asequible.

Su objetivo es lograr la gestión automatizada de los UAS para permitir un elevado número de operaciones, muchas de ellas simultáneas, especialmente en el VLL y en UAM, integrándolos de manera segura con el sistema de gestión de tráfico aéreo ya existente para la aviación tripulada. Además, busca facilitar el desarrollo de nuevos mercados y materializar el potencial de crecimiento económico esperado.

Los servicios de U-space son el segundo elemento clave del sistema. Estos servicios, basados en tecnología digital y automatización de funciones, tienen como objetivo proporcionar un acceso protegido, eficiente y seguro al espacio aéreo U-space para un gran número de UAS. Según el Reglamento de U-space actual, existen cuatro servicios obligatorios para poder operar en cualquier espacio aéreo U-space:

- Identificación de red: este servicio se encarga de proporcionar la identidad de los operadores de UAS, así como información sobre la ubicación, trayectoria y rumbo de los drones durante las operaciones normales.
- Geo-consciencia: este servicio debería proporcionar a los operadores de UAS información crucial sobre las últimas limitaciones del espacio aéreo y la información sobre las zonas geográficas definidas de UAS puesta a disposición como parte de los servicios de información comunes. Esto proporciona información sobre geo-vallas y otras restricciones de vuelo a los pilotos y operadores de drones para su consulta hasta el momento del despegue. Incluye información aeronáutica existente, como: zonas restringidas, zonas de peligro, información extraída de NOTAMS y legislación, restricciones temporales de la autoridad nacional del espacio aéreo...
- Autorización de vuelo: debe garantizar que las operaciones autorizadas de UAS estén libres de intersección en el espacio y el tiempo con cualquier otra autorización de la misma porción del espacio aéreo del U-space.
- Información de tráfico: este servicio recopila información meteorológica relevante para la operación del dron, incluida información meteorológica hiperlocal cuando esté disponible o sea necesaria. Esta información es facilitada a los operadores de UAS sobre otros tráficos, tanto no tripulados y tripulados, que puedan encontrarse en las proximidades de sus aeronaves.

SERVICIO U- SPACE	DESCRIPCIÓN MEJORADA DEL SERVICIO U-SPACE A NIVEL DE SOLUCIÓN
<u>Identificación de red</u>	Identificación electrónica: permite verificar la información sobre el dron y otra información relevante sin acceso físico a la aeronave no tripulada.

	Seguimiento e informes de posición: recibe informes de ubicación, fusiona múltiples fuentes y proporciona información de seguimiento sobre todos los movimientos del vuelo.
<u>Geo-consciencia</u>	Disposición de geocercas: una mejora de la conciencia geográfica que permite enviar los cambios de la geocercas a los UAS de forma inmediata. El UAS debe tener la capacidad de solicitar, recibir y utilizar datos de geofencing.
	Monitoreo de infraestructura de navegación: proporciona información de estado sobre la infraestructura de navegación durante las operaciones. Este servicio debería dar advertencias sobre la pérdida de precisión de la navegación.
	Monitoreo de infraestructura de comunicaciones: proporciona información de estado sobre la infraestructura de comunicación durante las operaciones. El servicio debería dar advertencias sobre la degradación de la infraestructura de comunicaciones.
	Servicio de información geoespacial: recopila y proporciona mapas de terreno, edificios y obstáculos relevantes (con diferentes niveles de precisión) para la operación del dron.
	Mapa de densidad de población: recopila y presenta un mapa de densidad de población para que el operado del dron evalúe el riesgo terrestre.
	Información sobre interferencias electromagnéticas: recopila y presenta información de interferencias electromagnéticas relevante para la operación del dron.
	Información de cobertura de medios de navegación: proporciona información sobre la cobertura de navegación para las misiones que dependerán de ella. Esta información puede especializarse dependiendo de la infraestructura de navegación disponible (por ejemplo, terrestre o satelital).
<u>Autorización de vuelo</u>	Medios de comunicación información de cobertura: proporciona información sobre la cobertura de comunicaciones para las misiones que dependerán de ella. Esta información puede especializarse dependiendo de la infraestructura de comunicación disponible (por ejemplo, terrestre o satelital).
	Resolución estratégica de conflictos: comprueba posibles conflictos en un plan operativo específico y propone soluciones durante el procesamiento del plan operativo.
	Preparación/optimización del plan de operación: proporciona asistencia al operador en la presentación de un plan de operación. Este servicio funciona como interfaz entre el operador del dron y el servicio de procesamiento del plan de operación.

	<p>Servicio de procesamiento de planes de operación: un servicio de acceso controlado y crítico para la seguridad que gestiona los planes de operación en vivo enviados a través del servicio de preparación de planes de operación y los compara con otros servicios. El servicio gestiona los flujos de trabajo de autorización con las autoridades pertinentes y tiene en cuenta dinámicamente los cambios en el espacio aéreo.</p>
	<p>Asistencia en análisis de riesgo: proporciona un análisis de riesgo, principalmente para operaciones específicas, combinando información de otros servicios: AIM de drones, medio ambiente, información de tráfico... Esto también puede ser utilizado por servicios de seguros.</p>
<u>Información del tráfico</u>	<p>Proporciona al piloto u operador del dron información sobre otros vuelos que pueden ser de interés para el piloto del dron; generalmente, donde podría haber algún riesgo de colisión con la propia aeronave del piloto.</p>

Tabla 1: Servicios obligatorios del U-space.
Fuente: Elaboración propia a partir de información de EASA.

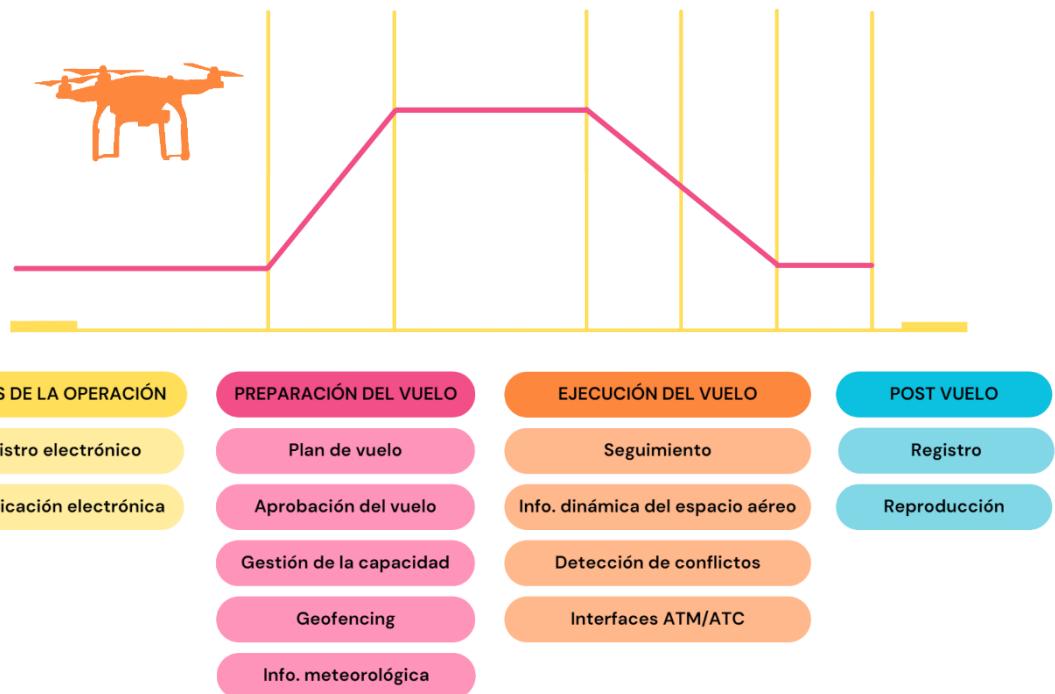


Figura 2: Descripción de las funciones del U-space.
Fuente: [32]

Además de los servicios obligatorios establecidos en los espacios aéreos U-space, hay servicios opcionales que se podrían ser requeridos en ciertas circunstancias, tras una evaluación de riesgos adecuada:

- Información meteorológica: este servicio recopila y presenta información meteorológica relevante que apoyan las fases de planificación y ejecución del vuelo, contribuyendo así a mantener la seguridad durante las operaciones.
- Supervisión de la conformidad: este servicio deberá proporcionar alertas en tiempo real sobre a los operadores que se desvían de la trayectoria planificada en su autorización de vuelo. Además, informa a otros operadores que operen en las proximidades de los UAS afectados, a los proveedores de servicios U-space y a los operadores de servicios de tránsito aéreo, garantizando así la seguridad y la coordinación en el espacio aéreo compartido.

SERVICIO U-SPACE	DESCRIPCIÓN MEJORADA DEL SERVICIO U-SPACE A NIVEL DE SOLUCIÓN
<u>Información meteorológica</u>	<p>Servicio de observación meteorológica: responsable de proporcionar información meteorológica en tiempo real para las operaciones de drones y garantizar que estas sean confiables, precisas, correctas, actualizadas y disponibles.</p> <p>Servicio de pronóstico del tiempo: responsable de proporcionar información meteorológica prevista para las operaciones de drones y garantizar que éstas sean confiables, precisas, correctas, actualizadas y disponibles.</p>
<u>Monitoreo de conformidad</u>	<p>Supervisión: proporciona alertas de monitoreo (preferiblemente audibles) sobre el proceso de un vuelo (por ejemplo, monitoreo de conformidad, monitoreo de cumplimiento climático, monitoreo de cumplimiento de riesgos en tierra, monitoreo electromagnético...).</p> <p>Gestión de emergencias: brinda asistencia a un piloto remoto que experimenta una emergencia con su dron y comunica información emergente a las partes interesadas.</p>

Tabla 2: Servicios opcionales del U-space.
Fuente: Elaboración propia a partir de información de EASA.

El establecimiento de U-space conlleva la incorporación al sistema global de dos nuevos proveedores de servicios. Por un lado, los CISP serán responsables de ofrecer un servicio que consiste en la difusión de datos estáticos y dinámicos necesarios para la gestión del tráfico de aeronaves no tripuladas. En los espacios aéreos U-space designados por el Estado, los proveedores CISP difundirán la información común necesaria para el funcionamiento del sistema, facilitando la interconexión con los sistemas de control de tráfico aéreo de los proveedores de servicios afectados y entre los propios proveedores de servicios de U-space para el intercambio de datos operativos estáticos y dinámicos. Este actuará como una fuente única y confiable de toda esta información común.

Por otro lado, los servicios de U-space serán proporcionados por diversos USSP certificados durante todas las fases de operación. Estos se coordinarán activamente con los proveedores de ATS y con otros USSP, ya sea directamente o a través de los CISP, para el intercambio de información y asegurar el correcto funcionamiento de todas las operaciones.

El Reglamento de U-space permite a cada Estado elegir el modelo de prestación de servicios de U-space, el cual puede ser centralizado o distribuido según la decisión de la autoridad competente.

En el modelo de prestación de servicios centralizado, se asignará un único proveedor de Servicios Comunes de Información en todo o en algunos de los espacios aéreos U-space. Este proveedor actuará como el único punto de acceso para a información común y podrá centralizar las coordinaciones entre los USSP y ATS.

En el modelo de prestación de servicios distribuido, no se incluirá la figura del proveedor CIS y son los Estados los responsables de proporcionar a todas las partes la información común, asegurando que los datos operativos relevantes estén disponibles por parte de los proveedores ATS. Las coordinaciones entre los USSPs y los proveedores ATS se llevan a cabo directamente sin intermediarios.

En términos de EASA, las aplicaciones del U-space se agrupan bajo el término Servicios Aéreos Innovadores y comprenden dos grandes grupos de aplicaciones: las operaciones y IAM. Esta última singulariza la UAM del transporte aéreo regional e internacional.

Otra aplicación de U-space con mucho potencial será el uso de drones más pequeños para las operaciones aéreas más variadas incluyendo, entre otras:

- Vigilancia de tráfico, control medioambiental, servicios de seguridad
- Transporte de órganos y material médico urgente
- Paquetería urgente de todo tipo de bienes y productos
- Inspección de infraestructuras, obras...

Los beneficios que se pueden obtener del U-space, entre otros.

- Establecimiento de un sistema dinámico del tráfico aéreo, integrado con la aviación tripulada y accesible en todo momento.
- Asegurar la seguridad de todos los usuarios del espacio aéreo y de las personas en tierra, adoptando un enfoque fundamentado en la gestión del riesgo.
- Aprovechamiento de las infraestructuras aeronáuticas y de otros sectores para agilizar su implantación.
- Reducir al mínimo el impacto ambiental y potenciar la interoperabilidad urbana, manteniendo el respeto por la privacidad de los ciudadanos.
- Habilitar el funcionamiento de las operaciones de UAS en entornos de alta densidad a través de sistemas autónomos.

Es crucial resaltar y difundir el papel y las habilidades que desempeñan las distintas administraciones y entidades implicadas en el ámbito de la aviación tripulada, que ahora se extienden al desarrollo y despliegue del U-space y la operación de los UAS:

DGAC:

- Entidad reguladora del MITMA.
- Encargada de la coordinación a nivel nacional e internacional con otras organizaciones, centralizando temas relacionados con el espacio aéreo, entre otros.

AESA:

- Autoridad nacional encargada de la supervisión en materia de seguridad.
- Encargada de garantizar el cumplimiento de las normativas nacionales y comunitarias.

- Responsable de certificar, supervisar e inspeccionar a los USSP y a los CISP.

ENAIKE:

- Organismo público empresarial dependiente del MITMA.
- Encargado de la gestión de la navegación aérea en España.
- Próximo USSP para actividades específicas del sector público y futuro CISP una vez obtenida la certificación.

CIDETEMA:

- La Comisión Interministerial entre los MINISDEF y MITMA, es el órgano colegiado responsable de la organización del espacio aéreo en España

MINDEF:

- Participará en la integración del desarrollo del U-space con los requisitos de la Defensa Nacional, en colaboración con el MITMA.

Otros Departamentos ministeriales, Administraciones Autonómicas y Locas:

- La implementación del U-space, con un enfoque especialmente urbano y territorial, necesitará coordinar su despliegue con otros ministerios y con las autoridades territoriales y locales.

Aparte de las entidades gubernamentales y los dos nuevos proveedores de servicios en el contexto del U-space, existen otros actores involucrados en este sistema de gestión del tráfico aéreo no tripulado: CISPs, USSPs, ATSPs, CNS, SDSPs...

La implementación del concepto U-space implica la colaboración de diversos actores, autoridades y entidades en todos los niveles de gobernanza. La normativa europea referente al U-space estipula que todas estas partes deben coordinarse de manera adecuada para garantizar un despliegue eficaz del U-space.

2.1. IMPLEMENTACIÓN DEL U-SPACE

La regulación U-Space se desplegará en cuatro fases, adaptándose a la complejidad de las acciones y servicios operativos que se introducirán. Estas fases, etiquetadas como U1 a U4, comprenden:

La implementación del U-Space se desglosa en cuatro fases secuenciales, cada una diseñada para introducir gradualmente nuevas capacidades y funcionalidades que mejorarán significativamente la gestión del espacio aéreo no tripulado.

En la Fase U1 (2019) son los Servicios básicos del U-space, que marca el inicio del proceso, se establecen los fundamentos del sistema. Aquí, se implementan servicios esenciales como el e-registration, e-identification, y el sistema de geo-fencing. Este último establece áreas geográficas restringidas para evitar la entrada en zonas sensibles o prohibidas, y la planificación digital de vuelos, que permite a los pilotos trazar rutas precisas y eficientes. Además, se proporciona información básica sobre los vuelos y datos operativos de drones registrados, lo que sienta las bases para una gestión más organizada y transparente del espacio aéreo.

A medida que avanzamos a la Fase U2 (2021), encontramos los servicios iniciales del U-space, que hacen la gestión de operaciones de drones incluyendo plan de vuelo, aprobación de vuelos, seguimiento y control... También se agregan servicios adicionales para enriquecer la experiencia de los pilotos y mejorar la seguridad operativa. Además, se introduce el seguimiento de aeronaves y la solicitud digital de permisos para diversas operaciones, junto con información actualizada sobre el tráfico aéreo y las condiciones

meteorológicas, y la capacidad de gestionar situaciones de emergencia de manera más efectiva.

La Fase U3 (2025) son los servicios más avanzados del U-space como operaciones complejas en áreas densas, gestión y asistencia para la detección de conflictos, funcionalidades DAA, etc. Esta fase marca un paso hacia la automatización y la optimización avanzada del tráfico aéreo no tripulado. Aquí, se implementan sistemas sofisticados de detección y evasión de obstáculos, que permiten a las aeronaves evitar de forma autónoma posibles colisiones o peligros. Además, se establece una comunicación más activa y colaborativa entre las aeronaves y las autoridades reguladoras del espacio aéreo, lo que contribuye a una gestión más eficiente y segura del tráfico aéreo no tripulado.

Finalmente, en la Fase U4 (2030) encontramos los servicios completos del U-space, son los que ofrecen interfaces integradas con la aviación tripulada, los que apoyan la capacidad operativa del espacio, basados en un alto nivel de interconexión, automatización y digitalización. En esta etapa se alcanza la integración total y la automatización avanzada. Además, todos los servicios y funcionalidades introducidos en las fases anteriores se fusionan en un sistema altamente automatizado e interconectado. Se facilita la comunicación y la colaboración entre todas las aeronaves, los pilotos y las autoridades reguladoras, permitiendo una gestión fluida y eficiente del espacio aéreo no tripulado. También, se introducen servicios adicionales, como la capacidad de interconexión entre todas las aeronaves en vuelo, lo que optimiza aún más la eficiencia operativa y la seguridad del sistema.



Figura 3: Fases de implantación del U-space.
Fuente: Elaboración propia basada en información de EASA y SESAR.

3. SESAR

Los drones representan un próspero negocio en expansión en Europa, desplegando una amplia gama de servicios en diversos entornos, incluso en zonas urbanas. Desde la cartografía hasta la entrega de mercancías, pasando por inspecciones de infraestructuras y agricultura de precisión, estos dispositivos ofrecen soluciones versátiles para una variedad de necesidades. La creación de un marco regulatorio claro a nivel de la Unión Europea abriría las puertas a un mercado europeo unificado para los servicios de drones, capitalizando así el potencial de generación de empleo y crecimiento económico en este emergente sector.

El concepto de U-space, por su parte, se erige como un conjunto de innovadores servicios respaldados por una alta digitalización y automatización, diseñados específicamente para garantizar un acceso seguro, eficiente y protegido al espacio aéreo para una gran cantidad de drones. Este marco habilitante busca facilitar una

amplia gama de misiones rutinarias, en todos los tipos de espacio aéreo y entornos, incluso aquellos altamente congestionados, mientras garantiza una interfaz adecuada con la aviación tripulada y el control del tráfico aéreo. En esta línea, en 2017, el SESAR Joint Undertaking (Single European Sky ATM Research), en alianza con la Unión Europea, elaboró el proyecto U-space, delineando una visión para hacer que esta infraestructura sea operativamente viable, con el objetivo de respaldar y potenciar la integración segura y eficiente de los drones en el espacio aéreo europeo.

SESTAR es una iniciativa conjunta de la Comisión Europea, EUROCONTROL y la industria aeroespacial europea. Su objetivo es modernizar y unificar el sistema de gestión del tráfico aéreo en Europa, promoviendo la eficiencia, la sostenibilidad y la seguridad en el transporte aéreo. SESAR busca desarrollar y desplegar nuevas tecnologías y procedimientos para mejorar la capacidad y la gestión del tráfico aéreo, así como para integrar de manera efectiva a los drones y otras aeronaves no tripuladas en el espacio aéreo europeo.

Para gestionar de manera segura el crecimiento proyectado del tráfico aéreo y reducir su impacto medioambiental, el proyecto SESAR persigue una visión de contar con un sistema de gestión del tráfico aéreo completamente escalable. Este sistema estaría preparado para manejar el incremento previsto en el tráfico aéreo, tanto de aeronaves tripuladas como no tripuladas. La visión se fundamenta en el concepto de operaciones basadas en la trayectoria, que permiten a los usuarios del espacio aéreo seguir rutas de vuelo preferidas, llevando pasajeros y mercancías a sus destinos de manera eficiente y rentable. Para lograr esto, se plantea una transformación digital del sistema de infraestructura subyacente, con un aumento significativo en la automatización y conectividad. Esta infraestructura será modular y ágil, permitiendo a los proveedores de servicios de tráfico y datos del espacio aéreo conectar sus operaciones según sea necesario, superando las fronteras nacionales y respaldados por una gama más amplia de servicios. Los aeropuertos serán totalmente integrados en la red de ATM, optimizando las operaciones en el espacio aéreo. Esta visión se aplicará en toda la red de aviación europea, en lugar de segmentar el espacio aéreo como se hace actualmente.

La SESAR JU ha desarrollado un marco denominado U-Space con el objetivo de integrar los drones de manera efectiva en el espacio aéreo y armonizar la operación tanto de aeronaves tripuladas como no tripuladas en el Cielo Único Europeo [20]. Este enfoque requiere un marco regulatorio integral que considere todos los aspectos necesarios para una integración segura y efectiva, garantizando que ambas categorías de aeronaves puedan realizar operaciones de vuelo con total seguridad, tanto desde un punto de vista técnico como legal.

4. SORA

Al realizar una operación no cubierta por una STS o una PDRA, los solicitantes deben realizar una evaluación de riesgos, identificar mitigaciones y cumplir con los objetivos de seguridad. Para ello se desarrolla la metodología de evaluación de riesgos, conocida como SORA [1].

El SORA es una metodología para la clasificación del riesgo que supone el vuelo de un dron en la categoría específica de operaciones y para la identificación de mitigaciones y de la seguridad. Ayuda al operador a identificar las limitaciones operativas, los objetivos de formación del personal esencial para la operación (por ejemplo, pilotos remotos, observadores, mantenedores, etc.), los requisitos técnicos del dron y a

desarrollar los procedimientos operativos adecuados que formarán parte del operador manual.

