



POLITÉCNICA



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA
AERONÁUTICA Y DEL ESPACIO

MÁSTER UNIVERSITARIO EN SISTEMAS DEL TRANSPORTE AÉREO

TRABAJO FIN DE MÁSTER
Caracterización de una operación UAM de entrega de
paquetería en el Área Metropolitana de Barcelona

AUTOR: Carlos MORENO TAVIRA

ESPECIALIDAD: Gestión del Tránsito Aéreo

TUTOR PROFESIONAL: María ANTA GARCÍA

TUTOR ACADÉMICO: Víctor Fernando GÓMEZ COMENDADOR

Marzo de 2022

Resumen

A lo largo de las últimas décadas, el creciente aumento de la población en los núcleos urbanos ha provocado que los niveles de contaminación del aire y de congestión de las carreteras hayan sobrepasado sus límites. Esta situación puede ocasionar graves e irreversibles problemas de salud y se deben tomar medidas con carácter urgente. Como solución al problema, muchas ciudades europeas están apostando por la Movilidad Aérea Urbana (UAM, del inglés *Urban Air Mobility*), una alternativa de movilidad que contempla el transporte aéreo tanto de mercancía como de personas en el ámbito urbano y que se ha visto reforzada gracias a la mejora de la tecnología de los Sistemas de Aeronaves No Tripuladas (UAS) y al abaratamiento de los costes de producción de las baterías de ion-litio, principalmente.

Este proyecto de investigación nace gracias al Cuarto Concurso de Ideas de la Cátedra ISDEFE en Gestión del Tránsito Aéreo (ATM), que ha permitido desarrollar la caracterización de una operación UAM de transporte de paquetería entre un almacén situado a las afueras de Barcelona y un punto de entrega situado en el centro de la ciudad, haciendo énfasis en las necesidades del operador UAS, en el estado de la normativa a nivel europeo y en los servicios de Gestión del Tránsito de UAS (UTM) que se proponen en otros proyectos de investigación relacionados, como el proyecto CORUS.

En primer lugar, se analiza la legislación europea, en concreto los Reglamentos 2019/947 (Reglamento UAS) y 2021/664-665-666 (Reglamentos U-Space). En el capítulo de caracterización de la operación, se proponen las localizaciones de aterrizaje y despegue y los medios técnicos utilizados (aeronave e infraestructuras en tierra), se analiza el espacio aéreo actual y se realiza un análisis de riesgos siguiendo la metodología de la matriz de riesgos de OACI.

Los requisitos operativos de la empresa de logística encargada de llevar a cabo la operación se discuten en detalle, proporcionando flujogramas para cada una de las fases de la operación. Por otro lado, se recopilan los servicios UTM propuestos en el proyecto CORUS, aportando fichas de información para cada uno de ellos y asignándoles un nivel de criticidad. Con toda esta información, se construye una matriz que relaciona los requisitos operativos con los servicios UTM y se extraen conclusiones en cuanto a la utilidad y la necesidad de los servicios.

“We are continually faced by great opportunities
brilliantly disguised as insoluble problems.”

Lee Iacocca

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	1
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	3
1.1. Consideración sobre la terminología	4
1.2. Aceptación social	6
1.3. Objetivo del proyecto.....	9
CAPÍTULO 2. ANÁLISIS DEL ESTADO DEL ARTE	11
2.1. Normativa vigente	11
2.1.1 Reglamento UAS (2019/947)	12
2.1.2 Reglamentos U-Space (2021/664-665-666)	16
2.1.3 Fases de implementación del U-Space.....	20
2.2. Proyectos relacionados	21
2.2.1 CORUS.....	21
2.2.2 USEPE.....	25
CAPÍTULO 3. CARACTERIZACIÓN DE LA OPERACIÓN	27
3.1. Naturaleza de la operación	27
3.2. Área geográfica y entorno operacional.....	28
3.3. Medios técnicos utilizados	33
3.3.1 Vehículo.....	33
3.3.2 Instalaciones en tierra	38
3.4. Competencias, funciones y responsabilidades del personal	42
3.5. Análisis de riesgos	46
3.5.1 Metodología SORA.....	48
3.5.2 Metodología de la matriz de riesgos	49
3.6. Mantenimiento	71
CAPÍTULO 4. REQUISITOS OPERATIVOS	73
4.1. Organización de la empresa.....	73
4.2. Necesidades operativas.....	74
4.2.1 Etapa pre-operacional	75
4.2.2 Etapa anterior al vuelo (<i>pre-flight</i>)	79
4.2.3 Etapa en vuelo (<i>in-flight</i>).....	87
4.2.4 Etapa posterior al vuelo (<i>post-flight</i>).....	91
CAPÍTULO 5. SERVICIOS UTM	93

CAPÍTULO 6. RELACIÓN ENTRE REQUISITOS OPERATIVOS Y SERVICIOS UTM	121
6.1. Matriz requisitos operativos – servicios UTM	121
6.2. Análisis sobre la utilidad de los servicios	129
6.3. Análisis sobre los requisitos operativos	131
CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES	133
BIBLIOGRAFÍA	135

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1.1 Distribución de la población mundial entre entornos rurales y núcleos urbanos [2]	3
Fig. 1.2 Esquema de terminología sobre UAS	6
Fig. 1.3 Molestias por diferentes tipos de ruido según los encuestados [1]	8
Fig. 2.1 Subcategorías y requisitos de operación de la categoría «abierta»	13
Fig. 2.2 Fases para la implementación progresiva del U-Space [19]	20
Fig. 2.3 Clasificación del espacio aéreo U-Space en el proyecto CORUS [9]..	22
Fig. 2.4 Concepto de corredores de densidad dinámica propuesto en USEPE [24]	26
Fig. 3.1 Emplazamiento del vertipuerto de despegue, situado en el PTV [25] .	28
Fig. 3.2 Emplazamiento del vertipuerto de aterrizaje, situado en Barcelona-Sants [25].....	29
Fig. 3.3 Ruta óptima entre el vertipuerto de despegue y el de aterrizaje [25] ..	30
Fig. 3.4 Perfil de elevación del terreno entre el vertipuerto de despegue y el de aterrizaje [25]	31
Fig. 3.5 Volúmenes de espacio aéreo en la zona de operación [26]	32
Fig. 3.6 Criterios a considerar durante la selección del UAS	34
Fig. 3.7 <i>YANGDA Sky Whale heavy-lift electric VTOL</i> [28]	35
Fig. 3.8 Interfaz del programa <i>LAUNCH GCS</i> [29]	37
Fig. 3.9 Prototipo de centro de entrega multinivel [31]	39
Fig. 3.10 Plataforma de despegue y aterrizaje del vertipuerto	41
Fig. 3.11 Vista en planta del vertipuerto situado en Barcelona-Sants	42
Fig. 3.12 Pirámide de formación de los pilotos a distancia [36].....	43
Fig. 3.13 Representación del modelo de Reason [41].....	48
Fig. 4.1 Unidades del departamento de operaciones aéreas de la empresa de logística	74
Fig. 4.2 Clasificación por etapas de los requisitos operativos necesarios para realizar una operación UAM.....	75
Fig. 4.3 Diagrama de flujo de la etapa pre-operacional.....	78
Fig. 4.4 Diagrama de flujo de la fase estratégica (etapa previa al vuelo)	82
Fig. 4.5 Diagrama de flujo de la fase pre-táctica (etapa previa al vuelo).....	84
Fig. 4.6 Diagrama de flujo de la fase táctica (etapa previa al vuelo)	86
Fig. 4.7 Diagrama de flujo de la etapa en vuelo	90
Fig. 4.8 Diagrama de flujo de la etapa posterior al vuelo	92
Fig. 5.1 Lista de servicios UTM propuestos en el proyecto CORUS [9]	93

Fig. 5.2 Partes interesadas (<i>stakeholders</i>) del sistema U-Space [48]	119
Fig. 6.1 Número de requisitos operativos cubiertos por cada uno de los servicios UTM	129
Fig. 6.2 Número de servicios UTM que dan soporte a cada uno de los requisitos operativos.....	131