La Metodología SORA, como planteamiento holístico, trata de agrupar todas las posibles amenazas, y las clasifica en cinco grandes grupos:

- Fallo técnico del UAS
- Error humano
- Colisión en el aire
- Condiciones adversas de operación
- Deterioro de los sistemas externos que apoyan a la operación

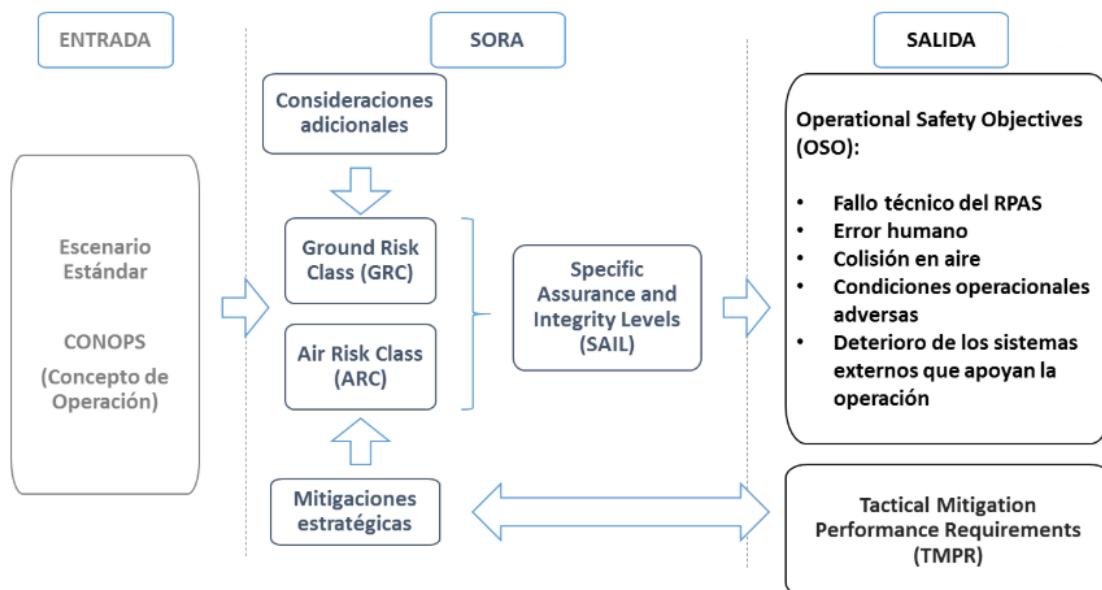


Figura 4: Esquema general de la metodología SORA.
Fuente: [18]

Este proceso es una herramienta valiosa para los operadores de drones, ya que permite evaluar la viabilidad y la seguridad de las operaciones de drones, promover la seguridad en la industria de drones, definir los requisitos reglamentarios específicos para las diferentes operaciones y establecer un marco para la toma de decisiones basadas en la gestión de riesgo.

Es un proceso de 10 pasos que inicia con la descripción de la operación y la evaluación del riesgo terrestre y aéreo:

- El GRC está relacionado con el riesgo que supone para personas, bienes o infraestructuras críticas el impacto de un dron. Se ve afectado por:
 - o la densidad de población
 - o el tipo de operación:
 - VLOS
 - BVLOS
 - o el tamaño del dron
 - o las mitigaciones aplicadas
- La determinación de ARC considera la probabilidad de encontrar aeronaves tripuladas en el espacio aéreo. Esto se deriva de:

- la densidad del tráfico aéreo tripulado en el espacio aéreo
- las mitigaciones aplicadas.

Combinando el valor de riesgo residual aéreo y terrestre, se definen los valores de riesgo intrínsecos de la operación completa, llamados SAIL (Nivel de integridad de garantía específica).

Un SAIL de alto valor representa una operación con alto riesgo potencial. Una vez determinado el SAIL, el solicitante debe pasar por los 24 objetivos de OSO y demostrar el cumplimiento de un nivel de robustez que aumenta con el SAIL de la operación (por ejemplo, operaciones con mayor SAIL, es decir, con mayor riesgo intrínseco, Se requerirá que demuestren cumplimiento con un mayor nivel de robustez, lo que significa un estándar más exigente y que demuestren cumplimiento ante la NAA.

El último punto es evaluar el nivel de riesgo del área adyacente al área de operación, y cumplir con los requisitos para proteger dicha área y contener el dron en el área operativa en caso de un vuelo lejano.

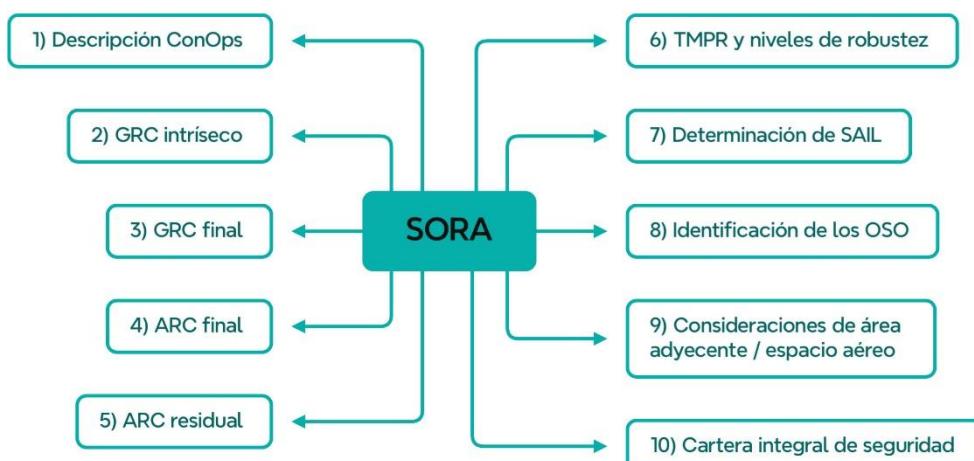


Figura 5: metodología SORA – 10 pasos.
Fuente: elaboración propia con info de EASA.

A continuación, se describen generalmente los diferentes pasos del SORA:

1) Descripción CONOPS

Es la evaluación inicial por parte del operador, aquí se incluye toda la información relevante de forma clara y sencilla sobre el sistema, las operaciones y los detalles técnicos necesarios para evaluar los riesgos asociados a la operación a que se pretende realizar. Se deberán incluir, al menos, los siguientes aspectos:

- Tipo de actividad:
 - operación aérea especializada
 - vuelo experimental
- MTOM de la aeronave/s:
 - < 2kg
 - 2 kg < MTOM < 25 kg
 - 25 kg < MTOM < 50 kg
 - 50 kg < MTOM < 150 kg
 - > 150 kg
- Altura de vuelo:
 - ≤ 120 m

- > 120 m
- Tipo de espacio aéreo:
 - Espacio aéreo controlado, indicando proximidad a aeródromos
 - FIZ
 - Fuera de las anteriores
- Tipo de zona donde se desarrolla la operación:
 - Fuera de aglomeraciones de edificios o reuniones de personas
 - Aglomeraciones de edificios
 - Reuniones de personas
- Horarios de vuelo:
 - Diurno
 - Nocturno

Además, si se estima significativo para la operación se deberá añadir la información siguiente:

- Técnicamente relevante:
 - Aeronaves y limitaciones
 - Navegación
 - Mando y control
 - Comunicaciones
 - Estructura
 - Software y equipos
- Entrenamiento y formación:
 - Competencia

El operador debe tener en cuenta, de acuerdo con el modelo semántico de SORA, las distancias de seguridad, tanto en tierra como en aire, para minimizar el riesgo asociadas al tipo de operación (situaciones normales, anormales y de emergencia). El modelo semántico es el modelo utilizado en SORA que correlaciona las fases de operación, los procedimientos y los volúmenes operativos.

1) GRC intrínseco

Este paso consiste en el cálculo del índice GRC, correspondiente al riesgo intrínseco de colisión en tierra (riesgo de que una persona sea golpeada por el RPA en caso de pérdida de control de este) y que se representa mediante una serie de clases de riesgo en tierra (GRC), derivadas únicamente de la operación prevista y de la dimensión y energía cinética del RPA mediante un método cualitativo. Esto se determina en base al peso y las dimensiones físicas de la aeronave, teniendo en cuenta, además, las condiciones propias de cada operación.

2) GRC final

Este paso permite la determinación del GRC final basado en la disponibilidad de medidas de mitigación relacionadas con la operación. Es definido en base a ciertos aspectos relacionados al diseño que pueden tener un efecto significativo en el riesgo que presupone la propia aeronave. Estas tres medidas de mitigación modifican el valor intrínseco del GRC y tienen un efecto directo en los objetivos de seguridad asociados a una operación específica.

		Robustez		
Secuencia Mitigación	Adaptación del GRC	Ninguna/ Baja	Media	Alta
M1	Se dispone de un Plan de Respuesta a la emergencia efectivo, disponible para su uso, y que ha sido validado	1	0	-1
M2	Se dispone de sistemas que reducen los efectos del impacto sobre personas en tierra	0	-1	-2
M3	Se dispone de sistemas de contención técnica implementada y efectiva	0	-2	-4

Tabla 3: Mitigaciones para la determinación del índice GRC final.

Fuente: [18]

Se deberá contar en todos los casos con un sistema para la terminación segura del vuelo que el operador describirá dentro del Plan de Respuesta a la emergencia (M1). Además, en caso de operaciones sobre aglomeraciones de edificios en ciudades, pueblos o lugares habitados o de reuniones de personas al aire libre, el RPA estará provisto de un dispositivo de limitación de energía de impacto (M2). En este caso, el nivel de garantía debería ser, al menos, Medio (M) para robustez Baja (L) y Media (M).

GRC final debe ser de nivel 7 o menor. Si no es así, la operación propuesta no podrá ser llevada a cabo utilizando la metodología SORA

3) ARC inicial

En este punto comienza el proceso de evaluar el riesgo intrínseco de colisión en aire. Se evalúa teniendo en cuenta el espacio aéreo solicitado en el primer paso. Es una manera cualitativa de determinar el riesgo de una colisión de un RPA con una aeronave tripulada en un determinado espacio aéreo. El ARC se aborda mediante mitigaciones estratégicas y tácticas.

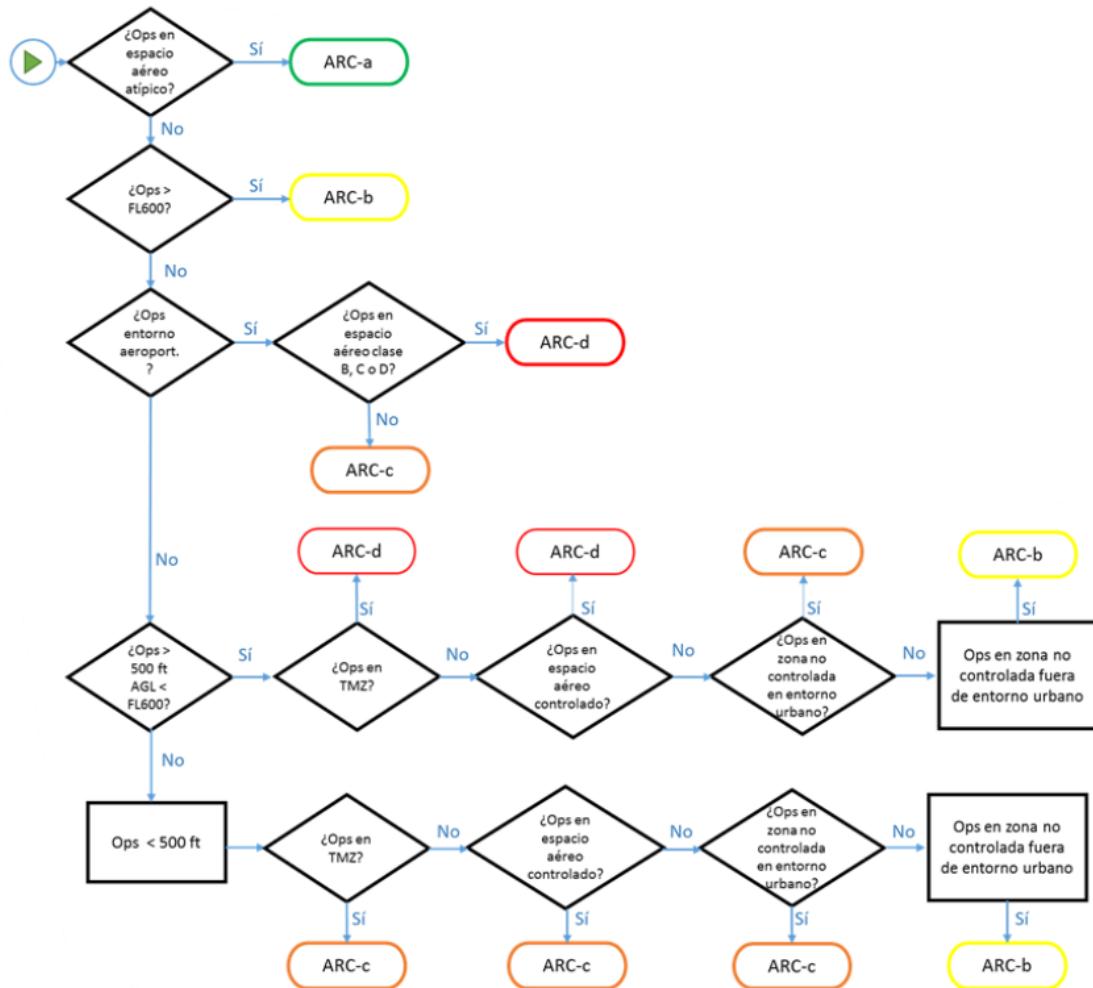


Figura 6: Flujograma para la determinación del ARC.

Fuente: [18]

Los factores que lo determinan son: espacios aéreos atípicos (segregados, por ejemplo) o típicos, altitud, presencia de control de tráfico aéreo, cercanía de aeropuertos y espacios aéreos sobre amientes urbanos o rurales.

	AEC	Espacio Aéreo Operacional	ARC	Ratio inicial de densidad generalizada por SME
Operaciones en espacio aéreo por encima de 500ft AGL	1	Operaciones por encima de 500ft AGL en un entorno aeroportuario definido en SORA.	d	5
	2	Operaciones por encima de 500ft AGL en un TMZ.	d	5
	3	Operaciones por encima de 500ft AGL	d	4

		en espacio aéreo controlado.		
	5	Operaciones en espacio aéreo no controlado fuera de entornos urbanos.	c	2
Otros	11	Operaciones por encima de FL600.	b	1
Operaciones en espacio aéreo por debajo de 500ft AGL.	6a	Operaciones por debajo de 500ft AGL en un entorno aeroportuario definido en SORA en espacio aéreo clase B, C o D.	b	4
	6b	Operaciones por debajo de 500ft AGL en un entorno aeroportuario definido en SORA y en espacio aéreo clase E, F o G fuera de entornos urbanos.	c	3
	6c	Operaciones por debajo de 500ft AGL en un entorno aeroportuario definido en SORA y en espacio aéreo Clase F o G fuera de entornos urbanos.	b	2
	7	Operaciones en una TMZ o clase F o G.	c	3
	8	Operación en espacio aéreo controlado por debajo de 500ft AGL.	c	3
	9	Operaciones en espacio aéreo no controlado por debajo de 500ft AGL, en entornos urbanos.	C	2
	10	Operaciones por debajo de 500ft AGL en espacio aéreo no controlado y fuera de entornos urbanos.	b	1
Otros	12	Operaciones en espacio aéreo atípico.	a	1

Tabla 4: Determinación del ARC inicial y del ARC intermedio.
Fuente: [30]

Lo primero que debe hacer el operadore es determinar la AEC para la metodología SORA. La AEC clasifica los volúmenes de espacio aéreo donde se realizará la operación, reflejando los niveles percibidos de riesgo de colisión.

Con la AEC, el operador puede asignar un nivel de riesgo a la operación. Antes de determinar la AEC, se debe considerar si la operación se realizará en espacio aéreo controlado o FIZ, incluida la zona de tránsito de aeródromo. En estos casos, el estudio aeronáutico de seguridad debe considerarse con el proveedor de servicios de tránsito aéreo designado para ese espacio aéreo. Por lo tanto, el operador deberá acordar con este proveedor al menos los pasos del 4 al 8 de la metodología.

4) ARC residual

En este paso el operador podrá establecer las mitigaciones necesarias para reducir el riesgo de colisión en aire. Mide el riesgo aéreo que queda después de haber aplicado medidas de mitigación. Las mitigaciones que se deberán considerar en el estudio serán aquellas que reduzcan el riesgo a un nivel aceptable y, para ello, deben plantearse en dos fases:

- Mitigaciones estratégicas con antelación suficiente a las operaciones.
- Mitigaciones tácticas que se podrán en práctica durante la propia operación.

Las mitigaciones estratégicas reducirán en un cierto nivel el riesgo de la operación, quedando un nivel de riesgo residual que deberá ser mitigado hasta un nivel aceptable por las mitigaciones tácticas. El operador deberá plantear en el estudio aeronáutico de seguridad una lista con estas mitigaciones acordadas con el proveedor de servicios de navegación aérea, si es el caso, que pueden conseguir el objetivo deseado, y que pondrá en aplicación cuando se den las operaciones concretas en función de las necesidades de las mismas, entendiendo que esto forma parte del funcionamiento del operador y asumiendo la importancia de ser exhaustivo en la recopilación de mitigaciones y justificación para contar con ellas. Estas mitigaciones se podrían clasificar a su vez, en mitigaciones estratégicas por restricciones operacionales y en mitigaciones estratégicas por estructuración y reglas.

5) TMPR y niveles de robustez

Las mitigaciones tácticas se aplican para atenuar cualquier riesgo residual de una colisión en aire a fin de lograr el objetivo de seguridad para el volumen de espacio aéreo considerado. Se refieren a las funciones de detección, decisión, comando, ejecución y feedback para cada tipo de riesgo aéreo. Son mitigaciones tácticas que se aplican durante la operación y que buscan amortiguar cualquier riesgo residual ante una eventual colisión a una altura media que pueda darse después de la aplicación de las mitigaciones estratégicas.

En definitiva, se considera medidas de mitigación tácticas aquellos procedimientos o decisiones establecidas en un período de tiempo muy pequeño durante el transcurso de la operación de forma que se reduzca el riesgo de colisión en aire mediante la fórmula general de “ve, decide, evita y da feedback”.

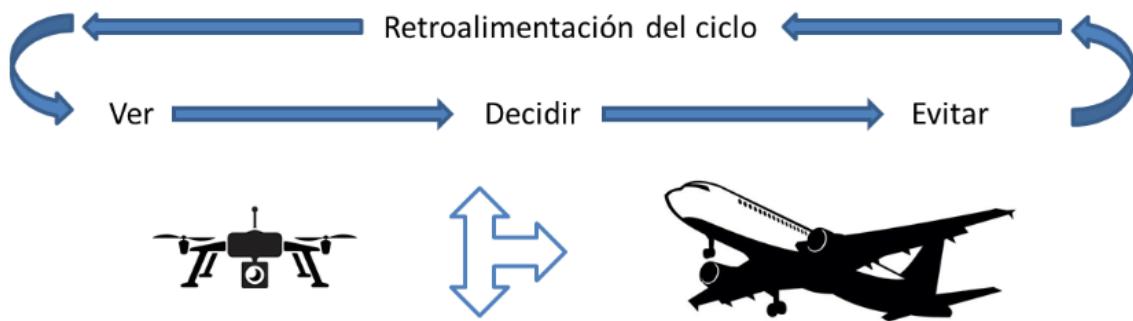


Figura 7: Esquema “ve, decide, evita y da feedback”.
Fuente: [18]

Cuando no sea factible utilizar un enfoque de "Ver y Evitar", se considerarán otras alternativas según el nivel de riesgo de la operación. Estas alternativas pueden incluir:

- ATS
- TCAS)
- ACAS-X
- MIDCAS
- DAA
- ABSAA
- GBSAA
- Sistemas de alarma en vuelo para aviación general
- Servicios UTM específicos (si estuvieran disponibles)

6) Determinación del SAIL

El parámetro utilizado para consolidar el análisis de riesgo tanto en tierra como en aire, y para realizar las operaciones necesarias es el SAIL. Este indica el nivel de confianza en que la operación del RPAS se mantendrá bajo control.

Después de determinar el GRC y el ARC residual, se puede derivar el SAIL correspondiente al ConOps propuesto. El nivel de confianza que representa el SAIL es cualitativo y abarca los objetivos a alcanzar, la descripción de las actividades que pueden apoyar el cumplimiento de esos objetivos y la evidencia que demuestre que los objetivos han sido alcanzados.

Determinación del SAIL				
	ARC residual			
GRC final	a	b	c	d
1	I	II	IV	VI
2	I	II	IV	VI
3	II	II	IV	VI
4	III	III	IV	VI
5	IV	IV	IV	VI

6	V	V	V	VI
7	VI	VI	VI	VI
>7	Categoría certificada (C)			

Tabla 5: Determinación del SAIL.

Fuente: [18]

7) Identificación de los OSO

En esta instancia el operador debe demostrar que el SAIL asignado está en conformidad con los 24 objetivos de OSO, aunque en algunos casos ciertos objetivos pueden resultar opcionales. Se deben evaluar las defensas frente las posibles amenazas dentro de la operación en forma de OSOs y nivel de robustez asociados dependiendo del SAIL.

Cada OSO debe estar en concordancia con los niveles de robustez (Alto, Medio y Bajo) requeridos según el SAIL. También abarcan aspectos como errores humanos, condiciones ambientales adversas, deterioro de los sistemas externos y complicaciones técnicas de la aeronave.

La tabla siguiente ofrece una metodología cualitativa para realizar esta determinación. En esta tabla, "O" significa opcional, "L" indica baja robustez, "M" representa robustez media y "H" denota alta robustez. Los diferentes OSOs están agrupados según la amenaza que contribuyen a mitigar.

N.º del OSO	Barrera a la amenaza	SAIL					
		I	II	III	IV	V	VI
Problema técnico del RPAS							
OSO#1	Hay que asegurar que el operador es competente y/ o ha demostrado su capacidad como tal	O	L	M	H	H	H
OSO#2	El RPAS es fabricado por una entidad competente y/ o aprobada	O	O	L	M	H	H
OSO#3	El mantenimiento del RPAS se realiza por una entidad competente y/ o probada	L	L	M	M	H	H
OSO#4	El RPAS ha sido desarrollado según estándares de diseño reconocidos	O	O	O	L	M	H
OSO#5	El rendimiento del enlace CR es adecuado para la operación	O	L	L	M	H	H
OSO#6	El RPAS está diseñado considerando la seguridad y fiabilidad del sistema	O	O	L	M	H	H
OSO#7	Inspección del RPAS (inspección del producto) para garantizar la coherencia con el ConOps	L	L	M	M	H	H
OSO#8	Se definen, validan y se implementan procedimientos operacionales para afrontar problemas técnicos con el RPAS	L	M	H	H	H	H
OSO#9	La tripulación remota está entrenada adecuadamente, incluyendo el entrenamiento recurrente, y es capaz de controlar la situación anormal desde el punto de vista técnico del sistema	L	L	M	M	H	H

OSO#10	Recuperación segura del sistema ante un problema técnico	L	L	M	M	H	H
Deterioro de los sistemas externos que apoyan el funcionamiento del RPAS							
OSO#11	Se definen, validan y se implementan procedimientos operacionales que sirvan para manejar el deterioro de los sistemas externos que apoyan la operación del RPAS	L	M	H	H	H	H
OSO#12	El RPAS está diseñado para gestionar el deterioro de los sistemas externos que le apoyan	L	L	M	M	H	H
OSO#13	Los servicios externos que apoyan la operación del RPAS son adecuados para la operación	L	L	M	H	H	H
OSO#14	Se definen, validan y se implantan procedimientos operacionales para afrontar errores humanos	L	M	H	H	H	H
OSO#15	La tripulación remota está entrenada adecuadamente. Incluyendo el entrenamiento recurrente, y es capaz de controlar la situación anormal desde el punto de vista del error humano	L	L	M	M	H	H
OSO#16	Coordinación de la tripulación múltiple	L	L	M	M	H	H
OSO#17	La tripulación remota se encuentra en condiciones adecuadas para la operación	L	L	M	M	H	H
OSO#18	Se establece protección automática de la envolvente de vuelo frente a error humano	O	O	L	M	H	H
OSO#19	Recuperación segura tras un error humano	O	O	L	M	M	H
OSO#20	Se realiza una adecuada evaluación de los Factores Humanos, y el HMI es adecuado para la operación	O	L	L	M	M	H
Condiciones operacionales adversas							
OSO#21	Se definen, validan y se implantan procedimientos operacionales adecuados en caso de que existan condiciones adversas	L	M	H	H	H	H
OSO#22	La tripulación remota está entrenada para identificar las condiciones ambientales críticas y evitarlas	L	L	M	M	M	H
OSO#23	Se definen las condiciones del entorno para operaciones seguras, de manera que sean medibles y se establecen procedimientos para gestionarlos	L	L	M	M	H	H
OSO#24	El RPAS ha sido diseñado y calificado para condiciones ambientales adversas.	O	O	M	H	H	H

Tabla 6: OSOs recomendados.

Fuente: [18]

Debe tenerse en cuenta que el requisito de contar con medios para que el piloto conozca la posición de la aeronave durante el vuelo puede incluirse en los requisitos que se establezcan para el OSO#13.

8) Consideraciones de área adyacente / espacio aéreo

Se trata de contemplar los riesgos que supone la pérdida de control operacional en áreas adyacentes a la zona establecida para la operación, tanto en la tierra como en el aire. El operador tiene la responsabilidad de examinar las posibles consecuencias si las medidas estratégicas de mitigación no funcionan, evaluando la probabilidad de que esto suceda. Este análisis debe tener en cuenta el tipo de espacio aéreo adyacente, identificando especialmente aquellos que podrían representar un riesgo más elevado. Por lo tanto, el operador debe proporcionar una justificación sólida de que las medidas estratégicas implementadas mantienen al RPAS dentro del espacio aéreo planificado para la operación.

Se considera adecuado que el equipo cumpla con una serie de requisitos específicos, dependiendo del contexto. Para propósitos de asegurar una robustez baja:

- Debe haber un sistema de medición de altura con un margen de error inferior a 10 metros.
- La representación de altura debe ser sobre el punto de despegue.
- Debe existir un sistema de detección de obstáculos o un observador, según sea necesario.
- El retraso en la representación no debe exceder los 2 segundos.
- La posición horizontal debe basarse en referencias o equipos, con un margen de error de menos de 20 metros.
- Debería haber una función de alerta en caso de que el RPA se salga de los límites establecidos.

Sería apropiado incluir en el equipo un sistema GNSS o referencias visuales.

9) Cartera integral de seguridad

Consiste en la presentación del estudio SORA ante las autoridades competentes antes de la autorización final. Este documento incluye una serie de mitigaciones y objetivos de seguridad que deben considerarse para garantizar un nivel adecuado de confianza en la que la operación puede llevarse a cabo de manera segura:

- Mitigaciones utilizadas para modificar el GRC intrínseco.
- Mitigaciones estratégicas para el ARC inicial.
- Mitigaciones tácticas para el ARC residual + consideraciones sobre las áreas adyacentes/ espacio aéreo
- OSO

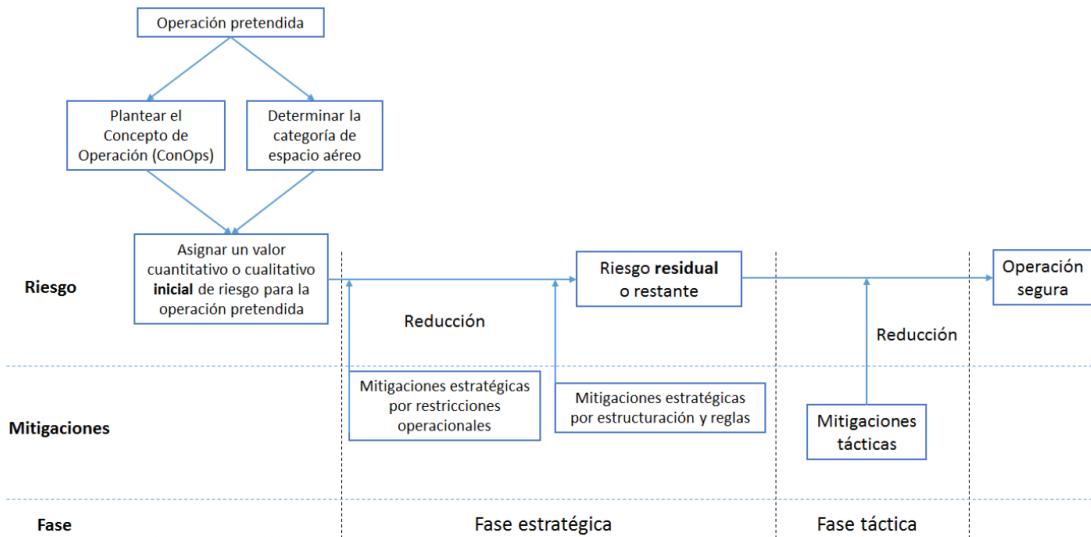


Figura 8: Esquema del análisis de riesgos y sus mitigaciones para el análisis del riesgo de colisión en aire.

Fuente: [18]

La adecuada justificación de las mitigaciones y los objetivos exigidos por el proceso SORA brinda un nivel de confianza suficiente para asegurar que la operación propuesta se pueda realizar de manera segura. El operador debe asegurarse de tener en cuenta cualquier requisito adicional que no haya sido identificado por el proceso SORA.

Antes de avanzar con la evaluación de la solicitud, es esencial realizar una preevaluación para determinar varios aspectos críticos. Esto implica considerar si la operación puede ser clasificada dentro del régimen de comunicación previa, si hay circunstancias en las que la operación sea inviable, si se necesita un certificado de aeronavegabilidad con un alto nivel de riesgo asociado, o si un escenario estándar puede ser aplicado a la operación. Si las respuestas a estas interrogantes son negativas, se aconseja emplear la Metodología SORA para una evaluación más detallada y precisa.

5. UAS

Un UAS engloba cualquier aeronave diseñada para operar de forma autónoma o ser pilotada a distancia sin la presencia de un piloto a bordo, junto con el conjunto de equipos necesarios para su control remoto. Este término abarca desde drones totalmente autónomos hasta aquellos que son controlados a distancia por un piloto. Los UAS constan de varios componentes, incluyendo la propia aeronave no tripulada, la estación de control en tierra, los enlaces de datos y los sistemas de telemetría.

Dentro de esta categoría, encontramos los RPAS, los cuales conforman un subgrupo específico de los UAS. Si bien todos los RPAS son considerados UAS, no todos los UAS pueden ser catalogados como RPAS. La distinción fundamental radica en que los RPAS son controlados por un piloto remoto desde una estación de control en tierra, lo que la diferencia de otros tipos de UAS que pueden operar de manera autónoma.

Todas estas clases de plataformas exhiben una variedad arquitectónica considerable, caracterizándose por dos categorías principales: aquellas que tienen ala fija y aquellas que obtienen sustentación mediante el uso de alas rotatorias (con uno o varios motores). Aunque ciertos modelos conocidos como híbridos combinan ambas soluciones técnicas.

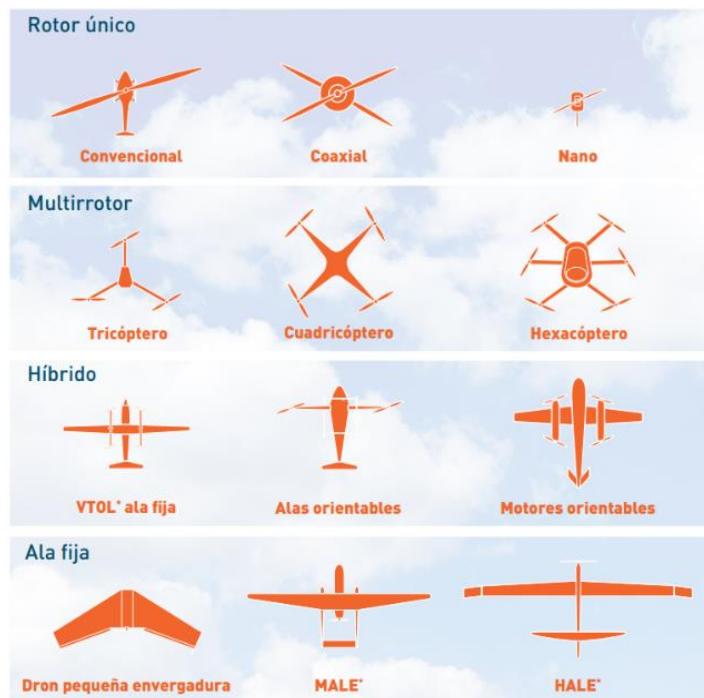


Figura 9: Tipologías de drones atendiendo a su arquitectura.
Fuente: Plan Estratégico.

Esta amplia diversidad de tipologías se traduce en un amplio rango de prestaciones que confieren a este tipo de aeronaves una gran flexibilidad. Así mismo, los UAS se programan como unas herramientas muy versátiles que pueden llevar a cabo diversas tareas heterogéneas simplemente modificando ciertos equipos a bordo.

5.1. CATEGORÍAS DE OPERACIONES DE DRONES

A finales de 2020, se realizaron modificaciones en las categorías operacionales de drones, dividiéndolas en tres grandes grupos: abierta, específica y certificada. La categoría abierta, a su vez, se subdivide en tres categorías adicionales conocidas como "Categoría de drones A1 A3", que agrupan los tipos de drones. Cada una de estas categorías tiene asignada un nivel de riesgo operativo, el cual se evalúa adecuadamente y se aborda con medidas de mitigación correspondientes. La seguridad del vuelo se asegura al cumplir con las limitaciones operativas, los límites de masa como indicadores de energía, los requisitos de seguridad de los productos y un conjunto mínimo de normas operativas.



Figura 10: Categorías de operaciones.

Fuente: EASA.

La Categoría Abierta engloba las operaciones con drones de bajo riesgo, que se llevan a cabo a una altura máxima de 120 metros sobre el terreno. Por lo general, no se requiere autorización de la AESA para volar en esta categoría, aunque en ciertos casos puede ser necesario aprobar el examen de dron A1/A3 para certificar la capacitación del piloto. Dentro de esta categoría, se necesita un MTOM inferior a 25 kg y volar por debajo de los 120 metros en VLOS, alejado de los aeródromos. Algunas características de esta categoría:

- Es de riesgo bajo
- Las autoridades de aviación no se ven envueltas
- No sobrevuela multitudes ni áreas densas

En la Subcategoría A1, las operaciones no permiten sobrevolar concentraciones de personas y deben evadir a aquellos que no participan en la operación. Se requieren drones de clases C0 o C1, con etiquetas de identificación, y se deben tomar precauciones para evitar incidentes. En esta subcategoría, podrán volar los drones que cumplan las características de la subcategoría C0.



Figura 11: Subcategoría A1.

Fuente:[24].

En la Subcategoría A2, se debe mantener una distancia de seguridad de al menos 30 metros con las personas cercanas a la operación, y esta distancia puede reducirse si el dron cuenta con el modo de baja velocidad. Estas operaciones solo pueden realizarse con drones de clase C2, con ciertos niveles de riesgo controlados. Esta subcategoría se aplica a los drones que cumplen con las regulaciones establecidas para la categoría abierta y que cuentan con sistemas de seguridad adicionales. Los drones deben pesar más de 500 gramos y hasta 2 kg para volar, y deben mantener una distancia mínima de 30 metros de personas y 50 metros de edificios.

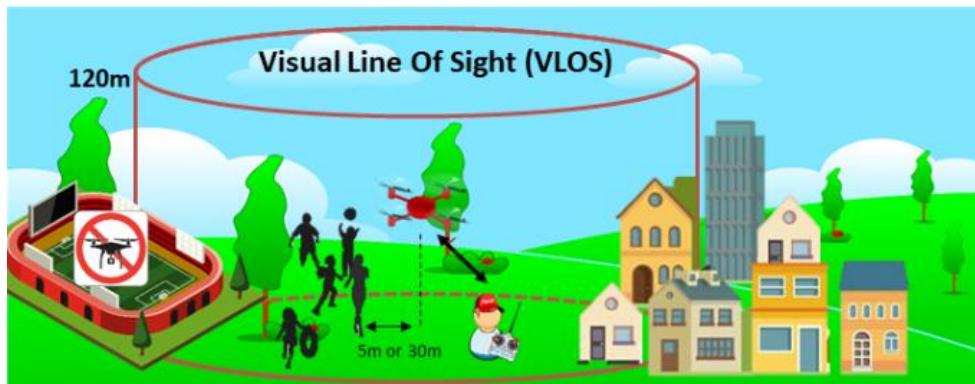


Figura 12: Subcategoría A2.
Fuente: [24].

La Subcategoría A3 implica operaciones en áreas donde no se ponga en peligro a personas, con una distancia horizontal mínima de 150 metros de zonas residenciales, comerciales, industriales o recreativas. Las aeronaves deben tener un MTOW inferior a 25 kg o ser de clases C2, C3 o C4, siendo esta la subcategoría más restrictiva, pero permitiendo operaciones con drones de mayor tamaño. En esta subcategoría, podrán volar los drones que cumplan las características de la subcategoría C1 y C2, estos deben volar a una distancia mínima de 150 metros de personas y 150 metros de edificios si el dron pesa más de 2 kg, o 50 metros si pesa menos de 2 kg.

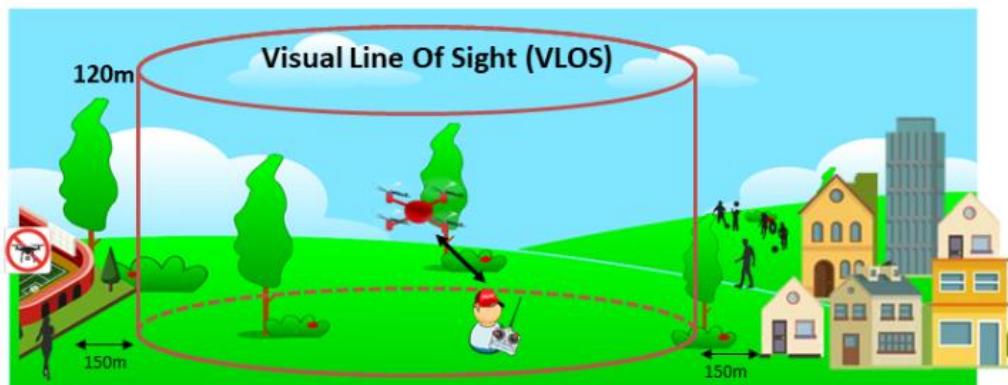


Figura 13: Subcategoría A3.
Fuente: [24].

¿QUÉ TIPO DE DRON PUEDO VOLAR?							
OPERACIÓN			OPERADOR DEL DRONE/PILOTO				
CLASE C	MTO M	SUBCATEGORÍA	REGISTRO OPERADOR	EDAD			
Construido en privado	<250g	A1 (No sobre asambleas de personas, también pueden volar en categoría A3)	No (a menos que no sea un juguete o no esté equipado con cámara o sensor)	No hay mínimo de edad			
C0		A2 (Volar cerca de gente, también pueden volar en categoría A3)	Si	16			
C1	<500g	A3 (Volar lejos de la gente y volar fuera de zonas urbanas)					
C2	<2kg						
C3	<25kg						
C4							
Construido en privado	<25kg						
Drones heredados (art 20)							

Tabla 7: Categoría abierta de restricciones y requisitos de operaciones.

Fuente: [24].

La categoría específica de drones engloba todas las operaciones con drones de riesgo medio. En esta categoría, se han establecido dos escenarios estándar para los cuales no se requiere autorización de AESA, bastando con una declaración responsable del operador. Estos escenarios abarcan operaciones VLOS y BVLOS.

Dentro de esta categoría, se exige que el operador lleve a cabo una evaluación de riesgos conforme a la metodología SORA de JARUS. Las operaciones en esta categoría representan un mayor nivel de riesgo y, por lo tanto, requieren la aprobación de la autoridad nacional de aviación, a excepción de los operadores autorizados con privilegios específicos. Además, se precisa una autorización de funcionamiento junto con un manual de operaciones, así como la participación de un organismo acreditado. La aeronavegabilidad del dron y la competencia del personal deben estar respaldadas por la evaluación de riesgos realizada en este marco.

Un STS es una operación predefinida, descrita en un apéndice del reglamento de la UE 2019/947. Se han publicado dos STS. STS 1 y STS 2 y requieren el uso de un UAS con etiqueta de identificación de clase C5 o C6 respectivamente. En este caso será suficiente una declaración (responsable) por parte del operador del UAS.

Sin embargo, si la operación no está cubierta por un STS y no entra en la categoría abierta, entonces el operador del UAS deberá tener una autorización operativa antes de iniciar la operación. Se proporcionan dos enfoques alternativos para:

- Una autorización operativa mediante la realización de una evaluación de riesgos. Utilizar una SORA.
- Una autorización de operación mediante una PDRA como una simplificación para que el operador de UAS realice una evaluación de riesgos.

Finalmente, una tercera opción prevista para el operador de UAS es solicitar un LUC a la autoridad competente respectiva. Un LUC que es un certificado de aprobación organizacional. Este certificado otorga facultades y privilegios al operador de UAS en función de su grado de madurez, su conocimiento del sector y sus buenas prácticas a la hora de operar. Entre los privilegios, nos encontramos que pueden ser:

- Realizar operaciones cubiertas por escenarios estándar sin presentar la declaración.
- Auto autorizar operaciones realizadas por ellos mismos y amparadas por un PDRA sin necesidad de solicitar autorización.

En resumen, el siguiente diagrama muestra las tres opciones propuestas para que un operador de UAS opere en una categoría específica.



Figura 14: Categoría específica de procedimiento de operaciones.
Fuente: [32]

La categoría certificada de drones engloba todas las operaciones con drones de riesgo alto realizadas con aeronaves con dimensiones de 3 metros o más. Esto incluye operaciones sobre concentraciones de personas, como aquellas que se realizan con drones de carga para transporte de personas o de mercancías peligrosas, u otras operaciones que AESA considere de alto riesgo.

Todas las operaciones realizadas dentro de esta categoría requieren drones certificados, pilotos de drones con la licencia necesaria y que el operador cuente con el certificado expedido por AESA. Los requisitos en esta categoría son comparables a los de la aviación tripulada y deben estar supervisados por una ANS que proporcione expedición de licencias y aprobación de organizaciones de mantenimiento, operaciones, formación, GTA/SNA y aeródromos; y por la AESA que diseñe y apruebe organizaciones extranjeras.

Además, esta categoría implica certificados como el certificado de tipo, certificado de aeronavegabilidad, certificado de ruido, etc. El equipo de enlace C2 y el puesto de pilotaje a distancia podrían tener certificados de tipo separados.



Figura 15: Reglas necesarias para las operaciones de drones.

Fuente: [32]

5.1.1. REQUISITOS DE EQUIPOS Y CARACTERÍSTICAS

Este subapartado tiene como objetivo explicar la normativa europea sobre UAS para su venta al público en general; 2019/945 [2], debe entenderse que existe una nueva clasificación de aeronaves no tripuladas. El uso de una "etiqueta de identificación de clase" tiene como objetivo definir la clase del UAS. Hasta ahora, los UAS disponían de una placa identificativa con los datos del operador y de la aeronave. A partir de ahora deberán portar una pegatina indicando a qué clase, o clases, pertenecen, así como el número de identificación que se les entregará una vez registrados.