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1 Ficha de los servicios obligatorios y servicios adicionales que se establecen en el Reglamento 2021/664 [17]	19
Tabla 3.1 Características principales del vehículo <i>YANGDA Sky Whale</i> [28] ..	36
Tabla 3.2 Clasificación de los distintos peligros presentes durante la operación	51
Tabla 3.3 Consecuencias de los peligros identificados	53
Tabla 3.4 Clasificación de la probabilidad de ocurrencia de los riesgos [41] ...	54
Tabla 3.5 Clasificación de la severidad de los riesgos [41]	55
Tabla 3.6 Matriz de riesgos de seguridad operacional	56
Tabla 3.7 Peligros y consecuencias junto a su probabilidad de ocurrencia y severidad.....	60
Tabla 3.8 Barreras y medidas de mitigación para los riesgos, junto con sus nuevos niveles de severidad y probabilidad de ocurrencia	65
Tabla 3.9 Análisis de la implementación de las barreras y las medidas de mitigación	70
Tabla 4.1 Requisitos operativos en la etapa pre-operacional.....	76
Tabla 4.2 Requisitos operativos en la fase estratégica (etapa previa al vuelo)	80
Tabla 4.3 Requisitos operativos en la fase pre-táctica (etapa previa al vuelo).	83
Tabla 4.4 Requisitos operativos en la fase táctica (etapa previa al vuelo)	85
Tabla 4.5 Requisitos operativos de la etapa en vuelo	88
Tabla 4.6 Requisitos operativos de la etapa posterior al vuelo	91
Tabla 5.1 Relación entre los servicios obligatorios del Reglamento (UE) 2021/664 y sus equivalentes en el proyecto CORUS	94
Tabla 5.2 Servicio de registro.....	95
Tabla 5.3 Servicio de asistencia para el registro	95
Tabla 5.4 Servicio de identificación electrónica.....	96
Tabla 5.5 Servicio de informe de la posición	97
Tabla 5.6 Servicio de seguimiento	98
Tabla 5.7 Servicio de datos para la vigilancia	99
Tabla 5.8 Servicio de geoconsciencia	100
Tabla 5.9 Servicio de gestión de la información aeronáutica UAS	101
Tabla 5.10 Servicio de <i>geo-fencing</i> dinámico.....	102
Tabla 5.11 Servicio de asistencia para la preparación del plan de operación	103
Tabla 5.12 Servicio de asistencia para el análisis de riesgos.....	104
Tabla 5.13 Servicio de procesamiento del plan de operación	105

Tabla 5.14 Servicio de gestión dinámica de la capacidad	106
Tabla 5.15 Servicio estratégico de gestión de conflictos	107
Tabla 5.16 Servicio táctico de gestión de conflictos	108
Tabla 5.17 Servicio de gestión de emergencias	109
Tabla 5.18 Servicio de reporte de incidentes y accidentes	110
Tabla 5.19 Servicio de reporte de incidentes y accidentes para la ciudadanía	110
Tabla 5.20 Servicio de monitorización	111
Tabla 5.21 Servicio de información del tráfico	112
Tabla 5.22 Servicio de grabación de seguridad	113
Tabla 5.23 Servicio de <i>logbook</i> digital	113
Tabla 5.24 Servicio de monitorización de la infraestructura de navegación ...	114
Tabla 5.25 Servicio de monitorización de la infraestructura de comunicación	114
Tabla 5.26 Servicio de información meteorológica	115
Tabla 5.27 Servicio de información geoespacial	115
Tabla 5.28 Servicio de densidad de población	116
Tabla 5.29 Servicio de información de interferencia electromagnética	116
Tabla 5.30 Servicio de cobertura de navegación	117
Tabla 5.31 Servicio de cobertura de las comunicaciones	117
Tabla 5.32 Servicio de interfaz procedural con el ATC	118
Tabla 5.33 Servicio de interfaz colaborativa con el ATC	118
Tabla 5.34 Descripción de algunos <i>stakeholders</i> del sistema U-Space [48] ..	120
Tabla 6.1 Matriz de requisitos operativos y servicios UTM (parte 1)	123
Tabla 6.2 Matriz de requisitos operativos y servicios UTM (parte 2)	124
Tabla 6.3 Matriz de requisitos operativos y servicios UTM (parte 3)	125
Tabla 6.4 Matriz de requisitos operativos y servicios UTM (parte 4)	126
Tabla 6.5 Matriz de requisitos operativos y servicios UTM (parte 5)	127
Tabla 6.6 Matriz de requisitos operativos y servicios UTM (parte 6)	128

LISTA DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS

AESA	Agencia Estatal de Seguridad Aérea
AMB	Área Metropolitana de Barcelona
ARC	<i>Air Risk Class</i> — Clase de Riesgo Aéreo
ATC	<i>Air Traffic Control</i> — Control del Tránsito Aéreo
ATM	<i>Air Traffic Management</i> — Gestión del Tránsito Aéreo
BVLOS	<i>Beyond Visual Line Of Sight</i> — Más Allá del Alcance Visual
ConOps	<i>Concept of Operations</i> — Concepto de Operaciones
CORUS	<i>Concept of Operations for European UTM Systems</i> — Concepto de Operaciones para el Sistema UTM Europeo
CTR	<i>Controlled Traffic Region</i> — Zona de Control
EASA	<i>European Aviation Safety Agency</i> — Agencia Europea de Seguridad Aérea
ERP	<i>Emergency Response Plan</i> — Plan de Respuesta a Emergencias
FAA	<i>Federal Aviation Administration</i> — Administración Federal de Aviación
FATO	<i>Final Approach and Take-Off Area</i> — Área de Aproximación Final y de Despegue
FSA	<i>FATO Safety Area</i> — Área de Seguridad Operacional
GRC	<i>Ground Risk Class</i> — Clase de Riesgo en Tierra
IFR	<i>Instrumental Flight Rules</i> — Reglas de Vuelo por Instrumentos
MO	Manual de Operaciones
MTOM	<i>Maximum Take-Off Mass</i> — Masa Máxima al Despegue
OSO	<i>Operation Safety Objectives</i> — Objetivos de Seguridad Operacional
PDRA	<i>Predefined Risk Assessment</i> — Evaluación de Riesgos Predefinida
PRD	<i>Prohibited, Restricted, Danger</i> — Prohibida, Restringida, Peligrosa
PTV	Parque Tecnológico del Vallés
RPAS	<i>Remotely Piloted Aircraft System</i> — Sistema de Aeronave Pilotada por Control Remoto
RRHH	Recursos Humanos
RTTA	<i>Reasonable Time To Act</i> — Tiempo Razonable de Actuación

SESAR	<i>Single European Sky ATM Research</i> — Investigación en ATM del Cielo Único Europeo
SAIL	<i>Specific Assurance and Integrity Levels</i> — Niveles Específicos de Seguridad e Integridad
SORA	<i>Specific Operations Risk Assessment</i> — Evaluación de Riesgos de Operaciones Específicas
STS	<i>Standard Scenario</i> — Escenario Estándar
TLOF	<i>Touchdown and Lift-Off Area</i> — Área de Toma de Contacto y de Elevación Inicial
TMA	<i>Terminal Manoeuvring Area</i> — Área de Control Terminal
UAM	<i>Urban Air Mobility</i> — Movilidad Aérea Urbana
UAS	<i>Unmanned Aircraft System</i> — Sistema de Aeronave No Tripulada
UAV	<i>Unmanned Aircraft Vehicle</i> — Vehículo Aéreo No Tripulado
USSP	<i>U-Space Service Provider</i> — Proveedor de Servicios U-Space
UTM	<i>UAS Traffic Management</i> — Gestión del Tránsito de UAS
VFR	<i>Visual Flight Rules</i> — Reglas de Vuelo Visual
VLL	<i>Very Low Level</i> — Muy Bajo Nivel
VTOL	<i>Vertical Take-Off and Landing</i> — Despegue y Aterrizaje Vertical

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, me gustaría agradecer la labor de mis tutores Fernando Gómez Comendador y María Anta García. Durante los seis meses de duración del proyecto han sacado tiempo de sus agendas para organizar reuniones periódicas de seguimiento, responder a las dudas que me iban surgiendo y corregir los capítulos del TFM a medida que los iba redactando. A principio de curso, no sabía prácticamente nada sobre la situación actual de las operaciones de Movilidad Aérea Urbana (UAM) en Europa y gracias al apoyo y a los recursos que me facilitaron mis tutores logré encaminar y llevar a cabo el proyecto.