La etiqueta de identificación de clase de aeronave se colocará de forma visible, legible e indeleble. Además, todos los fabricantes deberán incorporar estas etiquetas en sus UAS, con el compromiso de que los UAS cumplan con las características correspondientes.

Para pertenecer a una clase u otra, las aeronaves no tripuladas deben cumplir una serie de requisitos técnicos que se detallan a continuación para cada clase de UAS.

Los requisitos de UAS que se describen a continuación pertenecen a UAS cuyo peso es inferior a 25 kg; por lo tanto, no pueden transportar una carga útil enorme, como pasajeros o mercancías pesadas, pero podrían utilizarse para transportar carga útil ligera.

TIPO DE CLASE	CARACTERÍSTICAS QUE CUMPLIR
CLASE 0	<ul style="list-style-type: none"> - Tener un MTOW inferior a 250 g. - Velocidad máxima en vuelo de 19 m/s - Limitar la altura máxima desde el punto de despegue a 120 m. - Ser alimentado por electricidad
CLASE 1	<ul style="list-style-type: none"> - MTOW inferior a 900 g - Tener una velocidad máxima en vuelo horizontal de 19 m/s. - Limitar la altura máxima desde el punto de despegue a 120 m. - Ser alimentado por electricidad - Tener un número de serie único - Disponer de un sistema de identificación remota directa y de identificación remota en red. - Estar equipado con un sistema de geo-conciencia. - Haber equipado un sistema de aviso de batería baja para el dron y la CS
CLASE 2	<ul style="list-style-type: none"> - Tener un MTOW inferior a 4 kg. - Limitar la altura máxima desde el punto de despegue a 120 m. - Ser alimentado por electricidad - Estar equipado con un enlace de datos protegido contra el acceso no autorizado a las funciones de mando y control (C2) - Excepto si se trata de una aeronave de ala fija, estar equipado con un modo de baja velocidad seleccionable que limite la velocidad a 3 m/s como máximo. - Tener un número de serie único - Contener un sistema de identificación directa a distancia y de identificación remota en red. - Estar equipado con un sistema de geo-conciencia. - Haber equipado un sistema de aviso de batería baja para el dron y la CS - Equipar luces para control de actitud y vuelo nocturno.
CLASE 3	<ul style="list-style-type: none"> - MTOW inferior a 25 kg y una envergadura inferior a 3 m - Limitar la altura máxima desde el punto de despegue a 120 m. - Ser alimentado por electricidad - Tener un número de serie único - Disponer de un sistema de identificación directa a distancia y de identificación remota en red. - Contar con un sistema de geo-conciencia equipado. - Estar equipado con un sistema de advertencia de batería baja para el dron y la CS - Equipar luces para control de actitud y vuelo nocturno.
CLASE 4	<ul style="list-style-type: none"> - Tener un MTOW inferior a 25 kg, incluida la carga útil. - No disponer de modos de control automático, salvo asistencia a la estabilización del vuelo y asistencia en caso de pérdida de enlace. - Ser controlable y maniobrable de forma segura mediante un piloto remoto siguiendo las instrucciones del fabricante.
CLASE 5	<ul style="list-style-type: none"> - MTOW inferior a 25 kg. - No ser una aeronave de ala fija, excepto si se trata de una UA cautiva.

	<ul style="list-style-type: none"> - Contar con un sistema que proporcione al piloto remoto información clara y concisa sobre la altura del dron. - Estar equipado con un modo de velocidad lenta seleccionable que limita la velocidad a 5 m/s como máximo. - En caso de pérdida del enlace de datos (C2), o en caso de fallo, disponer de un método para recuperarlo o finalizar el vuelo de forma segura. - Estar equipado con un enlace de datos protegido contra el acceso no autorizado a las funciones de mando y control (C2). - Alimentado por electricidad. - Tener un número de serie único. - Contener un sistema de identificación directa a distancia. - Contar con un sistema de geo-conciencia equipado. - Haber equipado un sistema de aviso de batería baja para el dron y la CS. - Equipar luces para control de actitud y vuelo nocturno. - Si el dron tiene una función para limitar el acceso a determinadas zonas o volúmenes del espacio aéreo, deberá ser interoperable con el sistema de control de vuelo, debiendo informar al piloto remoto cuando impida a la UA acceder a dichas zonas o volúmenes del espacio aéreo. - Un dron clase C5 puede consistir en un avión no tripulado clase C3 equipado con un kit de accesorios que lo convierte en clase C5. - El kit de accesorios no incluirá cambios en el software del dron clase C3.
CLASE 6	<ul style="list-style-type: none"> - Tener un MTOW inferior a 25 kg. - Contar con un sistema que proporcione al piloto remoto información clara y concisa sobre la altura del dron, proporcionando medios que impidan que la aeronave supere los límites horizontales y verticales de un volumen operativo programable. - Velocidad máxima respecto al suelo en vuelo horizontal de 50 m/s. - En caso de pérdida del enlace de datos (C2), o en caso de fallo, disponer de un método para recuperarlo o finalizar el vuelo de forma segura. - Estar equipado con un enlace de datos protegido contra el acceso no autorizado a las funciones de mando y control (C2). - Alimentado por electricidad. - Tener un número de serie único. - Disponer de un sistema de identificación remota directa. - Estar equipado con un sistema de geo-conciencia. - Haber equipado un sistema de aviso de batería baja para el dron y la CS.

Tabla 8: Requisitos y características de las clases de UAS.

Fuente:

5.2. VOLUMENES OPERACIONALES

En el marco de la regulación europea U-Space, se ha establecido un sistema de clasificación para las operaciones con drones, dividiéndolas en tres categorías distintas conocidas como volúmenes operacionales. Estos volúmenes se definen en función de las condiciones específicas de vuelo, ofreciendo un marco claro para la integración segura de los drones en el espacio aéreo.

La distinción más notable radica en la disponibilidad de servicios de resolución de conflictos:

- Tipo X: no se dispone de servicios de resolución de conflictos.
- Tipo Y: únicamente se ofrece resolución de conflictos antes del vuelo.
- Tipo Z: se brindan tanto resolución de conflictos antes del vuelo, como durante el vuelo.

Esta diferencia ejerce una influencia considerable en los procedimientos de vuelo que deben seguir los drones en dicho espacio aéreo.

5.2.1. TIPO X

En el contexto del espacio aéreo tipo X, se caracteriza por tener requisitos mínimos para operadores, pilotos y drones, lo que resulta en una oferta limitada de servicios.

Estas operaciones, consideradas básicas, implican que tanto el operador como el piloto y el dron deben cumplir con estándares esenciales para llevar a cabo los vuelos. Esto incluye actividades como VLOS y EVLOS. Es crucial notar que, en caso de colisión, la responsabilidad recae en el piloto, ya que no hay servicio disponible para resolver conflictos.

En este tipo de espacio aéreo, el piloto mantiene la responsabilidad de mantener la separación en todo momento. Los vuelos VLOS son factibles y otros tipos de operaciones requieren una atención especial para mitigar riesgos aéreos.

Se espera encontrar este tipo de espacio aéreo en regiones con baja demanda de servicios U-space, ya sea por la escasez de vuelos o porque se priorizan operaciones de categoría Abierta, y con bajo riesgo tanto terrestre como aéreo. Los reglamentos pertinentes describen los requisitos de riesgo para operaciones de categoría Abierta, los cuales se anticipa que sean comunes en estos volúmenes.

En SORA, es probable que estos volúmenes se clasifiquen como "ARC-b" y "rurales". Sin embargo, es importante recordar que la definición de este tipo de espacio aéreo se basa en los servicios ofrecidos, por lo que esta descripción solo es una probabilidad y no una regla estricta.

5.2.2. TIPO Y

El acceso a los espacios aéreos Y implica un nivel de complejidad mayor. Además de los requisitos básicos mencionados anteriormente, estas operaciones requieren la aprobación de un plan de vuelo y que el piloto esté capacitado específicamente para operaciones de este tipo.

Los volúmenes Y facilitan el vuelo VLOS, EVLOS y BVLOS, con actividades que pueden requerir una planificación más detallada. Los espacios aéreos Y pueden tener requisitos técnicos específicos adjuntos; demostrar que se cumplen es parte del proceso de aprobación del plan de operación.

Estos requisitos técnicos normalmente incluirán una estación de pilotaje remoto conectada al U-Space y un UAS capaz de enviar informes de posición. En este tipo de volumen se incluyen vuelos VLOS, EVLOS y BVLOS, con actividades que pueden requerir una planificación más detallada.

En este tipo de volumen se incluyen vuelos VLOS, EVLOS y BVLOS, con actividades que pueden requerir una planificación más detallada. Aquí, se ofrece un servicio de resolución de conflictos antes del vuelo, lo que permite abordar posibles problemas estratégicos.

En los volúmenes Y, el espacio U proporciona mitigaciones de riesgos que no están disponibles en X. (El uso eficaz de estos servicios requerirá que el piloto esté capacitado adecuadamente). Esto implica que los conflictos de espacio aéreo entre vuelos se resuelven antes del despegue. Como no se ofrece ningún servicio de separación táctica (en vuelo) en el espacio aéreo, las resoluciones de conflictos previas al vuelo reducirán el riesgo residual de colisión a un nivel muy bajo, lo que resultará en aeronaves muy espaciadas.

5.2.3. TIPO Z

Los volúmenes Z representan un entorno donde se permite una mayor densidad de operaciones aéreas en comparación con el espacio Y. Se espera encontrar estos volúmenes en áreas donde la demanda de tráfico excede la capacidad de los espacios Y o donde existan riesgos específicos.

Por otro lado, los volúmenes Z son el escenario de operaciones más complejas y restringidas. Además de cumplir con los requisitos básicos y tener un plan de vuelo aprobado, las operaciones en este nivel requieren estándares técnicos adicionales, como la obligatoriedad de equipar al dron con un sistema de DAA.

El acceso a estos espacios aéreos Z implica seguir un plan operativo aprobado y cumplir con requisitos específicos, como mantener al piloto conectado continuamente al U-space y reportar la posición de la aeronave de manera continua.

Estos espacios Z pueden tener requisitos técnicos específicos adjuntos, cuyo cumplimiento es parte del proceso de aprobación del plan de operación. Además, en los volúmenes Z se ofrecen servicios de resolución de conflictos tanto antes del vuelo (estratégico) como durante el vuelo (táctico), lo que garantiza una gestión eficaz de los posibles conflictos en el espacio aéreo.

Facilitan operaciones BVLOS y vuelos automáticos de drones, además de permitir vuelos VLOS. En comparación con los espacios Y o X, en los volúmenes Z se proporcionan más medidas de mitigación de riesgos. Esto se traduce en una mayor capacidad para operaciones de mayor densidad que en el espacio Y. Los riesgos residuales asociados a la separación estratégica pueden reducirse mediante la resolución táctica de conflictos en vuelo, lo que significa que el nivel de riesgo después de la resolución estratégica del conflicto no necesariamente debe ser tan bajo como en el espacio Y.

5.3. CUMPLIMIENTOS DE LOS REQUISITOS DEL DISEÑO DEL DRON

Algunos de los OSO identifican los requisitos de diseño que debe cumplir el dron. Dependiendo de la VELA, se podrá demostrar el cumplimiento de:

- una declaración, para VELA I y II
- solicitar a EASA un DVR, para SAIL III y IV
- Solicitar a EASA un certificado de tipo para SAIL V y VI.

Además, si el dron utiliza una mitigación técnica (llamada M2) con un alto nivel de robustez, entonces se requiere un DVR emitido por EASA. Cumplimiento de mitigaciones técnicas (M2) con El fabricante puede declarar un nivel medio de robustez o contención mejorada si se utilizan los medios de cumplimiento adecuados publicados por EASA. En otros casos se debe utilizar un DVR, a menos que la NAA decida lo contrario.

Cuando se hayan cumplido todos los pasos del SORA, el operador debe presentar a la NAA:

- El formulario de solicitud de autorización operativa
- Una copia de la evaluación de riesgos y evidencias de cumplimiento
- Una copia del manual del operador.

Si la NAA está satisfecha con la información proporcionada por el solicitante, emitirá una autorización operativa.

5.3.1. PASOS QUE SEGUIR

A partir del 31 de diciembre de 2020 [12], el primer paso que debes dar como operador de drones es registrarte en el país donde vives o donde tienes tu sede principal de negocios.

El segundo paso es asegurarse de conocer las reglas relacionadas y el riesgo que plantea la operación de drones civiles. El operador del dron y el piloto remoto pueden ser dos personas diferentes: el operador del dron es la persona que está registrada y es responsable de la operación (normalmente es el propietario del dron). El piloto remoto es la persona que realmente controla el dron. El operador del dron también puede ser el piloto remoto, o puede emplear uno o más pilotos remotos. El piloto remoto deberá haber recibido la formación adecuada para la operación a realizar. También deberá asegurarse de tener la cobertura de seguro adecuada para su dron.

Por último, pero no menos importante, consulta con tu NAA las zonas donde están prohibidas las operaciones con drones o aquellas en las que necesitas tener una autorización de vuelo antes de ingresar a ellas (zonas geográficas UAS) [13]. Informe a su NAA cualquier incidente o accidente que presencie o en el que esté involucrado, cuando haya causado una lesión a una persona o cuando haya involucrado una aeronave con un piloto a bordo.

Esta normativa, dictamina los requisitos mínimos para poder volar un dron y seguir los siguientes pasos:

- Registrarse como operador: Todas las personas que tengan y pretendan volar un dron deberán registrarse como operadores en la sede electrónica de AESA y obtener el número de operador según la normativa europea [14]. Una vez obtenido el número de operador este debe incluirse en el dron de forma visible.

- Formarse como piloto: Para volar un dron, sea para uso profesional o recreativo, debes tener un mínimo de formación acreditable en función de la categoría operacional en la que se opere. La formación y examen de conocimientos para poder operar un dron en categoría abierta, subcategorías A1 y A3, es accesible a través de la web de AESA [15]. La formación es telemática y gratuita y tras la superación del examen online AESA le expedirá un certificado.
- Reglas de vuelo: El vuelo de drones está sujeto a reglas generales de operación condicionadas, entre otros, por el peso del dron, la presencia de otras personas y la cercanía a edificios [16].
- Lugar del vuelo: Además de las reglas generales de operación de drones, existen limitaciones al vuelo de drones en ciertos lugares motivadas por diferentes razones: cercanía de aeródromos, zonas militares, protección de infraestructuras críticas, protección medioambiental... [17]

6. REGLAMENTACIÓN

Esta sección identifica el marco regulatorio que influye en la movilidad aérea urbana y el U-space y sirve como aporte para una mayor elaboración de recomendaciones para mejoras regulatorias.

En 2016, la Conferencia de Varsovia sobre UAS desarrolló el concepto de U-space, un conjunto de servicios digitales que permiten el crecimiento seguro de las operaciones rutinarias de UAS. Como complemento al reglamento de 2019 que establece un conjunto de reglas detalladas para el funcionamiento de UAS [1] y [2] en abril de 2021 la Comisión ha publicado el marco regulatorio para el U-space elaborado por EASA, cumpliendo de esta manera los objetivos estableciendo en la Declaración de Varsovia de 2016.

El U-space crea y armoniza las condiciones necesarias para que las aeronaves tripuladas y no tripuladas operen de forma segura, para evitar colisiones entre UA y otras aeronaves y para mitigar los riesgos del tráfico de UAS en tierra. El paquete regulatorio consta de 3 documentos [3] [4] y [5], publicados el 22 de abril de 2021 y aplicables a partir del 26 de enero de 2023.

El objetivo principal de este Plan de Acción Nacional para el Despliegue del U-space es promover implementación eficiente y ordenada del sistema y sus servicios a nivel nacional. Para lograrlo, se coordina la participación de todas las partes interesadas, definiendo acciones de alto nivel que guiarán la actuación conjunta de la DGAC, AESA y ENAIRE. Este plan se centra en el periodo entre 2022 y 2023, antes y después de la entrada en vigor del Reglamento de U-space, respectivamente.

El Plan de Acción actúa como una guía inicial para el despliegue del U-space durante los años 2022-2025. Sus acciones de alto nivel se pueden adaptar y desarrollar en acciones más específicas, lo que lo convierte en un documento dinámico y adaptable.

6.1. ORIGENES E INCLUSIÓN

Considerando el marco normativo de la Unión europea en el ámbito del transporte aéreo, establecido por el Reglamento (UE) 2018/1139 del Parlamento Europeo y del Consejo del 4 de julio de 2018, que crea una Agencia de la Unión Europea para la Seguridad Aérea y modifica varios reglamentos anteriores, junto con los Reglamentos de la Comisión (UE) 2019/945 y (UE) 2019/947. Estos detallan disposiciones para el funcionamiento de sistemas armonizados y requisitos técnicos mínimos para los UAS, y se ha publicado en el paquete de reglamentación sobre U-space el 22 de abril de 2021

en el Diario Oficial de la Unión Europea. Estas nuevas disposiciones han entrado en vigor el 26 de enero de 2023.

El paquete normativo consta de tres Reglamentos de Ejecución de la Comisión que regulan los requisitos técnico-operativos de los servicios de U-space y definen las competencias y responsabilidades de los diferentes actores involucrados en su implementación.

En primer lugar, el Reglamento de Ejecución (UE) 2021/664 establece el marco regulador para el U-space. Además, se han modificado dos reglamentos de ejecución existentes para complementar el régimen normativo sobre U-space: el Reglamento de Ejecución (UE) 2021/665, que modifica el Reglamento de Ejecución (UE) 2012/373 sobre requisitos comunes para proveedores de servicios de gestión del tránsito y navegación aéreos, y el Reglamento de Ejecución (UE) 2021/666, que modifica el Reglamento (UE) nº923/2012 sobre el reglamento del aire (Reglamento SERA).

En la actualidad, EASA está trabajando en el desarrollo de AMCs y GMs que apoyarán la implementación del paquete normativo de U-space a nivel técnico.

Será necesario avanzar en ciertos aspectos fundamentales para el diseño e implementación del entorno técnico y regulatorio del U-space a nivel nacional. En este sentido, la idea de crear un Plan para la implementación del U-space ya se había mencionado en iniciativas anteriores del MITMA.

La DGAC, como organismo del MITMA, es responsable de diseñar la estrategia, dirigir la política aeronáutica y regular el sector aéreo. Coordina a los diferentes actores, organismos y entidades adscritas al Departamento con responsabilidades en aviación civil. Por lo tanto, la DGAC asume un papel de liderazgo en el despliegue e implementación del U-space a nivel nacional, a través del presente Plan de Acción Nacional para el Despliegue del U-space. Este plan establece los fundamentos para la implementación y despliegue de los servicios de U-space en España, requiriendo la adopción de decisiones, cooperación y coordinación entre todas las partes involucradas en la implementación de este nuevo concepto.

El Reglamento de U-space establece, en su considerado 28, que no se aplica a las operaciones de aeronaves que realizan actividades o servicios militares, de aduanas, policiales, de búsqueda y rescate, de lucha contra incendios, de control fronterizo, vigilancia costera u otras similares en interés general (actividades no EASA), a menos que el Estado miembro haya optado por aplicar normativas sobre aeronaves no tripuladas a algunas o todas estas actividades [6].

En este contexto, aunque las aeronaves militares y estables quedan excluidas del ámbito de aplicación del Reglamento de U-space y las entidades del Ministerio de Defensa quedan fuera del alcance de este Plan, la participación de este ministerio es crucial para garantizar los niveles necesarios de seguridad y protección en los espacios aéreos pertinentes. Por lo tanto, el Ministerio de Defensa debe formar parte de los mecanismos de coordinación, cooperación y colaboración establecidos para la implementación del U-space.

Por otro lado, el reglamento de U-space se aplicará a las operaciones civiles no cubiertas por la EASA, de acuerdo con los términos y excepciones que establezca la normativa nacional correspondiente.

Aunque la iniciativa fue impulsada por la DGAC, este Plan de Acción cuenta con la colaboración y el acuerdo de las tres organizaciones participantes: AESA, como

Autoridad Competente del Estado Miembro, ENAIRE, entidad pública empresarial adscrita al ministerio de Transportes, movilidad y Agenda Urbana y principal proveedor de servicios de navegación aérea en España, y la DGAC, en su papel de regulador y coordinador. Tras su aprobación, las tres organizaciones serán responsables de su desarrollo y adopción.

Las acciones contempladas en este Plan han sido consensuadas y coordinadas por todas las partes involucradas en su elaboración, en el marco del Grupo de Trabajo Nacional de U-space. Este grupo se estableció inicialmente para coordinar cuestiones relacionadas con el Reglamento europeo de U-space durante su proceso de redacción. Ahora, con la implementación de este Plan se continuará con la colaboración y el trabajo conjunto entre sus miembros.

El Plan de Acción Nacional para el Despliegue el U-space es una pieza fundamental para facilitar su implementación eficiente y ordenada en todo el territorio nacional. Proporcionará coherencia y consistencia a las diversas iniciativas del sector y establecerá una guía clara para lograr el éxito en su implementación en nuestro país.

6.2. ADMINISTRACIONES INVOLUCRADAS

El papel y las responsabilidades de las distintas administraciones involucradas en el ámbito de la aviación tripulada se extienden ahora al desarrollo y despliegue del U-space y la operación de los UAS. Entre estas administraciones, destacan:

- DGAC: actúa como regulador y órgano de apoyo del MITMA, coordinando a nivel nacional e internacional a los diversos organismos del sector.
- AESA: responsable de garantizar la seguridad y supervisar el cumplimiento de la normativa nacional y comunitaria. AESA certificará y supervisará de manera continua a los proveedores CISPs y USSPs.
- ENAIRE: es una entidad pública empresarial adscrita al ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, que desempeñará un papel fundamental como CISPs. Además, también actuará como USSP para actividades específicas del sector público. Dada su posición como principal proveedor de servicios de navegación aérea y único proveedor de información aeronáutica en España, ENAIRE jugará un papel operativo crucial.
- MINDEF: colabora con las demás organizaciones implicadas en el plan para armonizar el desarrollo del U-space con las necesidades de la Defensa Nacional. Esta colaboración es fundamental, y por ello, el plan promueve el fortalecimiento de la coordinación entre el MINDEF y MITMA.

Finalmente, el desarrollo de los servicios U-space, especialmente en entornos urbanos, requerirá una coordinación estrecha con otros ministerios, como el MINT, además de las administraciones autonómicas y locales.

6.2.1. CISP

Los CISPs desempeñan un papel fundamental en el ecosistema U-space al asegurar la distribución eficiente y segura de información vital para la gestión del tráfico aéreo no tripulado. Estos proveedores se encargan de recopilar, procesar y difundir una amplia gama de datos estáticos y dinámicos necesarios para el funcionamiento fluido del sistema.

Cuando se implementa un modelo de prestación de servicios centralizado en un determinado espacio aéreo designado como U-space, los estados deben designar un

único proveedor CIS certificado para supervisar y administrar la información en ese espacio. Este proveedor CIS actúa como una fuente centralizada y confiable de toda la información necesaria, incluyendo datos sobre identificación de operadores de UAS, condiciones operativas del espacio aéreo, autorizaciones de vuelo y tráfico aéreo circundante.

Una de las ventajas clave de tener un proveedor CIS único en cada área de espacio aéreo U-space es la consolidación de la información, lo que facilita una distribución más coherente y segura de los datos. Esto promueve una mayor eficiencia en las operaciones de U-space al evitar duplicaciones y conflictos de información entre múltiples proveedores. Además, al actuar como punto central de coordinación, el proveedor CIS simplifica las interacciones entre los proveedores de servicios de U-space y los proveedores de servicios de tráfico aéreo, lo que contribuye a una gestión más eficaz del espacio aéreo compartido.

Otra función importante del proveedor CIS es proporcionar apoyo técnico y operativo a los proveedores de servicios de U-space, facilitando el acceso a la información y los recursos necesarios para garantizar la seguridad y la eficacia de las operaciones de UAS. Esto incluye la actualización y mantenimiento continuo de los sistemas de información, así como la coordinación de actividades de formación y capacitación para los usuarios del sistema U-space.

En resumen, los proveedores de servicios comunes de información desempeñan un papel crucial en el desarrollo y despliegue exitoso del sistema U-space al garantizar la disponibilidad y la integridad de la información necesaria para operar de manera segura y eficiente en el espacio aéreo compartido. Su función centralizada y coordinadora contribuye significativamente a la interoperabilidad y la armonización de las operaciones de U-space a nivel nacional e internacional.

6.2.2. USSP

Los USSPs desempeñan un papel esencial en la operación segura y eficiente del sistema U-space al proporcionar una amplia gama de servicios a los UAS. Estas entidades certificadas son responsables de proporcionar una variedad de servicios durante todas las fases de vuelo de los UAS, incluidas las autorizaciones de vuelo, la identificación de tráfico y la información sobre las condiciones del espacio aéreo. Su objetivo principal es garantizar la seguridad, protección y eficiencia de las operaciones de UAS, facilitando la integración segura de estos dispositivos en el espacio aéreo compartido.

Para llevar a cabo sus actividades, los USSPs dependen en gran medida de la información proporcionada por el CISP. Este actúa como un punto central de acceso para la información común necesaria para el funcionamiento adecuado del sistema U-space. Esta información, que puede incluir datos estáticos y dinámicos sobre el espacio aéreo, es fundamental para que los USSPs realicen su trabajo de manera efectiva y eficiente. Además, el CISP facilita la coordinación y el intercambio de información entre los diferentes actores del sistema U-space, lo que contribuye a una operación más cohesionada y segura en el espacio aéreo compartido.

En resumen, los USSPs desempeñan un papel crucial en la integración exitosa de los UAS en el espacio aéreo U-space, al proporcionar los servicios necesarios para garantizar operaciones seguras y eficientes. Su trabajo se basa en gran medida en la información proporcionada por el CISP, que actúa como un punto central para la distribución de datos relevantes. Gracias a la colaboración entre estos proveedores de

servicios, se promueve una operación armoniosa y coordinada de los UAS en el espacio aéreo compartido, contribuyendo así a la seguridad y eficiencia de la aviación no tripulada.

6.2.3. OTROS ACTORES INVOLUCRADOS

Aparte de las administraciones públicas involucradas y los dos nuevos proveedores de servicios en el marco del s-space, existen otros actores que participen en este de gestión del tráfico aéreo no tripulado. Para lograr una integración total y segura de los UAS y un despliegue efectivo del U-space, es crucial identificarlos y comprender su función dentro del sistema a implementar, sin que estas descripciones puedan considerarse definiciones formales para las cuales es necesario recurrir a la normativa vigente. Estos son, entre otros:

- ATSPs: son responsables de ofrecer servicios de gestión del tránsito aéreo a los usuarios del espacio aéreo que operan en áreas designadas como U-space. En zonas controladas, proporcionan servicios de tráfico aéreo a operadores de aviación tripulada y realizan reconfiguraciones dinámicas del espacio aéreo para garantizar la separación entre aeronaves tripuladas y UAS. En áreas no controladas, suministran información de vuelo a operadores de aeronaves tripuladas cuando sea factible.
- Operadores de UAS: son individuos o entidades que utilizan o tienen la intención de utilizar uno o varios drones, siendo responsables de todas las operaciones con dichos dispositivos. Su papel puede compararse con el de una compañía aérea en la aviación tripulada convencional, asumiendo responsabilidades similares al piloto.
- Piloto a distancia de UAS: el operador remoto es responsable de controlar y supervisar el vuelo de los UAS a distancia, según su nivel de autonomía.
- Propietario del UAS: es aquella persona, ya sea física o jurídica, que tiene la propiedad legal de los UAS. Esta distinción existe porque puede diferir de la entidad legal que opera los UAS, como en casos de alquiler o arrendamiento.
- Fabricante de UAS: es aquel individuo o entidad legal que produce o encarga la fabricación de un producto y lo distribuye bajo su propia marca o nombre comercial.
- Operadores aeroportuarios: es el responsable del aeródromo que contribuye a establecer los procedimientos operativos y los requisitos de interoperabilidad para garantizar la integración segura de los UAS en áreas cercanas a los aeródromos o aeropuertos.
- Fuerzas y cuerpos de Seguridad: son organizaciones como la Policía, la Guardia Civil, los bomberos y equipos de búsqueda y rescate que pueden emplear los servicios de U-space. Es crucial asegurar que la gestión de las operaciones de drones considere la urgencia de las actividades de las fuerzas de seguridad. Además, estas entidades trabajan en el desarrollo de estrategias para abordar el uso indebido de drones.
- Ministerio de Defensa: aunque las aeronaves militares y entidades del Ministerio de Defensa no están cubiertas por el Reglamento de U-space, es vital considerar la función prioritaria de este ministerio y garantizar su acceso a los datos y servicios del sistema U-space
- Usuarios de la aviación: son aquellos individuos o entidades que utilizan el espacio aéreo y no están directamente vinculados con la operación de drones, abarcando actividades como el paracaidismo, la aviación general y comercial, entre otras.

- Público general: incluye a todas las personas que pueden verse afectadas de alguna manera por las operaciones de drones, ya sea al verlos, escucharlos o experimentar sus efectos.
- Industria de servicios de U-space: se crean softwares para implementar una variedad de servicios de U-space, desde opciones básicas hasta soluciones más sofisticadas. Estas herramientas se fundamentan en estándares establecidos para garantizar la compatibilidad y la interconexión del sistema U-space.
- Asociaciones de UAS: brindan apoyo y asistencia a pilotos, operadores y fabricantes de UAS.
- Clubes y asociaciones de aeromodelismo: deben ser diferenciados de los operadores de UAS en cuanto al acceso a los espacios aéreos U-space, considerando la naturaleza particular de sus actividades.
- Otras entidades: otros actores involucrados en el concepto U-space incluyen universidades y centros tecnológicos, cuyos proyectos e iniciativas ofrecen información y resultados relevantes para la industria de los UAS, así como entidades de acreditación y subvención que promueven el desarrollo de la industria asociada al U-space.

6.3. LEGISLACIÓN ESPAÑOLA VIGENTE

La Comisión Europea ha aprobado tres Reglamentos de Ejecución con el fin de regular el espacio U-Space y facilitar la integración segura de drones en el espacio aéreo de bajo nivel. Estos reglamentos establecen normas y condiciones para la operación segura de aeronaves, tanto tripuladas como no tripuladas, y detallan una serie de servicios del U-Space para mitigar riesgos y conflictos. Los reglamentos aprobados son los siguientes:

- I. "El Reglamento de Ejecución (UE) 2021/664 de la Comisión [3], de 22 de abril de 2021, marco regulador para el U-space."
- II. "El Reglamento de Ejecución (UE) 2021/665 de la Comisión [4], de 22 de abril de 2021, por el que se modifica el Reglamento de Ejecución (UE) 2017/373 [7], en lo que se refiere a los requisitos para los proveedores de servicios de gestión del tránsito aéreo/navegación aérea y otras funciones de la red de gestión del tránsito aéreo en el espacio aéreo U-space designado en espacio aéreo controlado."
- III. "El Reglamento de Ejecución (UE) 2021/666 de la Comisión [5], de 22 de abril de 2021, por el que se modifica el Reglamento (UE) No 923/2012 [8], en lo que se refiere a los requisitos para la aviación tripulada que opera en el espacio aéreo U-space."

Estos reglamentos proporcionan un marco regulatorio esencial para garantizar una integración segura y efectiva de drones y aeronaves tripuladas en el espacio aéreo europeo.

El Reglamento de Ejecución (UE) 2021/665 [4] es una breve modificación del IR 2017/373 [7]. La presente norma de aplicación está dirigida a ATM. Agrega 4 nuevas definiciones para espacio aéreo U-space, servicio U-space, servicio de información común y reconfiguración dinámica del espacio aéreo. También establece requisitos para la coordinación con los proveedores de servicios de tránsito aéreo dentro del espacio aéreo U-space y la reconfiguración dinámica del espacio aéreo U-space para las unidades de control de tránsito aéreo.

Los proveedores de servicios de tránsito aéreo deberán:

- Proporcionar información de tráfico relevante sobre aeronaves tripuladas dentro del espacio aéreo U-space.
- Establecer procedimientos de coordinación y comunicación entre las unidades de servicios de tránsito aéreo y los proveedores de servicios del U-space.

Las dependencias de control de tránsito aéreo deberán:

- Garantizar limitaciones temporales en el espacio aéreo del U-space en función de la demanda de tráfico tripulado.
- Garantizar la comunicación entre los proveedores de servicios de U-space y los proveedores de CIS sobre la activación/desactivación del espacio aéreo designado de U-space.

El Reglamento de Ejecución (UE) 2021/666 [5] es un breve documento reglamentario dirigido a la aviación tripulada. Añade dos nuevos puntos al actual reglamento EU2012/923 [8] para informar a los pilotos sobre una nueva zona del espacio aéreo denominada 'espacio aéreo U-space', su definición y la relación con un nuevo tipo de servicios disponibles. Además de esto, modifica los requisitos de comunicación establecidos en SERA.6006 [8] que incluirán diferentes medios para RMZ, TMZ y 'U-space airspace'. Se permitirá que las aeronaves tripuladas entren en un "espacio aéreo U-space" si se cumplen las dos condiciones siguientes:

- No se presta ningún servicio de control de tráfico.
- El equipo de la aeronave incluye un sistema para hacer que la aeronave sea electrónicamente visible para los proveedores de servicios U-space.

En paralelo, en el ámbito nacional español, se encuentra el Real Decreto 1036/2017 [21], publicado en el Boletín Oficial del Estado el 29 de diciembre de 2017. Este decreto tiene su origen en la modificación del artículo 11 de la Ley 48/1960 sobre Navegación Aérea [22], introducida por la Ley 18/2014 [23].

“(...) este real decreto establece el marco jurídico definitivo aplicable a la utilización civil de las aeronaves pilotadas por control remoto (RPA) no sujetas a la normativa de la Unión Europea, tal es el caso de las aeronaves pilotadas por control remoto (RPA) de masa máxima al despegue inferior a los 150 kg y las de masa máxima al despegue (...) destinadas a operaciones de aduanas, policía, búsqueda y salvamento, lucha contra incendios, guardacostas o similares”.

“(...) las denominadas aeronaves autónomas, cuyo uso en el espacio aéreo español y en el que España es responsable de la prestación de servicios de tránsito aéreo no está permitido”

“(...) el uso de aeronaves pilotadas por control remoto (RPA) requerirá, en todo caso que su diseño y características permitan al piloto intervenir en el control del vuelo, en todo momento. El piloto remoto será, en todo momento, el responsable de detectar y evitar posibles colisiones y otros peligros”.

“El operador deberá establecer un área de protección para el despegue y el aterrizaje, de manera que en un radio mínimo de 30 m no se encuentren personas que no estén bajo el control directo del operador, salvo en el caso de aeronaves de despegue y aterrizaje vertical, en cuyo caso el radio podrá reducirse hasta un mínimo de 10 m”.

“Las aeronaves pilotadas por control remoto (RPA) deben operar de día (...) La realización de vuelos nocturnos requerirá la autorización expresa de la Agencia Estatal de Seguridad Aérea”.

“Cuando conforme a la legislación aplicable en relación con el deber de colaboración de los ciudadanos ante situaciones de grave riesgo, catástrofe o calamidad pública, las autoridades públicas responsables de la gestión de tales situaciones requieran la colaboración de los operadores habilitados conforme a lo previsto en este capítulo para el ejercicio de operaciones aéreas especializadas, éstos podrán realizar vuelos que no se ajusten a las condiciones y limitaciones previstas en este real decreto. En caso de que estos vuelos hayan de realizarse en espacio aéreo controlado, en una zona de información de vuelo, incluida la zona de tránsito de aeródromo o dentro de las zonas de protección establecidas en el artículo 23 ter.3, letra b), del Real Decreto 552/2014, de 27 de junio, el operador habrá de coordinarse previamente con el proveedor de servicios de tránsito aéreo correspondiente”.

USOS	2016	REAL DECRETO 1036/2017
Vuelos nocturnos	No se permite	Si (en las condiciones establecidas en el real decreto)
Vuelos fuera de aglomeraciones de personas y poblaciones	Si (limitado)	Si (en las condiciones establecidas en el real decreto)
Sobrevuelo de zonas urbanas y sobre aglomeraciones de personas	No se permite	Si (en las condiciones establecidas en el real decreto)
Vuelos en espacio aéreo controlado	No se permite	Si (en las condiciones establecidas en el real decreto)
Operaciones de policía, aduanas, CNI y tráfico	No se permite	Si (en las condiciones establecidas en el real decreto)

Tabla 9: Comparación de los usos profesionales (operaciones aéreas especializadas y vuelos experimentales) permitidos en los dos marcos regulatorios nacionales.

Fuente: [19].

Esta última ley estableció que estas aeronaves son consideradas aeronaves y, por lo tanto, están sujetas a la legislación aeronáutica civil. Además, el artículo 50 de la Ley 18/2014 [23] estableció temporalmente el marco legal aplicable a estas aeronaves y sus actividades hasta que se adopte la disposición reglamentaria prevista. El Real Decreto 1036/2017 [21] establece las regulaciones para el uso civil de las aeronaves controladas por control remoto que no están cubiertas por la normativa comunitaria, como aquellas con una masa máxima al despegue inferior a 150 kg o aquellas excluidas de la regulación comunitaria. Este decreto también aborda aspectos como la matriculación, la aeronavegabilidad y las condiciones de operación de estas aeronaves. En su capítulo I, en el artículo 2, establece qué aeronaves son aplicables:

- Las RPA con una masa máxima al despegue inferior a 150 kg, así como aquellas que superen este límite, pero queden excluidas de la normativa comunitaria.
- Las RPA, independientemente de su masa máxima al despegue, que realicen actividades de aduanas, policía, búsqueda y rescate, lucha contra incendios, vigilancia costera u otras similares.
- Además, este decreto se aplica a todos los componentes que integran el RPAS.

Por lo contrario, este real decreto no tiene efecto sobre:

- Globos libres no tripulados y globos cautivos
- Vuelos que se realicen totalmente en espacios interiores o cerrados
- Aeronaves y RPA militares
- RPA empleadas únicamente para exhibiciones aéreas, eventos deportivos, actividades recreativas o competiciones, lo que incluye el uso recreativo común de drones.
- RPA con una masa máxima al despegue superior a 150 kg, excepto si:
 - Realizan operaciones de aduanas, policía, búsqueda y rescate, extinción de incendios, vigilancia costera u otras funciones similares.
 - Están excluidas de la regulación comunitaria.

El capítulo II, Sección 1^a del Real Decreto aborda los requisitos aplicables a los RPAS define los requisitos de aeronavegabilidad, destacando el artículo 9 que exonera de la inscripción en el Registro de Matrícula de Aeronaves Civiles y del certificado de aeronavegabilidad a los RPAS con una masa máxima al despegue de hasta 25 kg. El artículo 11 detalla los procedimientos para la emisión del certificado de aeronavegabilidad y, de ser aplicable, del certificado de tipo restringido, conforme al Anexo I, Parte 21 del Reglamento (UE) n.º 748/2012 de la Comisión. Estos certificados, emitidos a la aeronave, abarcan todos sus componentes, incluyendo la aeronave misma, estaciones de pilotaje remoto y sistemas de control. Sin embargo, este anexo, que regula la certificación de aeronavegabilidad y medioambiental de aeronaves, productos y organizaciones de diseño y producción, es de aplicación general y no específica para RPAS. Esto plantea interrogantes sobre la necesidad de requerir dicha certificación para ciertos tipos de RPAS, lo que podría encarecer el proceso y limitar su competitividad y crecimiento. En el ámbito europeo, se están desarrollando normativas para regular la certificación de la mayoría de las operaciones con RPAS en el ámbito civil. Además, el Real Decreto aborda las condiciones de uso del espacio aéreo, los requisitos operativos, el personal, la habilitación para operaciones especializadas o vuelos experimentales, y los sistemas de aeronaves pilotadas por control remoto en sus capítulos III a VII, respectivamente.

7. PLAN DE VUELO

Un FPL es la información de ruta y de los diferentes factores al que se expone una determinada operación aérea. Esta información debe ser corroborada, puesta en conocimiento y aprobada por las dependencias ATS. A través de ICARO XXI [25] podemos cumplimentar la información del plan de vuelo de manera digital una vez hayamos procedido al registro como usuarios.

7.1. FINALIDAD

El objetivo de un FPL es poner en antecedentes a las dependencias de control sobre la operativa que va a tener lugar por parte del piloto al mando, incrementando de esta manera la seguridad y el orden en cada una de las operaciones aéreas que vayan a desarrollarse durante períodos de tiempo concretos. Este dispondrá de información relevante para el proveedor de servicios de tránsito aéreo, para ello, el piloto deberá cumplimentar la información que se solicita en el formulario de la planificación de vuelo.

7.2. PASOS

Para ingresar un Plan de Vuelo o mensaje FPL, el Operador UAS debe tener un usuario y una contraseña para acceder a ICARO XXI [25]. Para ello, es necesario haber solicitado al AIS la funcionalidad "PV Internet", que es indispensable para completar este proceso.

La captura de pantalla muestra dos secciones principales:

- DÍA DE VUELO:** Muestra la fecha "25 / 01 / 19 (DD/MM/AA)" y botones para "EDITAR" y "Identificación exacta de los Destinatarios".
- IDENTIFICACIÓN DEL MENSAJE:** Muestra los ítems 3, 7 y 8. El ítem 3 ("Tipo de Mensaje") tiene la opción "FPL" seleccionada. El ítem 7 ("Indicativo") tiene el valor "ARGOS01". El ítem 8 ("Reglas y Tipo de Vuelo") tiene "Reglas de vuelo: V" y "Tipo de vuelo: G".

Figura 16: Parte de un FPL.

Fuente: [29].

DIA DE VUELO: fecha en la que se realizará dicha operación.

ARCID: siempre que se presenten varios planes de vuelo, deberán indicarse diferentes ARCID (por ejemplo, plan de vuelo 1 con indicativo ARGOS01, plan de vuelo 2 con indicativo ARGOS02...).

ITEM 7 (Indicativo): matrícula de la aeronave en el caso de UAS inscritos en el Registro de Matrícula de Aeronaves Civiles, o bien, el indicativo de vuelo que el Operador UAS haya escogido en el EAS/EARO coordinado con la división de Seguridad de ENAIRE.

ITEM 8 (Reglas y Tipo de Vuelo):

- **Reglas de vuelo:** consignar las reglas de vuelo correspondientes que, con carácter general, serán VFR, con lo cual consignaré la letra V en dicho ítem.
- **Tipo de vuelo:** se refiere, con carácter general deberá cumplimentarse la letra G en dicho ítem, correspondiente a una operación de aviación general.

La captura de pantalla muestra dos secciones principales:

- DATOS AERONAVE:** Muestra la tabla "Aeronaves" con 1 fila y los campos "Nº" (1), "Tipo" (ZZZZ), "Estela" (L) y botones para "EDITAR" y "Equipo y Capacidades".
- Equipo y Capacidades:** Muestra los campos "Equipo de COM: V", "Equipo SSR: N" y "Equipo ADS:".

Figura 17: Parte de un FPL.

Fuente: [29].

ITEM 9 (Aeronaves):

- **Nº:** en este campo se indicará el número de UAS que, en general, será 1.
- **Tipo:** al no existir en el Doc. 8643 de OACI [27] designaremos propios para los UAS, deberá indicarse ZZZZ en este campo, lo cual obliga a cumplimentar informaciones adicionales en el ÍTEM 18 como se explicará más adelante.
- **Estela:** se tratará, en todos los casos de UAS con MTOM < 150 kg3, de estela ligera, con lo que deberá cumplimentarse una L en este campo.