En segundo lugar, también me gustaría agradecer la oportunidad que me ha concedido ISDEFE a través del Cuarto Concurso de Ideas de la Cátedra ISDEFE en Gestión del Tránsito Aéreo (ATM), permitiéndome desarrollar un proyecto de investigación en el ámbito de la UAM. Pese a haber realizado el trabajo de forma telemática, recibí el mejor de los tratos por parte del equipo de ISDEFE y agradezco los comentarios y sugerencias aportadas durante las reuniones de seguimiento por parte de personas con una gran experiencia en la ingeniería de sistemas.

Por último, agradezco a mi familia y amigos su constante apoyo durante los últimos meses de trabajo. Gracias por vuestra confianza y por el ánimo y la motivación que me habéis transmitido. Sin vosotros no habría sido posible.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

A lo largo de las últimas décadas, el número de habitantes en los núcleos urbanos ha crecido de forma ininterrumpida. La polución y la congestión de las grandes ciudades ya es una realidad que tiene difícil solución si no se actúa a tiempo. Para el año 2030, se espera que la población de las ciudades de la Unión Europea crezca hasta los 340 millones de habitantes [1]. Por tanto, existe un riesgo real de que los niveles de polución y de congestión de las carreteras aumenten todavía más en el futuro inmediato. A nivel global, en la Fig. 1.1 se puede observar la distribución de la población entre entornos rurales y núcleos urbanos. Desde el presente hasta el año 2050 se ha realizado una prognosis.

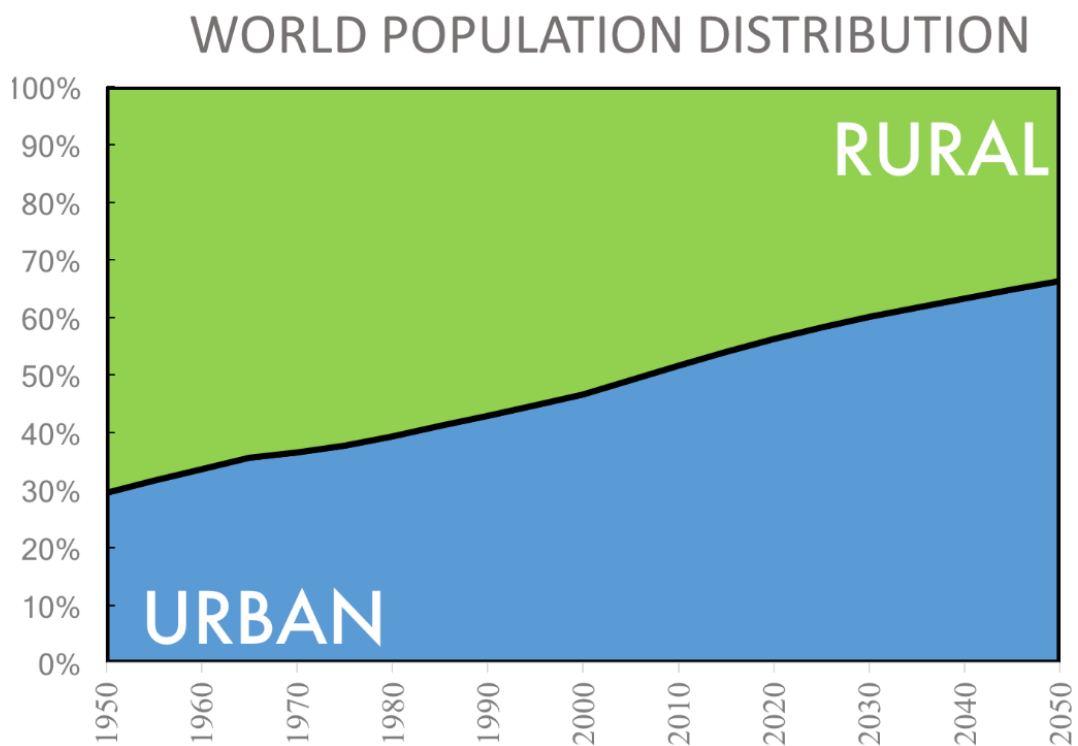


Fig. 1.1 Distribución de la población mundial entre entornos rurales y núcleos urbanos [2]

En este contexto, las autoridades locales están buscando soluciones de movilidad que sean más eficientes, sostenibles y seguras. Una posible solución pasa por implementar la Movilidad Aérea Urbana (UAM, del inglés *Urban Air Mobility*) en las principales ciudades del mundo. El transporte aéreo tanto de mercancía como de personas ha dejado de ser un escenario de película de ciencia ficción para convertirse en una realidad cercana. Se espera que la UAM

se establezca como una sólida alternativa de transporte tanto para los ciudadanos como para las empresas (por ejemplo, agilizando los servicios médicos de emergencia o la entrega de paquetería).

Uno de los elementos clave que ha permitido el desarrollo de la UAM ha sido la importante reducción en el precio de las baterías de ion de litio. A principios de 2010, el coste de las celdas era de 1000 €/kWh, mientras que en 2020 han alcanzado un mínimo de 110 €/kWh [1]. Además, la mejora en la tecnología de los vehículos eléctricos de despegue y aterrizaje vertical (eVTOL, del inglés *electric Vertical Take-Off and Landing*) ha permitido que sean cada vez más eficientes, seguros y sostenibles.

Debido a estos dos motivos, a la necesidad de reducir la creciente congestión y polución de las ciudades y al abaratamiento y mejora de la tecnología eVTOL, la UAM se ha establecido como una alternativa viable al transporte terrestre.

En España, se calcula que la UAM generará 1 250 millones de euros en el año 2035, según datos del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana [3]. También se pronostica que la flota de drones profesionales en nuestro país rondará la cifra de las 51 000 aeronaves en el año 2035. Para alcanzar estas cifras, es necesario el desarrollo progresivo de pruebas piloto para normalizar la presencia de UAS en el espacio aéreo urbano.

En la actualidad, ya se han realizado múltiples pruebas de entrega de paquetería mediante el uso de drones en muchas partes del mundo y estos se han incorporado a ciertos servicios públicos, como por ejemplo los drones de vigilancia y control que utilizan los cuerpos de policía y bomberos. En Canberra (Australia), la empresa Wing [4] ya ofrece un servicio rápido de entrega de paquetes ligeros (medicamentos, componentes electrónicos, alimentos, etc.) mediante el transporte de UAS. El cliente realiza el pedido a través de una aplicación móvil y el paquete llega a la puerta de su casa en escasos 10 minutos.

1.1. Consideración sobre la terminología

Todo el mundo ha oído hablar del término «dron» y es el que se utiliza de forma genérica para referirse a las aeronaves no tripuladas. No obstante, existen muchos tipos de «drones» y referirse a ellos utilizando esta palabra no es del todo correcto en muchas situaciones. Por tanto, en este apartado se va a explicar la diferencia entre los términos «dron», «UAV», «UAS» y «RPAS».

En primer lugar, un «UAV» o «Vehículo Aéreo No Tripulado» (del inglés, *Unmanned Aerial Vehicle*) es aquel tipo de vehículo que puede volar sin necesidad de disponer de un piloto a bordo. Este término se popularizó en el ámbito militar, donde se utilizaban vehículos no tripulados para el combate y ciertas tareas de vigilancia y espionaje. Hoy en día es un término que está en desuso. También se utiliza de forma indistinta el término «UA» o «Aeronave No Tripulada» (del inglés, *Unmanned Aircraft*), que también hace referencia al vehículo.

El UAV o UA es el elemento principal del «UAS» o «Sistema de Aeronave No Tripulada» (del inglés, *Unmanned Aircraft System*). Este último término engloba tanto a la aeronave como a la estación de tierra y al enlace de comunicaciones, que son igual o más importantes que la aeronave en sí. El término UAS es el recomendado si se va a hacer referencia al sistema completo y es el que se emplea en la legislación europea. A nivel nacional, AESA utiliza indistintamente los términos UAS y dron.

Dichos sistemas de aeronaves pueden ser completamente autónomos y estar programados para realizar patrones de vuelo o procedimientos predefinidos o, por otro lado, pueden comandarse por un piloto remoto mediante un enlace de datos. Estos últimos son los conocidos como «RPAS» o «Sistema de Aeronave Pilotada por Control Remoto» (del inglés, *Remotely Piloted Aircraft System*). Es decir, los RPAS son un subgrupo de los UAS. No todos los UAS son considerados RPAS, pero sí al contrario. Para hacer referencia únicamente a la aeronave pilotada por control remoto también se utiliza el término «RPA» o «Aeronave Pilotada por Control Remoto» (del inglés, *Remotely Piloted Aircraft*).