ITEM 10 (Equipo y Capacidades):

- **Equipo de COM:** se indicará V, que corresponde a que se dispone de un equipo de comunicaciones en banda aeronáutica VHF, tal y como es obligado para operaciones en espacio aéreo controlado.

- Equipo de SSR: se indicará el equipo SSR que disponga la aeronave. Si no se dispone de ninguno deberá consignarse una N.
- Equipo ADS: en caso de disponer un equipamiento ADS, indicar de qué tipo es, en caso contrario puede dejarse en vacío.

Figura 18: Parte de un FPL.
Fuente: [29].

ÍTEM 13 (Salida):

- ADEP: teniendo en cuenta las particularidades de los UAS, si el despegue se realiza desde un lugar que no pertenece a un aeródromo con código OACI registrado en el Doc. 7910 [26], se deberá indicar ZZZZ en este apartado.
- EOBT: hora de levantamiento/ despegue del UAS (indicar la hora en UTC. No hora local)
- Oficina ARO: al haber indicado ZZZZ en el campo ADEP, será obligatorio completar además el campo DEP del ÍTEM 18 con una dirección postal sencilla o una referencia geográfica cercana al lugar de despegue del UAS

Figura 19: Parte de un FPL.
Fuente: [29].

Una vez completado el campo DEP, se abrirá una ventana emergente que permitirá al Operador UAS seleccionar la Oficina ARO responsable de recibir el mensaje FPL para su revisión, modificación o rechazo.

Figura 20: Parte de un FPL.
Fuente: [29].

Para elegir a qué oficina ARO enviar el FPL para su validación, se debe seleccionar en el menú desplegable la oficina ARO que corresponda a la zona donde se desarrollará la mayor parte de la operación. Después de elegir la Oficina ARO a la que se enviará el mensaje FPL, el ÍTEM 13 del Plan de Vuelo estará completado.

Además, el Operador UAS deberá comunicar por teléfono la finalización del vuelo a la oficina ARO correspondiente, similar a lo que se hace en las operaciones VFR para evitar que se activen las medidas de Servicio de Alerta.

The screenshot shows a software interface for flight planning. At the top, it says 'Destino y Aeródromos alternativos' and '16'. Below that, there are input fields: 'ADES: ZZZZ' with a search icon, 'EET Total: 00 : 30 (hh:mm)' with a search icon, and 'ALTN:' followed by an empty text field and a search icon. There are also some grayed-out or disabled buttons.

Figura 21: Parte de un FPL.
Fuente: [29].

ÍTEM 16 (Destino y Aeródromos Alternativos):

- ADES: de manera similar al ÍTEM 13, si la llegada no se realiza a un aeródromo con un código OACI incluido en el Doc. 7910 de OACI [26], se deberá indicar ZZZZ en este ítem. Al introducir ZZZZ en el campo ADES, será obligatorio completar además el campo DEST del ÍTEM 18 con una dirección postal simple o una referencia geográfica cercana al lugar donde aterrizará el UAS. Usualmente, esta referencia coincidirá con la indicada en el campo DEP.
- EET Total: duración total del vuelo (formato hh:mm)
- ALTN: en términos generales, no es necesario completar el campo de aeródromo de destino alternativo para un vuelo VFR, por lo que este espacio puede quedar en blanco.

The screenshot shows a software interface for flight planning. At the top, it says 'RUTA' and '15'. Below that, there are input fields: 'Velocidad: K0020' and 'Nivel: S0009'. To the right is a large, empty text area labeled 'Ruta:' with scroll bars, and a small icon with arrows in the top right corner.

Figura 22: Parte de un FPL.
Fuente: [29].

ÍTEM 15 (Ruta):

- Velocidad: velocidad media del UAS en formato kilómetros/ hora (por ejemplo, 30km/h son K0030) o en nudos (por ejemplo, 150 nudos de TAS son N0150).
- Nivel: se podrá elegir una de las siguientes alternativas:
 - Nivel de vuelo indicado con la letra F (por ejemplo, F090 corresponde al nivel de vuelo 90).
 - Nivel métrico normalizado en decenas de metros con la letra S (por ejemplo, S0014 significa 140 metros AGL).
 - Altitud en cientos de pies con la letra A (por ejemplo, A060 significa 6000ft de altitud).
 - Altitud en decenas de metros con la letra M (por ejemplo, M0040 significa altitud 400m de altitud).

- Ruta: en el campo Ruta, si no se van a sobrevolar puntos, rutas, aeródromos y/o radio ayudas mencionados en el AIP [28], se deberá especificar una secuencia de al menos cuatro puntos que formen un polígono cerrado (el primer y último punto deben coincidir) de la menor extensión o área posible que abarque toda la zona de operaciones del UAS. Los puntos se indicarán en coordenadas geográficas, separados por espacios en blanco y usando el siguiente formato:
 - o 4 cifras que representan la latitud en grados y minutos (no se puede introducir segundos).
 - o La letra “N” o “S” para indicar la latitud.
 - o 5 cifras que representen la longitud en grados y minutos (no se pueden introducir segundos), rellenando con ceros si es necesario.
 - o La letra “W” o “E” para indicar la longitud.
 - o El primer punto designado en el campo Ruta debe ir seguido de “/Hhmm”, donde hhmm corresponde a la EOBT (ver ÍTEM 13).

Figura 23: Parte de un FPL.
Fuente: [29].

ÍTEM 18: (Otros datos):

- DEP: ya comentado en el ÍTEM 13.
- DEST: ya comentado en el ÍTEM 13.
- OPR: nombre completo del Operador UAS responsable de la operación. Debe coincidir con el nombre que figura en el listado de Operadores UAS habilitados por EASA.
- TYP: cuando se ingresa ZZZZ como tipo de aeronave en el ÍTEM 9, es necesario especificar claramente el tipo de aeronave y su MTOM. Se ofrecen tres opciones:
 - o DRON UAS MULTICOPTERO MTOM
 - o DRON UAS ALA FIJA MTOM
 - o DRON UAS VTOL MTOM
- RMK: en esta sección se incluirá toda la información relevante sobre el FPL operativo que facilite la identificación del área de trabajo y la ejecución de la operación. Se debe tener en cuenta que este campo está limitado a 400 caracteres en ICARO XXI y, además, está sujeto a una restricción de AFTN de

69 caracteres por línea. Debe especificarse el tipo de misión, peso del dron, la referencia del proveedor ATS asignada a la operación, y si está disponible, el NOTAM asociado [31].

OTROS DATOS		18	INFO. SUPLEMENTARIA	19
INFO. SUPLEMENTARIA				
Botes Salvavidas Equipo radio de Emergencia: <input type="text"/> Equipo de Supervivencia: <input type="text"/> Nº: <input type="text"/> Capacidad: <input type="text"/> Cubiertos: <input type="button" value="▼"/> Color: <input type="text"/>				
Personas a bordo: TBN Tipo Chalecos: <input type="text"/> Autonomía: 00 : 50 (hh:mm) Piloto al Mando: PATRICIA ALONSO Color y Marcas del avión: BLANCO CON RAYAS ROJAS Observaciones: TLF CONTACTO 676092522 <input type="button" value="x"/>				

Figura 24: Parte de un FPL.
Fuente: [29].

ÍTEM 19: (Información Suplementaria):

- Personas a bordo: dado que se trata de una aeronave no tripulada, se debe ingresar el número 0 en este campo. Al hacerlo, ICARO XXI automáticamente remplazará este valor numérico con el texto TBN (to be notified).
- Autonomía: se indicará la autonomía total del UAS en formato hh:mm (deberá ser siempre mayor que la duración total del vuelo anotada en el campo EET del ÍTEM 16).
- Piloto al mando: nombre del piloto al mando del UAS.
- Color y marcas del avión: otro tipo de distintivos (colores o análogos) del UAS que ayuden a su identificación, en texto claro.
- Observaciones: además, se deben incluir otros detalles relevantes de la operación, como el número de teléfono del Operador UAS o del piloto, que es recomendable registrar aquí, sobre todo cuando el análisis de seguridad aeronáutica, coordinado con el proveedor de servicios ATS y/o el gestor aeroportuario, señale este medio telefónico como crucial para aplicar medidas de mitigación.

8. GESTION DE UN PLAN DE VUELO

Un plan de operación, de manera general, comprende:

- Quién estará a cargo del vuelo: esto incluye al piloto, cualquier formación importante del piloto, así como al operador o propietario.
- Qué tipo de aeronave se utilizará: se detalla la identidad y los aspectos técnicos del dron, incluyendo aquellos que son obligatorios.
- Dónde se llevará a cabo el vuelo: se especifica el lugar con anticipación.
- Cuando ocurrirá el vuelo y por cuánto tiempo: se establece la fecha y la duración del vuelo con anticipación.
- Información adicional: esto puede abarcar documentos relacionados con el acceso a los espacios aéreos, justificantes SORA, certificación del vuelo, entre otros.

8.1. REQUISITOS REGLAMENTARIOS

El Reglamento de Ejecución (UE) 2021/664 [3] proporciona un marco regulatorio para el U-space. El capítulo I de EU2021/664 [3] proporciona principios, requisitos generales y definiciones.

El capítulo II de EU2021/664 [3] establece requisitos sobre el espacio aéreo U-space y los servicios de información comunes. Antes de que un Estado miembro designe un espacio aéreo de U-space, debe realizarse una evaluación de riesgos del espacio aéreo. Se publicará un AMC/GM para obtener más orientación [10]. Hay cuatro servicios obligatorios de U-space: el servicio de identificación de red, el servicio de geocognición, el servicio de autorización de vuelos UAS y el servicio de información de tráfico.

El capítulo III de EU2021/664 [3] establece requisitos generales para los operadores de UAS y los proveedores de servicios espaciales.

El capítulo IV de EU2021/664 [23] proporciona la descripción detallada sobre el intercambio de datos de los cuatro servicios U-space obligatorios (identificación de red, conciencia geográfica, autorización de vuelos e información de tráfico), además de la información meteorológica y los servicios de seguimiento de conformidad.

El Capítulo V trata sobre cómo se certificará USSP/CIS.

8.2. PREPARACIÓN DEL PLAN DE VUELO

Es probable que se encuentren disponibles una variedad de servicios de asistencia para la preparación de planes operativos de drones. Estos servicios pueden diferir en su enfoque de mercado, facilidad de uso, costo, alcance, nivel de integración con otras herramientas de los operadores y grado de optimización ofrecido. También existirán herramientas equivalentes que no se presentan como servicios, sino que se ejecutan en las instalaciones del operador del dron. Algunos operadores pueden optar por desarrollar sus propias herramientas. En esta sección, todos estos recursos se denominan colectivamente como servicios de asistencia para la preparación de planes operativos de drones.

Estos servicios compartirán algunas características comunes, especialmente en su interacción con el servicio de tramitación del plan de operación de drones:

- Permiten al operador elaborar un plan de operación y enviarlo al servicio de tramitación del plan de operación de drones.
- Facilitan al operador visualizar (y, con suerte, comprender) la información que se recibe al enviar un plan de operación.
- Permiten al operador verificar el estado de un plan de operación presentado.
- Ofrecen la posibilidad al operador de cancelar o enviar una actualización de un plan de operación ya presentado.

Además de estas características comunes, muchos de estos servicios pueden:

- Facilitar la carga del plan de operación en el dron.
- Apoyar los procesos de SORA, hasta cierto punto.
- Integrarse con empresas de "Seguros como Servicio".
- Integrarse con estaciones de pilotaje remoto para ayudar en la monitorización de la conformidad y tareas similares.

8.3. TRAMITACIÓN DEL PLAN DE VUELO

El servicio de procesamiento de planes de operación de drones, desplegado en U2, es esencial para actividades relacionadas con la seguridad, recibiendo y utilizando planes de operación. Su implementación debe ser sólida y confiable debido a su crítica importancia para la seguridad. Este servicio mantiene registros de vuelos enviados que aún no han sido archivados, gestionando datos considerados comercialmente confidenciales y sujetos a restricciones de acceso.

Los datos almacenados incluyen históricos de vuelos que se archivan después del aterrizaje o cancelación del vuelo. Su acceso está estrictamente controlado. Aunque se presenta una visión operativa de una instancia integrada del servicio, su implementación real puede variar, dejando abierta la posibilidad de diferentes enfoques fuera del alcance de este documento de concepto operativo.

El plan de operación sirve como representante del operador de drones ante el servicio de procesamiento de planes de operación. Los operadores utilizan servicios o herramientas para preparar y optimizar el plan, enviándolo de manera segura. Todas las operaciones registradas en este servicio se consideran el tráfico de drones. La presentación de un plan operativo se percibe como un cambio en el tráfico por parte de otros operadores de drones.

El servicio de tramitación del plan de operación de drones actúa como una puerta de acceso a una serie de servicios. Cuando recibe un plan de operación, realiza una serie de pasos, que pueden enumerarse de manera aproximada:

- Comprobación de sintaxis: Se verifica si el documento recibido se asemeja lo suficiente a un plan de vuelo para ser procesado.
- Verificación semántica: Se asegura de que todos los datos esperados estén presentes.
- Generación de un identificador único para el plan de operación, si todo está en orden.
- Verificación de autorización mediante el servicio de Registro electrónico para determinar si hay alguna razón por la que el operador, el piloto o el dron no deberían volar.
- Construcción de un modelo probabilístico 4D de las probables ocupaciones del espacio aéreo del vuelo, utilizando diversos datos como el plan, la información meteorológica y las características de vuelo del dron.
- Notificación meteorológica para verificar la existencia de avisos meteorológicos para el lugar y momento de la operación.
- Aplicación de geo-cercados, límites de altura y otros controles utilizando información aeronáutica y la trayectoria probabilística.
- Interfaz de procedimientos con el ATC si la trayectoria probablemente penetra alguna zona controlada.
- Invocación de servicios de gestión de conflictos y capacidad dinámica, si están disponibles.

La respuesta del procesamiento debe reflejar una copia del plan aceptado, incluyendo su identificador único (debe ser único en toda la UE y durante un mínimo de dos años, preferiblemente más), junto con cualquier condición adicional, como aquellas relacionadas con la interfaz de procedimiento con el control de tráfico aéreo (ATC), o una explicación de cualquier problema que haya impedido la aceptación.

El servicio de gestión del plan de operación también proporcionará un modo de validación, donde el plan se verifica, pero no se envía, es decir, no se incorpora al conjunto de operaciones. Este modo respalda los procesos de evaluación de riesgos y optimización, aunque algunas partes del proceso, como la interfaz de procedimiento con ATC, no se ejecutarán completamente en el modo de validación.

Una vez que un plan de operación ha sido aceptado por el servicio de procesamiento de planes de operación de drones, el operador tendrá la capacidad de enviar mensajes adicionales para cancelar o modificar el plan de operación, así como para consultar el estado actual del mismo. Además, un operador puede utilizar el servicio para obtener una lista de todos los planes de operación conocidos que haya presentado.

8.4. SERVICIO DE RESOLUCIÓN DE CONFLICTOS

Hay dos tipos de resolución de conflictos, el servicio de resolución estratégica y el servicio de resolución táctica de conflictos; tanto uno como el otro son componentes esenciales del sistema de gestión del espacio aéreo para drones. Estos servicios, desplegados por el servicio de procesamiento del plan de operación de drones, trabajan en conjunto para garantizar la seguridad y eficiencia de las operaciones aéreas no tripuladas.

Los servicios de resolución estratégica y táctica de conflictos son invocados por el servicio de procesamiento del plan de operación de drones en diferentes momentos del proceso de vuelo. Mientras que el primero se encarga de resolver conflictos antes de la ejecución del vuelo, el segundo aborda los conflictos que surgen durante el vuelo en tiempo real.

El servicio de resolución estratégica de conflictos detecta y propone soluciones a posibles conflictos examinando las trayectorias 4D predichas por el servicio de procesamiento del plan de operación de drones. Estas soluciones se presentan al operador para su revisión y refinamiento antes de la presentación o modificación del plan de vuelo.

Por otro lado, el servicio de resolución táctica de conflictos opera durante el vuelo, utilizando información en tiempo real sobre la posición de todas las aeronaves en el espacio aéreo. Basándose en esta información, el servicio emite consejos o instrucciones a las aeronaves para evitar conflictos en el aire, lo que requiere una comunicación rápida y confiable con los pilotos.

Ambos servicios son cruciales para mantener la seguridad y eficiencia de las operaciones de drones, y se integran estrechamente con otros servicios como el seguimiento de aeronaves y la gestión de información aeronáutica para garantizar su funcionamiento óptimo.

8.5. SERVICIO DE GESTIÓN DE EMERGENCIAS

La gestión de emergencias en el contexto de U-space fusiona los servicios de la plataforma con las capacidades técnicas tanto del dron como de la estación de pilotaje remoto, ofreciendo la detección y recuperación de emergencias. En este proceso, el piloto u operador remoto puede activar un Plan de Respuesta a Emergencias previamente establecido. Esta sección también aborda la notificación de accidentes, incidentes e incidentes potenciales, así como el registro de datos para investigaciones posteriores. El servicio de gestión de emergencias de U-space tiene dos aspectos fundamentales: brindar asistencia a pilotos de drones en situaciones de emergencia y

comunicar información relevante a otros actores interesados, como pilotos de drones potencialmente afectados, la aviación tripulada y los servicios de tráfico aéreo.

La asistencia proporcionada al piloto puede abarcar diversos aspectos, como facilitar la notificación de una emergencia, detectar y alertar sobre situaciones de emergencia cuando sea posible, proponer acciones para minimizar el riesgo y recordar planes de contingencia o respuesta a emergencias. Es fundamental que el servicio de gestión de emergencias esté configurado para la operación en curso, lo que implica que el piloto debe identificar su dron y/o plan de operación correspondiente. Si el dron no utiliza el servicio de envío de informes de posición, el piloto deberá proporcionar la ubicación del vuelo al inicio de la sesión. Es esencial que el canal de comunicación de la gestión de emergencias esté monitoreado constantemente por el piloto del dron, considerando los factores humanos involucrados, como el posible estrés durante una emergencia. El servicio U-space añade valor al filtrar la información recibida para mantener su relevancia para el piloto. Además, el servicio de gestión de emergencias utiliza información de otros servicios de la plataforma, como seguimiento y procesamiento del plan de operación, para advertir al piloto sobre geocercas que puedan afectar al vuelo en curso.

Por otro lado, el proceso de notificación de Accidentes e Incidentes se describe en detalle en la sección correspondiente. El servicio de informes de accidentes/incidentes de U-space respalda este proceso, permitiendo a los operadores de drones y otras partes informar sobre sucesos ocurridos. Este servicio mantiene los informes durante todo su ciclo de vida, garantizando el acceso solo a personas autorizadas. Asimismo, este servicio se conecta indirectamente con todas las partes de U-space a través del servicio de Registro Legal. Existe una posible interacción entre el servicio de Gestión de Emergencias y el servicio de notificación de Accidentes e Incidentes, ya que ciertos eventos de emergencia podrían desencadenar la creación automática de un informe de accidente/incidente. U-space también debe permitir a los ciudadanos informar sobre incidentes o accidentes relacionados con drones, y la interfaz de usuario debe ser diseñada para facilitar la presentación de información suficiente para identificar los vuelos en cuestión. Los detalles del servicio de informes al ciudadano son similares a los del servicio de informes de accidentes e incidentes.

8.6. SERVICIOS DE MONITOREO

Los servicios de monitoreo engloban funciones derivadas principalmente del Rastreo, las cuales son de gran utilidad durante los vuelos. El Servicio de Seguimiento, sujeto a los requisitos adecuados de calidad de datos, recopila información del servicio de seguimiento y la combina con datos relacionados con obstáculos y vehículos no cooperativos. Esto permite generar un informe del estado de la situación aérea para autoridades, proveedores de servicios y operadores, incluidos los pilotos. Este servicio abarca el monitoreo del cumplimiento del plan de operación, cumplimiento y advertencias de geocercas, límites climáticos, riesgos terrestres y electromagnéticos. Las alertas del servicio de Monitoreo deben emitirse preferiblemente mediante alertas de audio para garantizar su compatibilidad con todas las operaciones con drones.

Por otro lado, tenemos el servicio de Información de Tráfico proporciona a pilotos u operadores de drones datos sobre el tráfico aéreo, incluidos otros vuelos, tripulados o no tripulados, que puedan representar un riesgo de colisión. Esta información también presenta la situación del aire, aunque puede estar sujeta a restricciones comerciales. Además, permite acceder a las densidades de tráfico previstas a partir de los planes operativos presentados.

Por último, el Registro Legal tiene como objetivo apoyar la investigación de accidentes e incidentes, registrando todas las interacciones con U-space y permitiendo determinar el estado completo del sistema en cualquier momento. También se utiliza como fuente de información para investigación y capacitación, y mediante algoritmos especializados puede identificar situaciones de alto riesgo para mejorar la evaluación de riesgos futuros.

8.7. INTERFAZ CON ATC

Para facilitar la interacción entre los drones y el ATC, se proponen dos interfaces: la Interfaz de Procedimiento con ATC y la Interfaz Colaborativa con ATC.

La Interfaz de Procedimiento con ATC opera antes del vuelo y actúa como un mecanismo para coordinar la entrada de un vuelo al espacio aéreo controlado. Cuando se invoca este servicio a través del servicio de procesamiento del plan de operación, ATC puede aceptar o rechazar el vuelo, así como describir los requisitos y procesos necesarios.

Por otro lado, la Interfaz Colaborativa con ATC se introduce en U3 y ofrece una comunicación efectiva entre el Piloto Remoto (o el dron en vuelo automático) y ATC mientras el dron está en una zona controlada. Esta interfaz, que puede ser verbal o textual, permite que los vuelos reciban instrucciones y autorizaciones de manera estándar y eficiente. Es importante destacar que la Interfaz Colaborativa no reemplaza la aprobación de ATC para ingresar a un área controlada, sino que proporciona un medio de comunicación seguro y eficaz entre ATC y los pilotos remotos. Además de facilitar las comunicaciones, ATC puede garantizar una operación segura si tiene acceso a los datos de vigilancia del espacio U.

9. ARBOL DE DECISIONES

Para la sección práctica de este trabajo, utilizaremos un árbol de decisiones y un código en Python para determinar los certificados y requisitos necesarios para cada tipo de operación, basándonos en la información proporcionada por el FPL y su correspondiente registro en AESA.

ATRIBUTO	REQUISITOS / CERTIFICADOS NECESARIOS
C0	<ul style="list-style-type: none"> - MTOW < 250g - Velocidad < 19m/s - Altura < 120m - No requiere certificación - Puede volar sobre personas, pero no sobre multitudes
C1	<ul style="list-style-type: none"> - MTOW < 900g - Velocidad < 19m/s - Altura < 120m - Registro obligatorio - Curso de formación en línea y examen (categoría A1/A3) - Puede volar sobre personas, pero no sobre multitudes - Sistema de geo-conciencia, de identificación remota directa y de red - Sistema de aviso de batería baja para el dron y la CS
C2	<ul style="list-style-type: none"> - MTOM < 4.000g - Altura < 120m - Sistema de geo-conciencia, de identificación remota directa y de red - Luces para control de actitud y vuelo nocturno - Sistema de aviso de batería baja para el dron y la CS - Estar equipado con un enlace de datos protegido contra el acceso no autorizado a las funciones de mando y control - Curso teórico y práctico (categoría A2) - Registro obligatorio
C3	<ul style="list-style-type: none"> - MTOW < 25.000g - Envergadura < 3m - Altura < 120m - Sistema de geo-conciencia, de identificación remota directa y de red - Luces para control de actitud y vuelo nocturno - Sistema de aviso de batería baja para el dron y la CS - Estar equipado con un enlace de datos protegido contra el acceso no autorizado a las funciones de mando y control - Curso de formación en línea y examen (categoría A3) - Registro obligatorio
C4	<ul style="list-style-type: none"> - MTOW < 25.000g - No disponer de modos de control automático - Registro obligatorio

	<ul style="list-style-type: none"> - Curso de formación en línea y examen (categoría A3) - Sistema de geo-conciencia
C5	<ul style="list-style-type: none"> - MTOW < 25.000g - No ser una aeronave de ala fija - Información clara de la altura del dron - Sistema de geo-conciencia, de identificación remota directa y de red - Luces para control de actitud y vuelo nocturno - Estar equipado con un enlace de datos protegido contra el acceso no autorizado a las funciones de mando y control - Registro obligatorio - Certificado LUC - Curso teórico y práctico específico para operaciones en categoría específica, además de realizar un SORA - Autorización operativa (AESPA) - Sistema de aviso de batería baja para el dron y la CS
C6	<ul style="list-style-type: none"> - MTOW < 25.000g - Velocidad < 50m/s - Información clara de la altura del dron - Sistema de geo-conciencia, de identificación remota directa y de red - Sistema de aviso de batería baja para el dron y la CS - Registro obligatorio - Formación específica teórica y práctica, además de realizar un SORA para la autoridad competente - Autorización operativa (AESPA) - Certificado LUC
CATEGORÍA ABIERTA	<ul style="list-style-type: none"> - Altura < 120m - MTOM < 25.000g
CATEGORÍA ESPECÍFICA	<ul style="list-style-type: none"> - MTOM > 25.000G - Altura > 120m - Envergadura < 3m - Evaluación de riesgos conforme a SORA - AOC - Seguro de Responsabilidad Civil - Manual de operaciones - Registro del dron
CATEGORÍA CERTIFICADA	<ul style="list-style-type: none"> - Envergadura > 3m - Autorización operativa expedida por AESPA - Certificación del dron - AOC - Manual de Operaciones de Drones Certificados - Plan de Mantenimiento del Dron - Seguro de Responsabilidad Civil

	<ul style="list-style-type: none"> - Autorización Específica de Vuelo - Registro del dron
ESPACIO AÉREO CONTROLADO	<ul style="list-style-type: none"> - Autorización de AESA - Comunicación con el ATC
ESPACIO AÉREO NO CONTROLADO	<ul style="list-style-type: none"> - Registro del dron - Seguro de Responsabilidad Civil
A1	<ul style="list-style-type: none"> - MTOM < 900g - Velocidad < 19m/s - Altura < 120m - No sobrevolar personas no participantes ni concentraciones de personas - Registro del dron - Familiarización con el manual de usuario facilitado por el fabricante del UAS
A2	<ul style="list-style-type: none"> - MTOM < 4.000g - Distancia mínima 30m respecto personas no participantes - Distancia mínima 50m respecto edificios - Registro del dron - Familiarización con el manual de usuario facilitado por el fabricante del UAS - Prueba de superación de formación en línea - Declaración de formación autopráctica - Certificado de Competencia de Piloto a Distancia
A3	<ul style="list-style-type: none"> - MTOW < 25.000g - Distancia mínima 50m respecto personas no participantes - Distancia mínima 150m respecto de zonas residenciales, zonas comerciales, zonas industriales y zonas recreativas - Familiarización con el manual de usuario facilitado por el fabricante del UAS - Prueba de superación de formación en línea

Tabla 10: Requisitos y certificaciones necesarios de cada atributo.
Fuente: elaboración propia

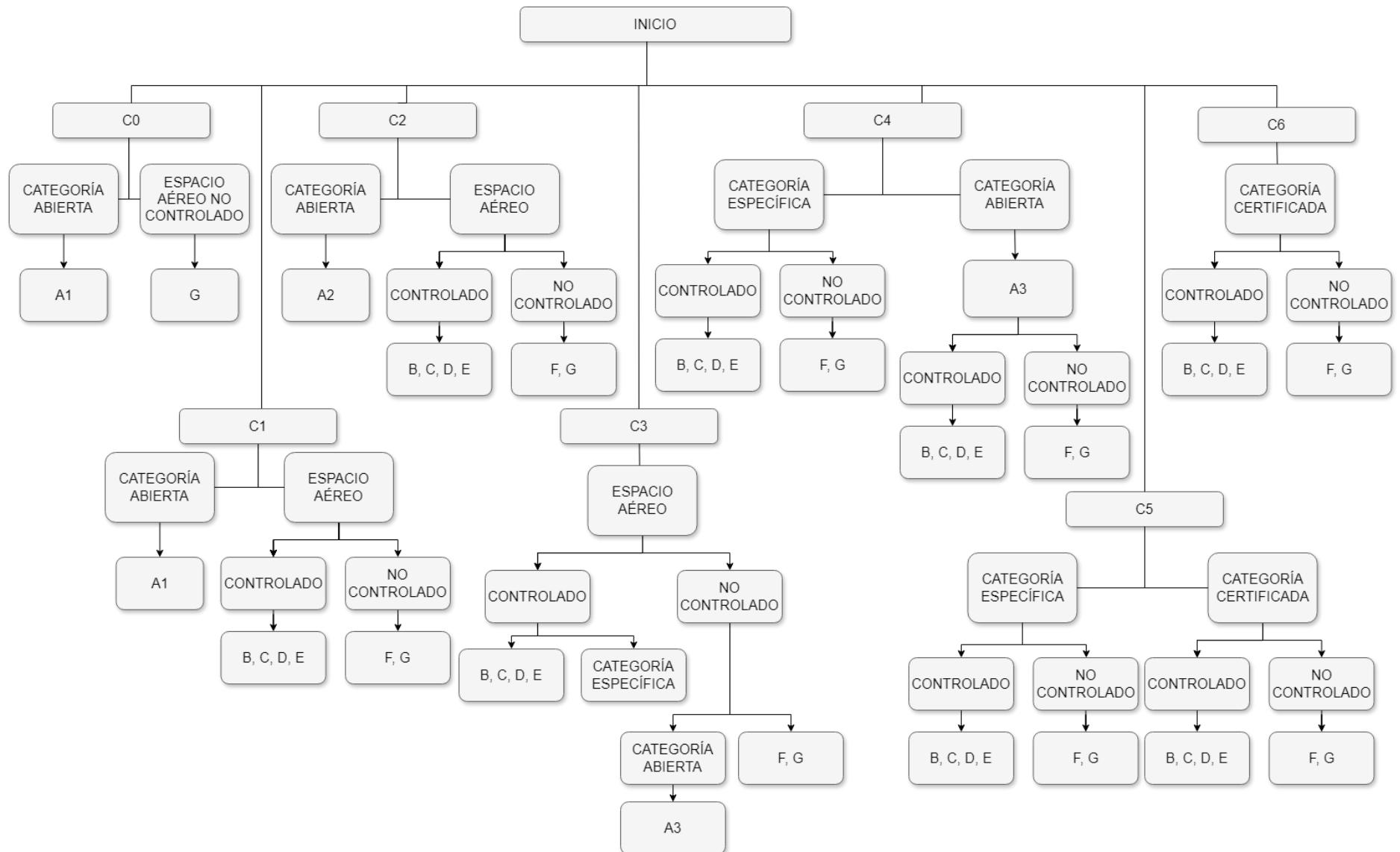


Figura 25: Árbol de decisiones.

10. CÓDIGO PYTHON

A continuación, se explicará por secciones el código Python. Este tiene como objetivo que el usuario pueda saber qué tipo de requisitos y certificados necesita y/o debe tener mediante la información que se recibiría del FPL y la información que proporciona el dron al estar registrado. Esto será posible gracias a una serie de preguntas que irán apareciendo, dependiendo de las elecciones. Es decir, el proceso se realiza a partir del árbol de decisiones visto previamente.

Primero, vamos a establecer una función que verifica si el peso del dron es adecuado para la clase, categoría o subcategoría especificadas. Define diccionarios 'limites_clase' y 'limites_subcategoria' con los límites de peso para cada clase y subcategoría. Verifica si el peso del dron supera los límites permitidos, y en caso afirmativo, muestra un mensaje de error y retorna 'False'. Esta función también comprueba que, si el usuario indica que es categoría abierta, el peso del dron no supere los límites permitidos. Además, realiza la misma comprobación para la categoría específica.

```
def verificar_peso(clase, categoria, subcategoria, peso):
    limites_clase = {
        "C0": 250,
        "C1": 900,
        "C2": 4000
    }

    limites_subcategoria = {
        "A1": 900,
        "A2": 4000,
        "A3": 25000,
        "N": 1000000000
    }

    if clase in limites_clase and peso > limites_clase[clase]:
        print(f"El peso de tu dron no es adecuado para la clase {clase}.\n"
              "El peso máximo permitido es {limites_clase[clase]}g.\n")
        return False

    if categoria == "abierta" and peso >= 25000:
        print(f"El peso de tu dron no es adecuado para la categoría {categoria}.\n"
              "Debe ser menor de 25000g.\n")
        return False
    elif categoria == "específica" and peso < 25000:
        print(f"El peso de tu dron no es adecuado para la categoría {categoria}.\n"
              "Debe ser mayor o igual a 25000g.\n")
        return False

    if subcategoria in limites_subcategoria and peso > limites_subcategoria[subcategoria]:
        print(f"El peso de tu dron no es adecuado para la subcategoría {subcategoria}.\n"
              "El peso máximo permitido es {limites_subcategoria[subcategoria]}g.\n")
        return False

    return True
```

Figura 26: Función 'verificar_peso'
Fuente: código Python de elaboración propia

A continuación, se presenta la función 'verificar_velocidad', la cual evalúa si la velocidad del dron cumple con los límites establecidos para la clase y las subcategorías especificadas. En primer lugar, se define el diccionario 'limites_velocidad', que contiene las velocidades máximas permitidas para cada clase y subcategoría. Luego, se verifica si la velocidad del dron excede los límites permitidos; en caso afirmativo, se muestra un mensaje de error y se retorna 'False'.

```

def verificar_velocidad(clase, subcategoria, velocidad):
    limites_velocidad = {
        "C0": 19,
        "C1": 19,
        "C6": 50,
        "A1": 19
    }

    if clase in limites_velocidad and velocidad > limites_velocidad[clase]:
        print(f"La velocidad de tu dron no es adecuada para la clase {clase}.")
        "La velocidad máxima permitida es {limites_velocidad[clase]} m/s.\n")
        return False
    if subcategoria in limites_velocidad and velocidad > limites_velocidad[subcategoria]:
        print(f"La velocidad de tu dron no es adecuada para la subcategoria {subcategoria}.")
        "La velocidad máxima permitida es {limites_velocidad[subcategoria]} m/s.\n")
        return False

    return True

```

Figura 27: Función ‘verificar_velocidad’
Fuente: código Python de elaboración propia

La tercera y última función que encontramos es ‘obtener_certificación’. Esta función utiliza un bucle ‘while True’ para asegurar que el usuario pueda ingresar datos hasta que se cumplan las condiciones para salir del bucle y terminar la función. Primero, solicita al usuario que ingrese la clase del dron, utilizando ‘.upper()’ para convertir la entrada a mayúsculas y asegurar que no haya problemas con mayúsculas/minúsculas.

Seguidamente, verifica si la clase ingresada está en la lista de clases válidas. Si no lo está, muestra un mensaje de error y vuelve al inicio del bucle, solicitando nuevamente la entrada de la clase.

Luego, se solicita al usuario que ingrese el peso del dron en gramos. Si el usuario no ingresa un valor numérico válido, se muestra un mensaje de error y se vuelve a solicitar el primer paso.

A continuación, se solicita al usuario que ingrese la velocidad del dron en el formato “K###” (por ejemplo, K0030 para 30 km/h). Si el usuario no ingresa una velocidad válida en el formato especificado, se muestra un mensaje de error. El valor numérico de la velocidad se extrae eliminando el prefijo “K” y luego se convierte de km/h a m/s multiplicándolo por 0.27778.

```

def obtener_certificacion():
    while True:
        # Preguntar la clase del dron
        clase_dron = input("¿Cuál es la clase de tu dron? (C0, C1, C2, C3, C4, C5, C6): ").upper()

        if clase_dron not in ["C0", "C1", "C2", "C3", "C4", "C5", "C6"]:
            print("Clase de dron no válida.")
            "Por favor ingresa una clase válida (C0, C1, C2, C3, C4, C5, C6).\n")
            continue

        # Preguntar el peso del dron
        try:
            peso_dron = float(input("¿Cuál es el peso de tu dron en gramos?: "))
        except ValueError:
            print("Peso no válido. Por favor ingresa un valor numérico.\n")
            continue

        # Preguntar la velocidad del dron
        try:
            velocidad_str = input("¿Cuál es la velocidad de tu dron en formato K### (ej. K0030 para 30 km/h)?: ").upper()
            velocidad_kmh = int(velocidad_str[1:]) # Obtener la velocidad como entero
            velocidad_ms = velocidad_kmh * 0.27778 # Convertir a m/s
        except ValueError:
            print("Formato de velocidad no válido. Por favor ingresa un valor en el formato K###.\n")
            continue

```

Figura 28: Inicio de la función ‘obtener_certificacion’
Fuente: código Python de elaboración propia

Finalmente, dependiendo de la clase que haya introducido el usuario, se realizarán una serie de comprobaciones y otras solicitudes al usuario. También se llamarán a las

funciones ‘verificar_peso’ y ‘verificar_velocidad’ para validar si el peso y la velocidad del dron cumplen con los requisitos para esa clase específica y sus subcategorías (si aplican).

Primero, si la clase del dron es C0, este pertenecerá a la categoría abierta A1 y volará en espacio aéreo no controlado (G). Una vez verificados el peso y la velocidad, se mostrarán los requisitos y certificaciones necesarios en este caso.

```

if clase_dron == "C0":
    if verificar_peso(clase_dron, "abierta", "A1", peso_dron) and verificar_velocidad(clase_dron, "A1", velocidad_ms):
        print("Tu dron está en la clase C0, categoría abierta, subcategoría A1.")
        print("Puedes volar en espacio no controlado, categoría G.")
        print("Requisitos: \n" " - Altura<120m \n"
              " - Puede volar sobre personas no participantes pero no sobre multitudes")
        print("Documentación: \n" " - Registro del dron \n"
              " - Familiarización con el manual de usuario facilitado por el fabricante del UAS \n"
              " - Seguro de Responsabilidad Civil")
    break

```

Figura 29: Función ‘obtener_certificacion’ – dron clase C0

Fuente: código Python de elaboración propia

Posteriormente, descubrimos que, si el dron pertenece a la clase C1, se encuadrará en la categoría abierta A1 y podrá operar en espacio aéreo controlado (clases B, C, D, E) o no controlado (clases F, G). Una vez verificados el peso y la velocidad del dron, se mostrarán los requisitos y certificaciones necesarios en este caso.

```

elif clase_dron == "C1":
    if verificar_peso(clase_dron, "abierta", "A1", peso_dron) and verificar_velocidad(clase_dron, "A1", velocidad_ms):
        espacio_controlado = input("¿Estás volando en espacio controlado? (Sí/No): ").lower()

        if espacio_controlado == "si":
            print("Tu dron está en la clase C1, categoría abierta, subcategoría A1.")
            print("Puedes volar en espacio controlado, categorías B, C, D, E.")
            print("Requisitos: \n" " - Altura<120m \n"
                  " - Puede volar sobre personas no participantes pero no sobre multitudes")
            print("Documentación: \n" " - Registro del dron \n"
                  " - Familiarización con el manual de usuario facilitado por el fabricante del UAS \n"
                  " - Comunicación con el ATC \n" " - Autorización de AESA")
        else:
            print("Tu dron está en la clase C1, categoría abierta, subcategoría A1.")
            print("Puedes volar en espacio no controlado, categorías F, G.")
            print("Requisitos: \n" " - Altura<120m \n"
                  " - Puede volar sobre personas no participantes pero no sobre multitudes")
            print("Documentación: \n" " - Registro del dron \n"
                  " - Familiarización con el manual de usuario facilitado por el fabricante del UAS \n"
                  " - Seguro de Responsabilidad Civil")
    break

```

Figura 30: Función ‘obtener_certificacion’ – dron clase C1

Fuente: código Python de elaboración propia

Posteriormente, encontramos que, si la clase del dron es C2, pertenecerá a la categoría abierta A2 y podrá operar en espacio aéreo controlado (B, C, D, E) o no controlado (F, G). Una vez verificados el peso y la velocidad, se mostrarán los requisitos y certificaciones necesarios para este caso.

```

    elif clase_dron == "C2":
        if verificar_peso(clase_dron, "abierta", "A2", peso_dron):
            espacio_controlado = input("¿Estás volando en espacio controlado? (Si/No): ").lower()

        if espacio_controlado == "si":
            print("Tu dron está en la clase C2, categoría abierta, subcategoría A2.")
            print("Puedes volar en espacio controlado, categorías B, C, D, E")
            print("Requisitos: \n" " - Altura<120m \n"
                  " - Sistema de geo-conciencia, de identificación remota directa y de red"
                  " - Luces para control de actitud y vuelo nocturno \n"
                  " - Sistema de aviso de batería baja para el dron y la CS \n"
                  " - Estar equipado con un enlace de datos protegido contra el acceso no autorizado a las funciones de mando y control \n"
                  " - Distancia mínima 30m respecto personas no participantes \n"
                  " - Distancia mínima 50m respecto edificios \n")
            print("Documentación: \n" " - Registro del dron \n"
                  " - Curso teórico y práctico (categoría A2) \n"
                  " - Familiarización con el manual de usuario facilitado por el fabricante del UAS \n"
                  " - Prueba de superación de formación en línea \n"
                  " - Declaración de formación autopráctica \n"
                  " - Certificado de Competencia de Piloto a Distancia \n"
                  " - Comunicación con el ATC \n")
        else:
            print("Tu dron está en la clase C2, categoría abierta, subcategoría A2.")
            print("Puedes volar en espacio no controlado, categorías F, G")
            print("Requisitos: \n" " - Altura<120m \n"
                  " - Sistema de geo-conciencia, de identificación remota directa y de red"
                  " - Luces para control de actitud y vuelo nocturno \n"
                  " - Sistema de aviso de batería baja para el dron y la CS \n"
                  " - Estar equipado con un enlace de datos protegido contra el acceso no autorizado a las funciones de mando y control \n"
                  " - Distancia mínima 30m respecto personas no participantes \n"
                  " - Distancia mínima 50m respecto edificios \n")
            print("Documentación: \n" " - Registro del dron \n"
                  " - Curso teórico y práctico (categoría A2) \n"
                  " - Familiarización con el manual de usuario facilitado por el fabricante del UAS \n"
                  " - Prueba de superación de formación en línea \n"
                  " - Declaración de formación autopráctica \n"
                  " - Certificado de Competencia de Piloto a Distancia \n"
                  " - Seguro de Responsabilidad Civil \n")
    break

```

Figura 31: Función ‘obtener_certificacion’ – dron clase C2
Fuente: código Python de elaboración propia