Por último, el término «dron» proviene del inglés y significa «zángano». Como se comentaba anteriormente, es el que popularmente se utiliza para referirse a gran variedad de aeronaves no tripuladas. La OACI recomienda utilizarlo para aquellos RPAS por debajo de los 25 kg.

En la Fig. 1.2 se observa un esquema de la terminología empleada para referirse a los sistemas de aeronaves no tripuladas.

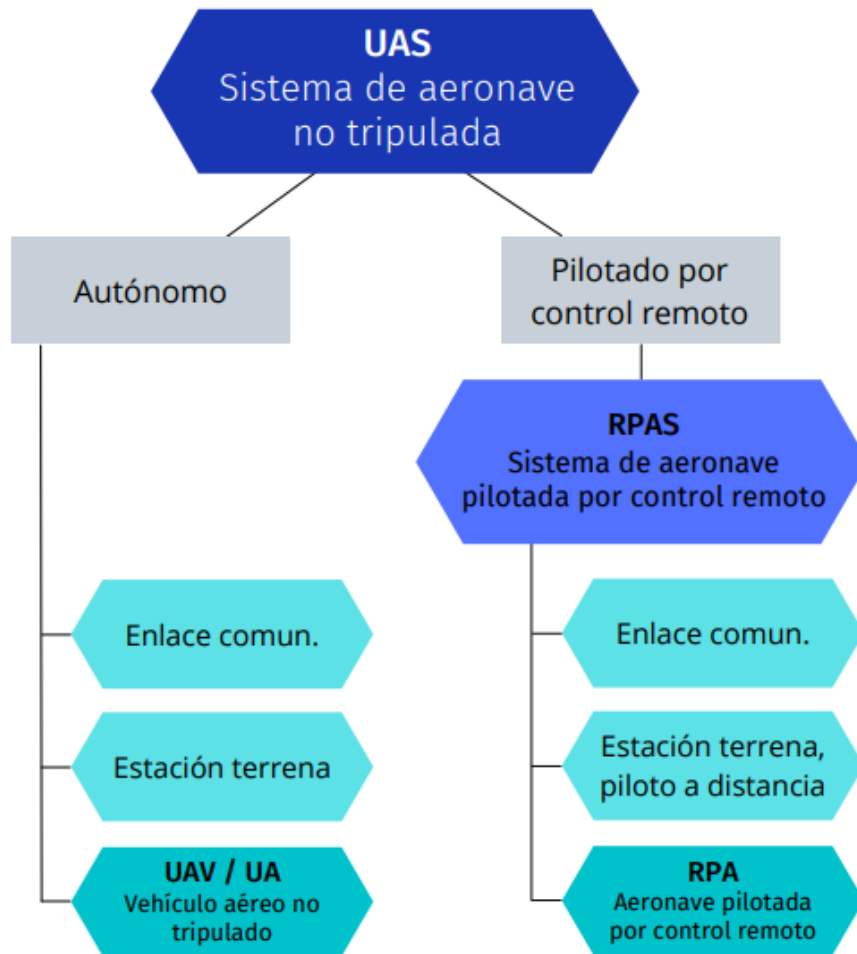


Fig. 1.2 Esquema de terminología sobre UAS

En este proyecto se utilizarán principalmente los términos UAS y dron de forma indistinta para referirse al sistema en su conjunto. El término UA se utilizará en caso de hacer referencia a la aeronave en concreto.

1.2. Aceptación social

En primer lugar, es necesario recordar que la aviación es el medio de transporte más seguro. Según cifras de OACI, aproximadamente 3 de cada millón de vuelos comerciales sufrió un accidente durante el año 2019 [5]. No obstante, únicamente 0.15 vuelos por cada millón resultaron en accidentes fatales. Es decir, si cogiéramos un vuelo todos los días, tendríamos una probabilidad de siniestralidad cada 17 950 años, la más baja en comparación con cualquier otro medio de transporte.

En cuanto al transporte tanto de personas como de carga mediante el uso de UAS, las cifras de accidentalidad y siniestralidad deberían ser igual de reducidas —o más— que las de la aviación convencional. EASA es la encargada de desarrollar un marco regulador que lo permita, con un enfoque basado en el riesgo [6]. La seguridad debe ser el principal factor a tener en cuenta durante el desarrollo y la estandarización de las operaciones UAM.

Para que la implementación de la UAM sea un éxito, tanto los usuarios del sistema como el resto de ciudadanos tienen que mostrarse receptivos frente a la introducción de este nuevo tipo de operaciones UAS. Por este motivo, EASA realizó entre los meses de noviembre de 2020 y abril de 2021 una serie de encuestas a 3 700 ciudadanos en las ciudades de Barcelona, Budapest, Hamburgo, Milán, Öresund y París [1]. Las respuestas de los ciudadanos fueron analizadas y se obtuvieron los 10 resultados clave que se listan a continuación:

1. Una actitud positiva con respecto a la introducción de la UAM en Europa. El 83% de los encuestados se muestra positivo frente a la UAM y el 64% y 49% probarían los drones y los taxis aéreos, respectivamente, en caso de que dichos servicios ya estuvieran disponibles.
2. Los usos médicos o de emergencias son los que reciben un mayor interés. Entre los más seleccionados por los encuestados se encuentran: transporte de heridos/enfermos a los hospitales (41%), entrega de medicamentos (41%) y transporte de personal médico a lugares donde ha ocurrido un accidente (36%).
3. Los principales beneficios que esperan los encuestados tras la introducción de la UAM son: menor tiempo de respuesta frente a emergencias (71%), reducción de los atascos (51%) y reducción de las emisiones contaminantes (48%).
4. Las principales preocupaciones que tienen los encuestados con respecto a la UAM son: la seguridad (44%), la *security* (39%) y el ruido (38%).
5. Los ciudadanos esperan que las nuevas operaciones UAM sean igual de seguras que la aviación actual. Las personas mayores se muestran más preocupadas con respecto a la seguridad que los jóvenes.
6. Medioambiente: los encuestados creen que la UAM afectará negativamente a la fauna local (62%), a la contaminación acústica (52%) y al impacto medioambiental debido a la producción de baterías (43%).
7. Ruido: se realizaron 20 tests de sonido a algunos participantes. Se reprodujeron sonidos conocidos por los encuestados a 80 dBA (motores de autobús, motocicletas, aviones) con un ruido de fondo a 55 dBA.

También se reprodujeron sonidos típicos de la UAM (rotores de drones ligeros y pesados, taxis aéreos) en las mismas condiciones. Sorprendentemente, los ruidos menos familiares para los encuestados resultaron más molestos (drones y taxis aéreos). El ruido de autobuses y motocicletas fue mejor tolerado; ver Fig. 1.3.

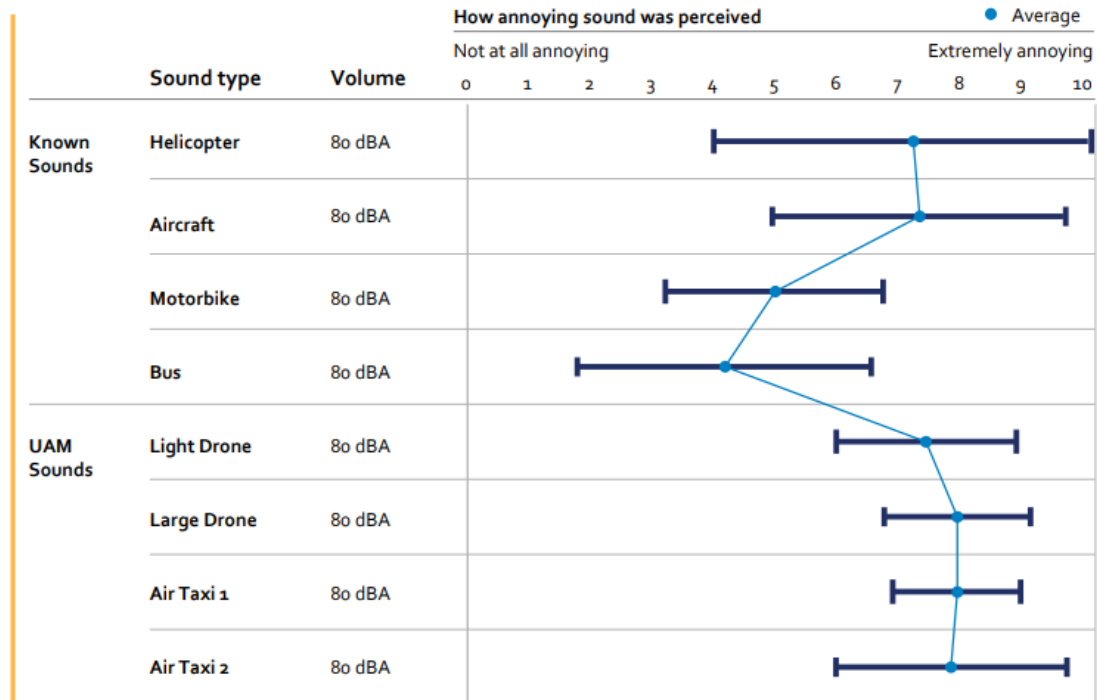


Fig. 1.3 Molestias por diferentes tipos de ruido según los encuestados [1]

8. Ciberseguridad y privacidad: los niveles de confianza se encuentran ligeramente por encima del 50%. La mayoría de los encuestados confiarían más si se adoptasen regulaciones a nivel europeo en cuanto a ciberseguridad y privacidad.
9. Infraestructura en tierra: los vertipuertos deben ser integrados en la red de transporte local. Los encuestados prefieren que los paquetes transportados por UAS se entreguen cerca de sus domicilios: en el propio jardín (68%) o en un vertipuerto instalado en el barrio (67%). Preocupaciones por ruido (48%) y seguridad (41%).
10. Similar nivel de confianza hacia las autoridades locales, regionales, nacionales y europeas para implementar la UAM. Los encuestados esperan que las autoridades locales contribuyan a desarrollar las regulaciones marcadas por EASA.

De los resultados de las encuestas se infiere que los ciudadanos europeos se muestran receptivos frente a la UAM, pero también tienen ciertas preocupaciones que deberían ser resueltas. Por ejemplo, se debería garantizar que los niveles de seguridad de este nuevo tipo de movilidad son equivalentes a los de la aviación convencional. También se debería asegurar que la fauna local (pájaros, insectos) no se ve afectada por la producción de UA ni por las operaciones UAM. También es importante regular las molestias por ruido, consiguiendo que la intensidad, la frecuencia y la duración del ruido se mantenga en niveles aceptables. Por último, se deben tratar los problemas de privacidad y ciberseguridad, reforzando el cifrado de datos mediante el uso de métodos de encriptación avanzados y adoptando regulaciones a nivel europeo.

1.3. Objetivo del proyecto

Como se ha comentado anteriormente, el uso de aerotaxis o de drones de reparto de mercancía supone una revolución en el ámbito de la movilidad urbana. La UAM se erige como un sector empresarial completamente nuevo que debe ser regulado e industrializado, capaz de ofrecer un servicio seguro, eficiente y sostenible a sus usuarios.

En este proyecto se caracteriza una operación UAM de entrega de paquetería en el Área Metropolitana de Barcelona (AMB), con el propósito de evidenciar las necesidades del operador UAS durante la planificación y el desarrollo de la operación, haciendo énfasis en los servicios de gestión del tránsito de UAS (UTM). Las necesidades o requisitos del operador UAS se analizarán en detalle, asignando distintas tareas para cada uno de los departamentos de la empresa de logística encargada de la operación. Por otro lado, se analizarán los servicios UTM que se están proponiendo en proyectos relacionados y se determinará cuáles de ellos son útiles y necesarios para el operador UAS, mediante el uso de una matriz de relación entre requisitos operativos y servicios UTM.

La organización del documento es la siguiente:

1. Introducción a los UAS y a la UAM y discusión de su aceptación social a nivel europeo.
2. Un capítulo donde se analiza el «estado del arte», es decir, la situación actual de las operaciones UAS y de la UAM a nivel europeo. En concreto, se tratan los reglamentos UAS y U-Space y también se analizan proyectos europeos relacionados como CORUS o USEPE.

3. Caracterización de la operación siguiendo el contenido de un Concepto de Operaciones UAS. Se define la misión de la operación y el área geográfica, se describen los medios técnicos utilizados (aeronave y vertipuertos), se discuten las competencias del personal, se realiza un análisis de riesgos y se proporcionan instrucciones de mantenimiento.
4. Un capítulo donde se detalla la organización de la empresa de paquetería y sus requisitos operativos. La operación se divide en distintas fases y para cada una de ellas se aportan flujogramas para analizar de forma visual las distintas tareas de cada grupo de trabajo.
5. Un capítulo recopilatorio de los servicios UTM que se proponen en el proyecto CORUS. Para cada servicio se realiza una ficha informativa donde se detallan sus características principales.
6. Comparación final entre requisitos operativos y servicios UTM. En este capítulo se muestran las distintas relaciones y se analiza cuáles son los servicios más «útiles» y cuáles son los requisitos operativos más «restrictivos».
7. Se extraen conclusiones y se proponen futuras líneas de investigación.

CAPÍTULO 2. ANÁLISIS DEL ESTADO DEL ARTE

En este capítulo se realiza un análisis de la situación actual de las operaciones UAS a nivel europeo. En primer lugar, se discute la legislación vigente sobre drones y a continuación se describen proyectos relacionados con las operaciones UAM.

2.1. Normativa vigente

El auge del mercado de UAS a nivel mundial ha puesto de manifiesto la necesidad de elaborar una normativa dirigida a estandarizar y regular este nuevo tipo de tráfico aéreo. La ausencia de piloto a bordo supone una gran diferencia con respecto a las operaciones de la aviación «convencional» y las regulaciones y procedimientos de vuelo existentes deben ser diseñados de cero para adaptarlos a los UAS. A nivel europeo, EASA ha tomado la iniciativa y es el principal responsable de aprobar nuevos paquetes legislativos, vigentes en todos los países miembros de la Unión Europea.

En cuanto al área de operación de los UAS, se espera que —de forma general— su uso se restrinja al espacio aéreo *Very Low Level* (VLL). El espacio aéreo VLL es aquel que se encuentra por debajo del espacio aéreo utilizado por la aviación bajo reglas de vuelo instrumental (VFR). Tanto en el Anexo 2 de OACI [7] como en el Reglamento de Ejecución (UE) 923/2012 (Reglamento del Aire) [8] se establecen disposiciones sobre la altura mínima de vuelo de los VFR. Por ejemplo, en la sección SERA.5005 del Reglamento del Aire:

«A excepción de la fase de despegue o aterrizaje, un vuelo VFR no debería operar:

- a) Sobre edificios en ciudades, pueblos u otros lugares habitados o sobre concentraciones de personas al aire libre a una altura menor de 300 m (1000 ft) sobre el terreno.
- b) En cualquier otra parte, a una altura menor de 150 m (500 ft) sobre el terreno».

Esto es, el Reglamento limita la altura mínima de operación tanto en el ámbito urbano (a) como en las zonas rurales (b). En proyectos relacionados con la regulación de las operaciones UAS, como por ejemplo el proyecto CORUS [9], se propone una clasificación del espacio aéreo VLL en función del tipo de zona geográfica (explicado en detalle en el apartado 2.2.1).

Actualmente, la altura máxima de operación de los UAS se limita a 120 m (400 ft) por encima del terreno [10].

2.1.1 Reglamento UAS (2019/947)

En este Reglamento se establecen las primeras disposiciones detalladas para el funcionamiento en conjunto de los UAS, así como los requisitos técnicos mínimos que se les exigen.

La tecnología y las características de las aeronaves no tripuladas permiten realizar una gran variedad de operaciones. Deben definirse requerimientos relacionados con la aeronavegabilidad y con las personas y organizaciones que participan en las operaciones, con el objetivo de garantizar la seguridad de las personas en tierra y la de los demás usuarios del espacio aéreo. Estas normas o procedimientos deben ser proporcionales al riesgo de la operación y a su naturaleza y también deben estar adaptados a las aeronaves que los utilizarán y a las características de la zona de operación, como podría ser la densidad de población o la presencia de edificios.

Por este motivo, en el Reglamento 2019/947 se establecen 3 categorías de operaciones: «abierta», «específica» y «certificada».

La categoría «abierta» cubre todas las operaciones que tienen un bajo nivel de riesgo asociado. Este tipo de operaciones no requieren de ninguna autorización operacional ni declaración por parte del operador UAS.