Posteriormente, descubrimos que, si la clase del dron es C3, este podrá operar en espacio aéreo controlado (B, C, D, E) y tendrá categoría específica, o en espacio aéreo no controlado (F, G) y tendrá categoría abierta A3. Una vez verificados el peso y la velocidad del dron, se presentarán los requisitos y certificaciones necesarios para cada caso.

```

    elif clase_dron == "C3":
        espacio_controlado = input("¿Estás volando en espacio controlado? (Si/No): ").lower()

    if espacio_controlado == "si":
        if verificar_peso(clase_dron, "específica", "N", peso_dron):
            print("Tu dron está en la clase C3, categoría específica.\n"
                  "Puedes volar en espacio controlado, categorías B, C, D, E.\n"
                  "Requisitos: \n" " - Altura<120m \n" " - Envergadura<3m \n"
                  " - Sistema de geo-conciencia, de identificación remota directa y de red"
                  " - Luces para control de actitud y vuelo nocturno \n"
                  " - Sistema de aviso de batería baja para el dron y la CS \n"
                  " - Estar equipado con un enlace de datos protegido contra el acceso no autorizado a las funciones de mando y control \n")
            print("Documentación: \n" " - Registro del dron \n"
                  " - Curso de formación en línea y examen (categoría A3) \n"
                  " - Evaluación de riesgos conforme a SORA \n"
                  " - Seguro de Responsabilidad Civil \n" " - AOC \n"
                  " - Manual de operaciones \n"
                  " - Comunicación con el ATC \n"
                  " - Autorización de AESA \n")
        else:
            if verificar_peso(clase_dron, "abierta", "A3", peso_dron):
                print("Tu dron está en la clase C3, categoría abierta, subcategoría A3.\n"
                      "Puedes volar en espacio no controlado, categorías F, G.\n"
                      "Requisitos: \n" " - Altura<120m \n" " - Envergadura<3m \n"
                      " - Sistema de geo-conciencia, de identificación remota directa y de red"
                      " - Luces para control de actitud y vuelo nocturno \n"
                      " - Sistema de aviso de batería baja para el dron y la CS \n"
                      " - Estar equipado con un enlace de datos protegido contra el acceso no autorizado a las funciones de mando y control \n"
                      " - Distancia mínima 50m respecto personas no participantes \n"
                      " - Distancia mínima 150m respecto de zonas residenciales, zonas comerciales, zonas industriales y zonas recreativas \n")
                print("Documentación: \n" " - Registro obligatorio \n"
                      " - Curso de formación en línea y examen (categoría A3) \n"
                      " - Comunicación con el ATC \n" " - Autorización de AESA \n"
                      " - Familiarización con el manual de usuario facilitado por el fabricante del UAS \n"
                      " - Prueba de superación de formación en línea \n"
                      " - Seguro de Responsabilidad Civil \n")
    break

```

Figura 32: Función ‘obtener_certificacion’ – dron clase C3
Fuente: código Python de elaboración propia

A continuación, encontramos que, si la clase del dron es C4, este puede pertenecer a la categoría específica en espacio aéreo controlado (B, C, D, E) o no controlado (F, G), o a la categoría abierta A3 en espacio aéreo controlado (B, C, D, E) o no controlado (F, G). Una vez verificados el peso y la velocidad, se mostrarán los requisitos y certificaciones necesarios en este caso.

```

elif clase_dron == "C4":
    categoria = input("¿Qué categoría estás operando? (Abierta/Específica): ").lower()
    espacio_controlado = input("¿Estás volando en espacio controlado? (Sí/No): ").lower()
    if verificar_peso(clase_dron, categoria, "A3", peso_dron) and categoria == "abierta":
        if espacio_controlado == "sí":
            print("Tu dron está en la clase C4, categoría abierta, subcategoria A3.")
            print("Puedes volar en espacio controlado, categorías B, C, D, E.")
            print("Requisitos: \n" " - No disponer de modos de control automático \n"
                  " - Sistema de geo-conciencia \n"
                  " - Distancia mínima 50m respecto personas no participantes \n"
                  " - Distancia mínima 150m respecto de zonas residenciales, zonas comerciales, zonas industriales y zonas recreativas \n")
            print("Documentación: \n" " - Registro obligatorio \n"
                  " - Curso de formación en línea y examen (categoria A3) \n"
                  " - Familiarización con el manual de usuario facilitado por el fabricante del UAS \n"
                  " - Prueba de superación de formación en línea \n"
                  " - Autorización de AESA \n" " - Comunicación con el ATC \n")
        else:
            print("Tu dron está en la clase C4, categoría abierta, subcategoria A3.")
            print("Puedes volar en espacio no controlado, categorías F, G.")
            print("Requisitos: \n" " - No disponer de modos de control automático \n"
                  " - Sistema de geo-conciencia \n"
                  " - Distancia mínima 50m respecto personas no participantes \n"
                  " - Distancia mínima 150m respecto de zonas residenciales, zonas comerciales, zonas industriales y zonas recreativas \n")
            print("Documentación: \n" " - Registro obligatorio \n"
                  " - Curso de formación en línea y examen (categoria A3) \n"
                  " - Familiarización con el manual de usuario facilitado por el fabricante del UAS \n"
                  " - Prueba de superación de formación en línea \n"
                  " - Seguro de Responsabilidad Civil \n")
    elif verificar_peso(clase_dron, categoria, "N", peso_dron):
        if espacio_controlado == "sí":
            print("Tu dron está en la clase C4, categoría específica.")
            print("Puedes volar en espacio controlado, categorías B, C, D, E.")
            print("Requisitos: \n" " - Altura<120m \n"
                  " - Envergadura<3m \n"
                  " - No disponer de modos de control automático \n"
                  " - Sistema de geo-conciencia \n")
            print("Documentación: \n" " - Registro obligatorio \n"
                  " - Curso de formación en línea y examen (categoria A3) \n"
                  " - Evaluación de riesgos conforme a SORA \n"
                  " - AOC \n" " - Seguro de Responsabilidad Civil \n"
                  " - Manual de operaciones \n"
                  " - Comunicación con el ATC \n"
                  " - Autorización de AESA \n")
        else:
            print("Tu dron está en la clase C4, categoría específica.")
            print("Puedes volar en espacio no controlado, categorías F, G.")
            print("Requisitos: \n" " - Altura<120m \n"
                  " - Envergadura<3m \n"
                  " - No disponer de modos de control automático \n"
                  " - Sistema de geo-conciencia \n")
            print("Documentación: \n" " - Registro obligatorio \n"
                  " - Curso de formación en línea y examen (categoria A3) \n"
                  " - Evaluación de riesgos conforme a SORA \n"
                  " - AOC \n"
                  " - Seguro de Responsabilidad Civil \n"
                  " - Manual de operaciones \n")
    break

```

Figura 33: Función ‘obtener_certificacion’ – dron clase C4

Fuente: código Python de elaboración propia

Después de analizarlo, si la clase del dron es C5, puede corresponder a una categoría específica en espacio aéreo controlado (B, C, D, E) o no controlado (F, G), o bien a una categoría certificada en espacio aéreo controlado (B, C, D, E) o no controlado (F, G). Una vez determinados el peso y la velocidad, se detallarán los requisitos y certificaciones necesarios para este caso.

```

elif clase_dron == "C5":
    tipo_operacion = input("¿Qué tipo de operación estás realizando? (Específica/Certificada): ").lower()
    espacio_controlado = input("¿Estás volando en espacio controlado? (Sí/No): ").lower()

    if tipo_operacion == "específica" and verificar_peso(clase_dron, tipo_operacion, "N", peso_dron):
        if espacio_controlado == "sí":
            print("Tu dron está en la clase C5, operación específica.")
            print("Puedes volar en espacio controlado, categorías B, C, D, E.")
            print("Requisitos: \n" "- Altura<120m \n"
                  "- Envergadura<3m \n"
                  "- No ser una aeronave de ala fija \n"
                  "- Información clara de la altura del dron \n"
                  "- Sistema de geo-conciencia, de identificación remota directa y de red \n"
                  "- Luces para control de actitud y vuelo nocturno \n"
                  "- Estar equipado con un enlace de datos protegido contra el acceso no autorizado a las funciones de mando y control \n"
                  "- Sistema de aviso de batería baja para el dron y la CS \n")
            print("Documentación: \n" "- Registro obligatorio \n"
                  "- Certificado LUC \n"
                  "- Curso teórico y práctico específico para operaciones en categoría específica, además de realizar un SORA \n"
                  "- Autorización operativa (AESPA) \n"
                  "- Evaluación de riesgos conforme a SORA \n"
                  "- AOC \n"
                  "- Seguro de Responsabilidad Civil \n"
                  "- Manual de operaciones \n"
                  "- Autorización de AESPA \n"
                  "- Comunicación con el ATC \n")
        else:
            print("Tu dron está en la clase C5, operación específica.")
            print("Puedes volar en espacio no controlado, categorías F, G.")
            print("Requisitos: \n" "- Altura<120m \n"
                  "- Envergadura<3m \n" "- No ser una aeronave de ala fija \n"
                  "- Información clara de la altura del dron \n"
                  "- Sistema de geo-conciencia, de identificación remota directa y de red \n"
                  "- Luces para control de actitud y vuelo nocturno \n"
                  "- Estar equipado con un enlace de datos protegido contra el acceso no autorizado a las funciones de mando y control \n"
                  "- Sistema de aviso de batería baja para el dron y la CS \n")
            print("Documentación: \n" "- Registro obligatorio \n" "- Certificado LUC \n"
                  "- Curso teórico y práctico específico para operaciones en categoría específica, además de realizar un SORA \n"
                  "- Autorización operativa (AESPA) \n"
                  "- Evaluación de riesgos conforme a SORA \n"
                  "- AOC \n"
                  "- Seguro de Responsabilidad Civil \n"
                  "- Manual de operaciones \n")
    break

```

Figura 34: Función ‘obtener_certificacion’ – dron clase C5
Fuente: código Python de elaboración propia

Finalmente, determinamos que, si la clase del dron es C6, estará categorizado para operar tanto en espacio aéreo controlado (B, C, D, E) como en espacio no controlado (F, G). Posteriormente, se verificarán el peso y la velocidad para identificar los requisitos y certificaciones necesarios en esta situación.

```

elif clase_dron == "C6":
    if verificar_peso(clase_dron, "certificada", "N", peso_dron) and verificar_velocidad(clase_dron, "N", velocidad_ms):
        espacio_controlado = input("¿Estás volando en espacio controlado? (Sí/No): ").lower()

        if espacio_controlado == "sí":
            print("Tu dron está en la clase C6, categoría certificada.")
            print("Puedes volar en espacio controlado, categorías B, C, D, E.")
            print("Requisitos: \n" "- Información clara de la altura del dron \n"
                  "- Sistema de geo-conciencia, de identificación remota directa y de red \n"
                  "- Sistema de aviso de batería baja para el dron y la CS \n"
                  "- Envergadura > 3m \n")
            print("Documentación: \n" "- Registro obligatorio \n"
                  "- Formación específica teórica y práctica, además de realizar un SORA para la autoridad competente \n"
                  "- Autorización operativa (AESPA) \n"
                  "- Certificado LUC \n"
                  "- Certificación del dron \n"
                  "- AOC \n"
                  "- Manual de Operaciones de Drones Certificados \n"
                  "- Plan de Mantenimiento del Dron \n"
                  "- Seguro de Responsabilidad Civil \n"
                  "- Comunicación con el ATC \n")
        else:
            print("Tu dron está en la clase C6, categoría certificada.")
            print("Puedes volar en espacio no controlado, categorías F, G.")
            print("Requisitos: \n" "- Información clara de la altura del dron \n"
                  "- Sistema de geo-conciencia, de identificación remota directa y de red \n"
                  "- Sistema de aviso de batería baja para el dron y la CS \n"
                  "- Envergadura > 3m \n")
            print("Documentación: \n"
                  "- Registro obligatorio \n"
                  "- Formación específica teórica y práctica, además de realizar un SORA para la autoridad competente \n"
                  "- Autorización operativa (AESPA) \n"
                  "- Certificado LUC \n"
                  "- Certificación del dron \n"
                  "- AOC \n"
                  "- Manual de Operaciones de Drones Certificados \n"
                  "- Plan de Mantenimiento del Dron \n"
                  "- Seguro de Responsabilidad Civil \n")
    break

```

Figura 35: Función ‘obtener_certificacion’ – dron clase C6
Fuente: código Python de elaboración propia

11. CONCLUSIONES

El presente trabajo de fin de grado se ha centrado en el desarrollo y la implementación de un sistema de planificación de operaciones de drones, abarcando tanto aspectos teóricos como prácticos. La investigación y el desarrollo realizados han permitido abordar diversos aspectos técnicos y reglamentarios, así como la implementación de herramientas de software específicas para la gestión de vuelos con drones. A continuación, se presentan las principales conclusiones extraídas de este estudio.

En primer lugar, el estudio destaca la importancia de la regulación para asegurar operaciones seguras y eficientes de los UAS. La normativa europea U-space, mencionada en el trabajo, establece un marco armonizado que abarca el diseño, fabricación y operación de UAS en Europa. Este marco normativo es esencial para integrar de manera segura los UAS en el espacio aéreo compartido con la aviación tripulada, un desafío que se ha vuelto más apremiante con el crecimiento exponencial del sector de los UAS.

La evaluación de riesgos mediante SORA es otro pilar fundamental del trabajo. SORA proporciona una metodología detallada para evaluar y mitigar los riesgos asociados con las operaciones específicas de UAS. Esta metodología es crucial para obtener la autorización de operaciones complejas y garantizar que se lleven a cabo de manera segura. El trabajo detalla cómo se aplica SORA para modificar el GRC intrínseco, implementar mitigaciones estratégicas y tácticas, y cumplir con los OSO. La correcta implementación de estas mitigaciones y objetivos brinda un nivel de confianza suficiente para asegurar la seguridad de las operaciones propuestas.

La parte práctica de este trabajo se centra en la implementación y utilización de tecnologías y metodologías específicas para mejorar la planificación y operación de los UAS. En particular, se destacan la programación en Python, la creación de un árbol de decisiones y las referencias visuales.

Primero, el uso de Python en la parte práctica del proyecto ha sido fundamental para automatizar procesos complejos y mejorar la eficiencia operativa de los UAS. La programación permite gestionar de manera eficiente los datos de vuelo y realizar una serie de cálculos para así, poder determinar qué certificados y requisitos son necesarios en cada escenario. Estos scripts no solo ayudan a reducir el tiempo y el esfuerzo manual necesarios para planificar misiones de UAS, sino que también aseguran una mayor precisión y fiabilidad en los resultados. Un aspecto crucial de la implementación en Python es el manejo de datos de vuelo. Los datos de vuelo, que incluyen parámetros como la velocidad, el peso y clase, son esenciales para planificar y ejecutar misiones de UAS de manera segura.

Además, para hacer la programación en Python, se ha creado un árbol de decisiones que ayuda en la toma de decisiones operacionales. Este es una herramienta que descompone un proceso de decisión en una serie de pasos lógicos y secuenciales, facilitando la identificación de los certificados y requisitos en función de diversas condiciones y escenarios. Este enfoque sistemático asegura que todas las variables relevantes sean consideradas y que las decisiones se basen en datos concretos y análisis riguroso.

Finalmente, se resalta la evolución y futuro del sector de UAS. Con el continuo desarrollo tecnológico y la expansión de aplicaciones comerciales y civiles, se espera que los UAS jueguen un papel cada vez más importante en diversas industrias. Sin embargo, para que esto sea posible, es crucial continuar desarrollando y refinando la normativa y los

procedimientos operacionales, así como invertir en la formación y certificación de pilotos y operadores.

En resumen, este trabajo de fin de grado proporciona una visión integral de los desafíos y soluciones asociados con la operación de UAS. Desde la regulación y evaluación de riesgos hasta la implementación práctica y la formación de pilotos, cada aspecto es abordado con detalle y rigor. Las conclusiones destacan la importancia de un enfoque integrado que combine normativa, tecnología y formación para asegurar la operación segura y eficiente de los UAS en el espacio aéreo compartido.

Por último, me gustaría destacar a nivel más personal, que realizar este trabajo de fin de grado ha sido una experiencia enriquecedora y desafiante que me ha permitido profundizar en el mundo de los UAS. A lo largo del proyecto, he podido apreciar la complejidad y la importancia de la regulación y la evaluación de riesgos en la operación de UAS, especialmente a través de la metodología SORA. La parte práctica, centrada en la programación en Python, ha sido particularmente desafiante debido a la necesidad de integrar diversas tecnologías y procesos de automatización. Sin embargo, el esfuerzo invertido ha dado frutos, permitiendo desarrollar herramientas robustas y eficaces que facilitan la planificación y ejecución segura de misiones de UAS. Este proyecto no solo ha ampliado mis conocimientos técnicos y operativos, sino que también ha reforzado mi capacidad para enfrentar y resolver problemas complejos, destacando la importancia de la combinación de teoría y práctica en el ámbito de la aviación moderna.

12. REFERENCIAS

- [1] Reglamento de Ejecución (UE) 2019/947 de la Comisión, de 24 de mayo de 2019, relativo a las normas y los procedimientos aplicables a la utilización de aeronaves no tripuladas (Texto pertinente a efectos del EEE.)
<https://eurlex.europa.eu/legalcontent/ES/TXT/?qid=1560259925294&uri=CELEX:32019R0947>
- [2] Reglamento Delegado (UE) 2019/945 de la Comisión, de 12 de marzo de 2019, sobre sistemas de aeronaves no tripuladas y sobre operadores de sistemas de aeronaves no tripuladas de terceros países
<https://eurlex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?qid=1560259925294&uri=CELEX:32019R0945>
- [3] Reglamento de Ejecución (UE) 2021/664, de 22 de abril de 2021, que establece el marco regulador para el U-space,
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32021R0664&from=EN>
- [4] Reglamento de Ejecución (UE) 2021/665 que modifica el Reglamento de Ejecución (UE) 2012/373, por el que se establecen requisitos comunes para los proveedores de servicios de gestión del tránsito y navegación aéreos,
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX%3A32021R0665>
- [5] Reglamento de Ejecución (UE) 2021/666 que modifica el Reglamento (UE) nº 923/2012, por el que se establece el reglamento del aire (Reglamento SERA),
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX%3A32021R0666>
- [6] De conformidad con el Art. 2, ‘Ámbito de aplicación’ del Reglamento (UE) 2018/1139 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 4 de julio de 2018, sobre normas comunes en el ámbito de la aviación civil,
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018R1139&from=EN>
- [7] Reglamento de Ejecución (UE) 2017/373 por la que se establecen requisitos comunes para los proveedores de servicios de gestión del tránsito aéreo/navegación aérea y otras funciones de la red
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX%3A32017R0373>
- [8] Reglamento de Ejecución (UE) nº923/2012 por la que se establecen el reglamento aire y disposiciones operativas comunes para los servicios y procedimientos de navegación aérea
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX%3A32012R0923>
- [9] SERA <https://www.easa.europa.eu/en/document-library/easy-access-rules/easy-access-rules-standardised-european-rules-air-sera>
- [10] Medios aceptables de cumplimiento propuestos y material de orientación para los reglamentos de la UE 2021/664, 2021/665 y 2021/666 como aviso de enmienda propuesta 2021-14
<https://www.easa.europa.eu/document-library/notices-of-proposed-amendment/npa-2021-14>
- [11] Certified Category – Civil Drones <https://www.easa.europa.eu/en/domains/civil-drones-rpas/certified-category-civil-drones>
- [12] Normativa Europea de drones <https://www.seguridadaerea.gob.es/es/noticias/la-normativa-europea-de-drones-entra-en-aplicaci%C3%B3n-el-31-de-diciembre-de-2020#:~:text=Buscar-,La%20normativa%20europea%20de%20drones%20entra%20en,31%20de%20diciem>

[bre%20de%202020&text=La%20normativa%20europea%20de%20drones%20comienza%20a%20aplicarse%20de%20forma,uso*%20sea%20profesional%20o%20recreativo.](#)

[13] EASA Drones – Safe drone operations
<https://www.youtube.com/watch?v=l6xHV61jwGo>

[14] Número de operador según la normativa europea
<https://sede.seguridadaerea.gob.es/sede-aesa/catalogo-de-procedimientos/registro-y-declaraci%C3%B3n-de-operadores-de-uas>

[15] Formación de pilotos a distancia de UAS/drones
<https://www.seguridadaerea.gob.es/es/ambitos/drones/formacion-de-pilotos-a-distancia-de-uas-drones>

[16] Operaciones con UAS/drones
<https://www.seguridadaerea.gob.es/es/ambitos/drones/operaciones-con-uas-drones>

[17] Vuelo con UAS/drones
<https://www.seguridadaerea.gob.es/es/ambitos/drones/operaciones-uas-drones/vuelos-con-uas-drones-zonificacion>

[18] Guía estudio seguridad SORA
https://www.seguridadaerea.gob.es/sites/default/files/apendice-s-v1-quia-estudio-seguridad-sora_0.pdf

[19] Reglamento Europeo U-space <https://www.seguridadaerea.gob.es/es/noticias/la-comisi%C3%B3n-europea-ha-aprobado-el-reglamento-europeo-u-space-para-drones>

[20] U-space and urban mobility <https://www.sesarju.eu/U-space>

[21] Real Decreto 1036/2017, de 15 de diciembre, por el que se regula la utilización civil de las aeronaves pilotadas por control remoto
<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2017-15721>

[22] Ley 48/1960, de 21 de julio, sobre Navegación Aérea
<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1960-10905>

[23] Ley 18/2014, de 15 de octubre, de aprobación de medidas urgentes para el crecimiento, la competitividad y la eficiencia <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2014-10517>

[24] What are the requirements under the subcategories of the open category?
<https://www.easa.europa.eu/en/faq/116452>

[25] ICAROXXI <https://notampib.enaire.es/icaro/>

[26] Doc 7910 OACI <https://aviation-is.better-than.tv/icaodocs/Doc%207910%20Location%20indicators/DOC%207910,%20Edition%20132.PDF>

[27] Doc 8643 OACI <https://www.icao.int/publications/doc8643/Pages/default.aspx>

[28] AIP <https://aip.enaire.es/AIP/>

[29] Guía de cumplimentación de FPL en ICARO XXI para operaciones UAS
<file:///C:/Users/usuario/Downloads/Gu%C3%A1A%20Planes%20de%20Vuelo%20RPA%20v2.4.pdf>

[30] Guía para operadores de RPAS sobre Procedimientos de: habilitación y Autorización

https://www.seguridadaerea.gob.es/sites/default/files/quia_proced_habilitac_autoriz_oper_rpas.pdf

[31] Consulta NOTAM “INSIGNIA” <https://ais.enaire.es/insignia>

[32] Plan Estratégico para el Desarrollo del sector civil de los Drones en España
https://www.transportes.gob.es/recursos_mfom/paginabasica/recursos/plan_estrategico_drones_2018-2021_0.pdf

[33] Tipos de drones según la nueva normativa Europea de EASA

<https://aerocamaras.es/clases-de-drones-segun-la-nueva-normativa-europea/>