A su vez, dentro de la categoría «abierta» se establecen tres subcategorías distintas: A1, A2 y A3, dependiendo de la proximidad entre el UAS y personas ajenas a la operación. Además, dependiendo del peso y las características de la aeronave, se podrá operar dentro de dicha subcategoría o no. Por otro lado, los pilotos a distancia también deben cumplir con determinados requisitos para cada uno de los distintos casos. Esta información se puede observar en detalle en la Fig. 2.1.

Categoría 'abierta'		Normativa UE UAS
LIMITACIÓN SUBCATEGORÍA	REQUISITOS DE AERONAVES	REQUISITOS DE PILOTOS
A1 Se permite el <u>sobrevuelo</u> de personas ajenas a la operación	Construcción privada o previa a la norma de <250 g y < 19 m/s	Familiarizarse con el manual de usuario del fabricante
	Clase C0 (<250 g)	Familiarizarse con el manual de usuario del fabricante
	Clase C1 (<900 g y < 80J con e-ID y Geo-awareness)	Familiarizarse con el manual de usuario del fabricante Completar un curso online Superar examen teórico online
A2 Se permite el vuelo <u>cerca</u> de personas ajenas a la operación Manteniendo, una distancia de seguridad (30 - 5 metros)	Clase C2 (<4 kg con low-speed, e-ID y Geo-awareness)	Familiarizarse con el manual de usuario del fabricante Poseer un certificado de competencia de piloto remoto , obtenido mediante formación y examen online, autopráctica y examen presencial
A3 Operaciones en áreas donde <u>no se espera</u> poner en peligro a personas ajenas a la operación Manteniéndose a > 150 metros de áreas residenciales, comerciales, industriales o recreacionales	Construcción privada o previa a la norma de <25 kg	Lo mismo que la Clase C1 en A1
	Clase C2 (<4 kg con e-ID y Geo-awareness)	
	Clase C3 (<25 kg con e-ID y Geo-awareness)	
	Clase C4 (<25 kg)	

Fig. 2.1 Subcategorías y requisitos de operación de la categoría «abierta»

Por ejemplo, si el usuario ha planificado una operación que implica el sobrevuelo de personas ajenas a la operación (subcategoría A1), pero dispone de un UAS con una Masa Máxima al Despegue (MTOM) de 2 kg (marcado de Clase C2), entonces no cumple con los requisitos para operar en la categoría «abierta», puesto que se considera que el riesgo asociado es elevado. En este caso, las alternativas del usuario son las siguientes:

1. Realizar la operación manteniendo una distancia de seguridad con personas ajenas a la operación (subcategoría A2), con la misma aeronave de Clase C2. El piloto debe estar familiarizado con el manual de usuario del vehículo y poseer un certificado de competencia de piloto remoto.
2. Mantener la subcategoría A2 de operación, pero emplear un UAS con marcado de Clase C1 (MTOM < 900 g). El piloto debe estar familiarizado con el manual de usuario del vehículo y superar un curso y examen teórico online.
3. Mantener tanto la subcategoría A2 de operación como el UAS de Clase C2. La operación pasa a ser de categoría «específica» y el operador deberá obtener una autorización operacional emitida por AESA.

La categoría «específica» incluye aquellas operaciones UAS con un riesgo medio, que no pueden realizarse en categoría «abierta». La característica principal de esta categoría es que el operador UAS debe obtener una autorización operacional por parte de AESA o presentar una declaración conforme la operación se ajusta a un escenario estándar (STS). No obstante, si el operador cuenta con un certificado de operador de UAS ligeros (LUC), no será necesario que reciba autorización o que presente una declaración [11].

Un STS es un tipo de operación dentro de la categoría «específica», para la cual se han determinado una serie de medidas de atenuación. La declaración operacional para STS debe incluir información administrativa sobre el operador UAS, asegurar que la operación cumple los requisitos descritos para el escenario, el compromiso de aplicar las medidas de atenuación y el resguardo del seguro UAS adecuado para el vuelo. Para leer más información sobre los STS aprobados, ver el Reglamento de Ejecución (UE) 2020/639 [12], que modificó al Reglamento 2019/947 en lo que concierne a los escenarios estándar de operaciones ejecutadas dentro o más allá del alcance visual, y también la resolución de AESA por la que se aprueban escenarios estándar nacionales (STS-ES) para operaciones de la categoría «específica» [13].

Si la operación no se enmarca dentro de ningún STS, entonces el operador debe contar con una autorización operacional emitida por AESA. Para obtener dicha autorización, el operador debe presentar una solicitud basada en la evaluación del riesgo. La solicitud será diferente si la operación cumple con una Evaluación de Riesgos Predefinida (PDRA) [14].

En cuanto a la frontera entre la categoría «específica» y «certificada», hay que considerar que el paquete regulatorio relativo a esta última categoría se encuentra todavía en desarrollo a nivel europeo. No obstante, el Reglamento 2019/947 ya determina con claridad sus límites. Las operaciones UAS se clasificarán dentro de la categoría «certificada» cuando:

- La operación conlleva el transporte de personas y el diseño del UAS está certificado por EASA para dicho motivo.
- El UAS tiene una dimensión característica de más de 3 m, está certificado por EASA y la operación implica volar sobre concentraciones de personas.
- La operación conlleva el transporte de mercancías peligrosas, que pueden provocar un riesgo elevado a terceros en caso de accidente.

- AESA, habiendo analizado la evaluación del riesgo operacional de la solicitud para categoría «específica», considera que el riesgo de la operación no puede atenuarse sin la certificación del UAS por parte de EASA.

En el caso de este proyecto, se estudia una operación de entrega de paquetería UAM, por lo que se espera operar en el ámbito urbano, sobrevolando concentraciones de personas. Dicha operación se incluye dentro de las operaciones del «Tipo 2» en el *paper* conceptual de la categoría «certificada» realizado por EASA [15]:

«Operaciones del Tipo 2: aquellas operaciones UAS que despegan y/o aterrizan en entornos densamente poblados (urbanos) utilizando rutas predefinidas en volúmenes de espacios aéreos donde se espera que se proporcionen servicios U-Space (parte del vuelo podría no transcurrir en entornos poblados). Esto incluye las operaciones de aeronaves basadas en sistemas de automatización no tripulados (ASBA), transporte de pasajeros (taxis aéreos del tipo VTOL) o transporte de mercancías (UAS que ofrecen servicios de entrega de paquetería). El despegue y el aterrizaje se puede realizar en cualquier aeródromo, vertipuerto o punto de aterrizaje designado».

Por tanto, la operación se encuentra dentro de la categoría «certificada».

Debido a la falta de un paquete regulatorio para categoría «certificada», durante la caracterización de la operación (Capítulo 3) se va a utilizar como referencia la «Guía sobre el contenido del Manual de Operaciones en categoría específica bajo régimen de autorización» [16]. Es decir, se va a seguir la metodología que aplica a la categoría «específica», pero teniendo en cuenta que la operación pertenece a la categoría «certificada», que el riesgo asociado será elevado y que se tendrá que llevar a cabo un extenso proceso de certificación.

En este escenario, el operador UAS deberá proporcionar la siguiente información junto a la solicitud de autorización:

- Manual de Operaciones (MO) [16].
- Evaluación del riesgo de la operación de acuerdo al Artículo 11 del Reglamento 2019/947.
- Evidencias de cumplimiento de los Objetivos de Seguridad Operacional (OSOs).
- Instrucciones de mantenimiento del UAS.
- Registros de mantenimiento del UAS.

- Confirmación por parte del operador UAS de que dispondrá de un seguro de responsabilidad civil para cada uno de los vuelos realizados en el marco de la autorización.

Parte de la documentación a aportar, como el contenido del Concepto de Operaciones (ConOps), el estudio de evaluación del riesgo o las instrucciones de mantenimiento del UAS, se desarrollan en detalle en el Capítulo 3.

2.1.2 Reglamentos U-Space (2021/664-665-666)

El creciente número de UAS que entran en el espacio aéreo y la complejidad de las operaciones más allá de la línea de visión (BVLOS) plantean múltiples riesgos para la seguridad, el medio ambiente, la protección y la privacidad. En ciertas zonas, principalmente las que contendrán un mayor número de operaciones UAS simultáneas, la integración segura y eficiente de los UAS requiere de la introducción de nuevas normas y procedimientos operacionales específicos, así como altos grados de automatización y digitalización [17].

De esta forma nace el concepto de espacio aéreo U-Space: el conjunto de zonas geográficas en el que se definirán una serie de requisitos de entrada mínimos para los UAS y en el que se proveerán servicios que permitan la gestión segura y simultánea de un gran número de operaciones UAS, respetando también los requisitos aplicables de seguridad y privacidad.

Así pues, cuando el sistema U-Space se haya implementado por completo, se facilitarán todas las operaciones de drones, desde la más sencilla (como podría ser la toma de fotos aéreas en un paraje natural) hasta la más compleja (por ejemplo, el transporte aéreo de personas en el entorno urbano) y su integración segura en el espacio aéreo.

2.1.2.1 Servicios obligatorios y adicionales

En primer lugar, el Artículo 5 del Reglamento 2021/664 dicta que los Estados miembros serán los responsables de facilitar como parte de los servicios de información común:

- Los límites del espacio aéreo U-Space, tanto verticales como horizontales.

- Los requisitos mínimos de rendimiento de los UAS para operar dentro del U-Space.
- Una lista de proveedores de servicios U-Space (USSP) certificados.
- Información sobre los espacios aéreos U-Space adyacentes.
- Zonas geográficas de UAS adecuadas para el U-Space, publicadas de conformidad con el Reglamento 2019/947 [10].
- Restricciones fijas y dinámicas del espacio aéreo que limitan de forma permanente o temporal los volúmenes de operación autorizados para las operaciones UAS dentro del espacio aéreo U-Space (concepto de *geofence*).

Asimismo, se establece que los USSP deberán prestar, como mínimo, los cuatro servicios obligatorios presentados en la Tabla 2.1. De forma adicional, los Estados miembros también podrán exigir los dos servicios complementarios mostrados en la misma tabla, dependiendo de la evaluación del riesgo realizada en cada uno de los distintos volúmenes de espacio aéreo U-Space.

El Reglamento U-Space entrará en vigor a partir del 26 de enero de 2023 en todos los estados miembros de la Unión Europea.

Servicio: Identificación de red	Tipo: <u>Obligatorio</u>
<p>Descripción:</p> <p>Permite la identificación remota de los UAS a lo largo de la duración del vuelo para los usuarios autorizados en el U-Space.</p>	
<p>Requisitos:</p> <p>La información recibida en los mensajes de identificación tendrá el siguiente contenido:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Número de registro del operador UAS. 2. Número de serie de la aeronave. 3. Posición geográfica del UAS, incluyendo la altitud sobre el nivel medio del mar y sobre el terreno. 4. Trayectoria y velocidad del UAS respecto al suelo. 5. Posición geográfica del piloto a distancia o del punto de despegue. 6. Situación de emergencia del UAS. 7. Hora en que se generó el mensaje. 	

Servicio: Geoconsciencia	Tipo: <u>Obligatorio</u>
Descripción: Proporciona a los operadores UAS información sobre condiciones operacionales y limitaciones del espacio aéreo, así como zonas geográficas y restricciones temporales del U-Space.	
Requisitos: Los USSP deben enviar la información de geoconsciencia con prontitud, para que los operadores tengan tiempo de adaptarse a las restricciones del espacio aéreo U-Space.	
Servicio: Autorización de vuelo de UAS	Tipo: <u>Obligatorio</u>
Descripción: Procesa autorizaciones de vuelo individualizadas para cada operación UAS dentro del espacio aéreo U-Space.	
Requisitos: Al recibir una solicitud de autorización de vuelo, los USSP deberán: <ol style="list-style-type: none"> 1. Comprobar si la solicitud es correcta y está completa. Debe incluir, como mínimo, número de serie, modo de funcionamiento, categoría de operación, trayectoria 4D, tecnología de identificación, autonomía, conectividad, procedimientos de emergencia y número de registro del operador UAS. 2. Autorizar la solicitud si la operación está libre de intersección con otras autorizaciones UAS en el espacio y el tiempo (es decir, hay que evitar los conflictos en una fase estratégica y las solicitudes se atienden por orden de llegada, siguiendo un algoritmo de planificación <i>FIFO</i> —a excepción de las operaciones especiales, ver Artículo 4 del Reglamento 923/2012 [18]—). 3. Notificar al operador si su solicitud ha sido autorizada o no. 4. En caso afirmativo, indicar también los umbrales de desviación permitidos. Los proveedores pueden proponer alternativas al operador en caso de que su solicitud no haya sido aprobada. Las solicitudes se comprueban con respecto a las restricciones fijas y dinámicas del espacio aéreo U-Space y al tráfico de las operaciones que ya han sido autorizadas.	
Servicio: Información sobre el tráfico	Tipo: <u>Obligatorio</u>
Descripción: Proporciona información sobre el tráfico aéreo cercano a la posición o ruta prevista del UAS.	

Requisitos:	
La información relativa al tráfico debe incluir la posición, la velocidad, el rumbo y la situación de emergencia de la otra aeronave, así como la hora de notificación. Los mensajes de información se actualizarán con la frecuencia que la autoridad competente haya determinado.	
Servicio: Información meteorológica	Tipo: <i>Adicional</i>
Descripción:	
Proporciona al operador UAS previsiones meteorológicas e información real antes o durante el vuelo. Los datos meteorológicos deben ser recopilados por fuentes de confianza.	
Requisitos:	
El servicio debe incluir, como mínimo:	
<ol style="list-style-type: none"> 1. La dirección del viento y su velocidad, en metros por segundo (ráfagas incluidas). 2. La visibilidad, en metros. 3. El techo de nubes, en cientos de pies sobre el terreno. 4. La temperatura y punto de rocío. 5. La altura sobre el nivel del mar apropiada (QNH). 6. Los indicadores de precipitación. 7. Lugar y hora de la observación. 	
Servicio: Supervisión de la conformidad	Tipo: <i>Adicional</i>
Descripción:	
Permite a los operadores UAS verificar si cumplen con los requisitos de rendimiento y las capacidades de la aeronave para operar en un determinado volumen de espacio aéreo U-Space y los términos de la autorización de vuelo UAS. El servicio alertará al operador cuando no cumpla los requisitos o cuando la aeronave supere los umbrales de desviación máximos.	
Requisitos:	
En caso de que el servicio de supervisión de la conformidad detecte que alguna aeronave se ha desviado de la trayectoria autorizada, el proveedor de servicios debe alertar a los usuarios que estén operando en sus inmediaciones, a otros proveedores U-Space que presten servicio en el mismo espacio aéreo y a las dependencias de servicios de tránsito aéreo, que confirmarán que han recibido la alerta.	

Tabla 2.1 Ficha de los servicios obligatorios y servicios adicionales que se establecen en el Reglamento 2021/664 [17]

2.1.3 Fases de implementación del U-Space

Para lograr una transición al modelo ideal planteado en el proyecto U-Space, desde SESAR se propuso una implementación progresiva del sistema dividida en cuatro fases distintas, mostradas en la Fig. 2.2. Las fases de implementación están relacionadas con el nivel de automatización de los drones y con su interacción e integración en el entorno [19]. En cada fase se introducirán nuevos servicios y se espera que el número de usuarios y la complejidad de las operaciones aumente. El plazo de implementación de cada nueva fase será de entre 2 y 5 años, aproximadamente.

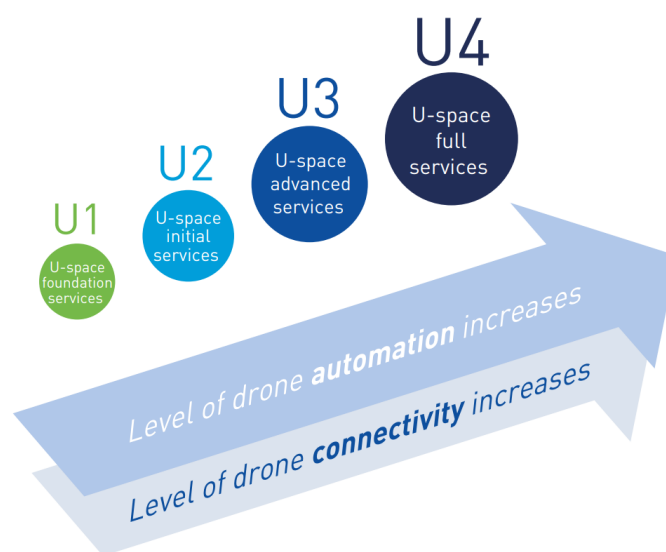


Fig. 2.2 Fases para la implementación progresiva del U-Space [19]

- Fase U1: nivel básico de servicios. Fase en la que se encontrará el sistema cuando el Reglamento U-Space entre en vigor a principios de 2023. Se proporcionan servicios básicos como el registro electrónico o la identificación remota de UAS. También se informa a los usuarios de las zonas de vuelo restringidas (información sobre *geofences*).
- Fase U2: nivel de servicios iniciales. Contempla la gestión de las operaciones UAS y podría incluir servicios de planificación de planes de vuelo, seguimiento de aeronaves, información dinámica sobre el espacio aéreo y una mayor digitalización de los procesos.
- Fase U3: nivel de servicios avanzados. Esta fase dará soporte a nuevas operaciones mejoradas en zonas con alta densidad de población, como podrían ser los núcleos urbanos. Se podrían introducir servicios de

gestión de conflictos y de ajuste de la capacidad del espacio aéreo. La mejora de los sistemas «detect and avoid» (DAA) podría permitir aumentar la densidad del tráfico e introducir operaciones más complejas.

- Fase U4: U-Space con servicios completos. Fase enfocada a la integración entre UAS y la aviación convencional tripulada, mediante interfaces integradas con el ATM/ATC. Se espera aprovechar al máximo las prestaciones del U-Space, funcionando a altos niveles de automatización, conectividad y digitalización.

Los servicios concretos que se proponen para cada una de las fases se analizarán en detalle en el Capítulo 5.

En el caso de la implementación a nivel nacional, ENAIRE pretende posicionarse como el principal proveedor de servicios UTM en España. La plataforma U-Space desarrollada por ENAIRE verá la luz a principios de 2023, siendo una de las primeras capaces de proporcionar los servicios obligatorios de información que se establecen en el Reglamento U-Space. Según Daniel García Monteavaro, jefe de Desarrollo de Negocio de Drones en ENAIRE, la plataforma puede llegar a albergar un total de 100 000 usuarios simultáneos, aunque en un principio la demanda solo sea de 100 UAS en toda España [20].

El desarrollo de la plataforma se ha adjudicado por un importe de más de 1.3 millones de euros a la empresa Indra, con la colaboración de Airbus y Unifly [21]. Con esta inversión, ENAIRE pretende que se pueda cumplir de forma temprana con el Reglamento de ejecución U-Space y que se facilite la integración y la gestión automatizada de los UAS en el espacio aéreo, posibilitando el crecimiento del mercado de drones en España.

2.2. Proyectos relacionados

La investigación sobre operaciones UAS y su integración en escenarios urbanos ha ganado importancia a lo largo de los últimos años. En este apartado se describen algunos de los proyectos relacionados más importantes que se están llevando a cabo.

2.2.1 CORUS

«Concept of Operations for European UTM Systems» (CORUS) fue un proyecto de investigación incluido en el programa SESAR-JU, que dio comienzo en el año 2017 y finalizó en 2019 [9].

Como ya se ha comentado anteriormente, un enfoque armonizado para la integración de drones en el espacio aéreo VLL es vital para que la industria de drones alcance todo su potencial económico y social. El grupo de trabajo, compuesto por expertos en aviación e investigadores apoyados por 21 *stakeholders*, desarrolló un Concepto de Operaciones (ConOps) para el U-Space. En dicho documento se propone una arquitectura inicial para este nuevo tipo de espacio aéreo y el conjunto de servicios que, previsiblemente, serán necesarios durante la planificación y el transcurso de las operaciones UAM.

Una de las ideas clave del proyecto es la definición de tres tipos de volúmenes dentro del espacio aéreo VLL, denominados X, Y y Z. La naturaleza y el número de servicios U-Space propuestos difiere en cada uno de estos volúmenes, dependiendo de la densidad y la complejidad de las operaciones. Se pretende que el espacio aéreo se divida en X, Y y Z en función del riesgo en el aire, del riesgo en tierra y de la cantidad de operaciones previstas. Por tanto, la prestación de servicios UTM será proporcional a las necesidades del tipo de espacio aéreo. En la Fig. 2.3 se pueden observar los tipos de volúmenes propuestos.

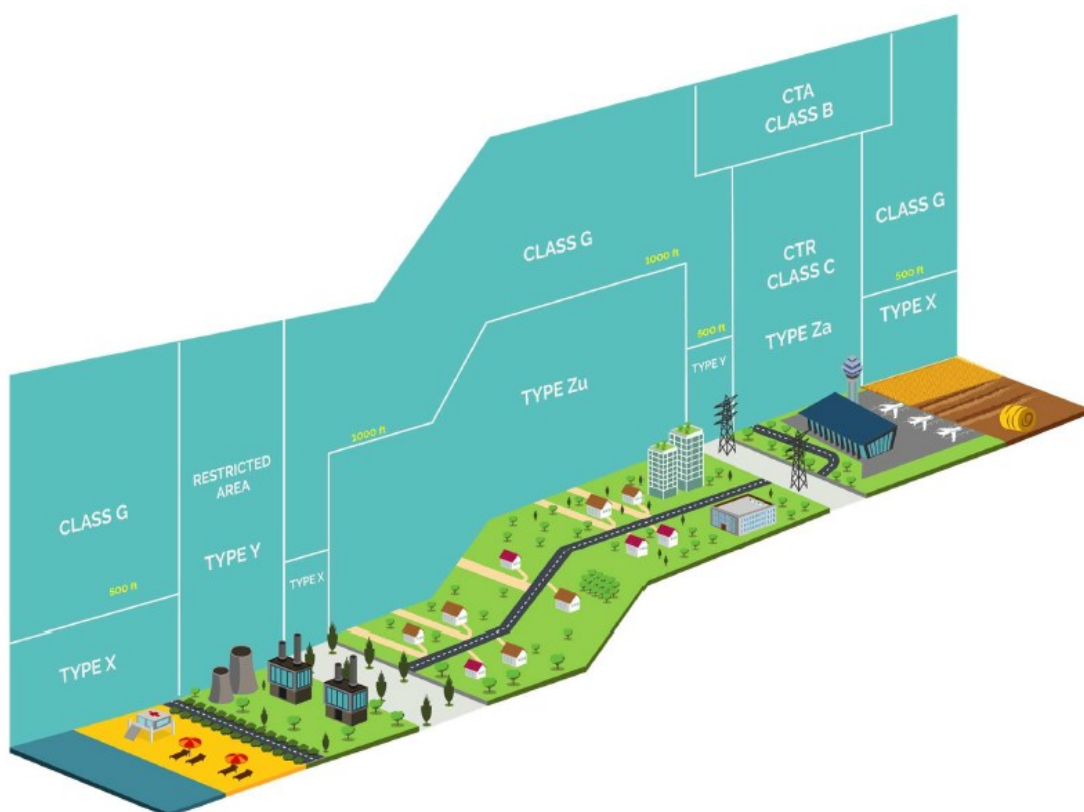


Fig. 2.3 Clasificación del espacio aéreo U-Space en el proyecto CORUS [9]

La principal diferencia entre los tipos de volúmenes de espacio aéreo es la prestación de servicios de resolución de conflictos. En X, no se ofrecen este tipo de servicios. En Y, únicamente se ofrece un servicio estratégico de resolución de conflictos (etapa previa al vuelo). En Z, se ofrece tanto un servicio estratégico como un servicio táctico de resolución de conflictos (etapa en vuelo). Esta diferencia tiene un gran impacto en cómo deberían volar los UAS en cada tipo de espacio aéreo.

En los volúmenes del tipo X se exigen pocos requisitos de entrada a los operadores y, en consecuencia, se ofrece una cantidad reducida de servicios. En los volúmenes X, el piloto es el responsable de mantener la separación en todo momento. La mayoría de operaciones serán VLOS; otros tipos de operaciones requerirán mitigaciones de riesgo. En general, se espera que los vuelos que operen en el espacio aéreo X pertenezcan a la categoría «abierta». El riesgo tanto en tierra como en el aire será bajo, no habrá mucha densidad de operaciones y habrá una baja demanda de servicios U-Space.

En los volúmenes del tipo Y será necesario presentar un plan de operación y que sea aprobado por la autoridad competente. Los requisitos para los UAS y los operadores serán más restrictivos que en los volúmenes X (un UAS capaz de enviar informes de posición, una estación remota conectada al sistema U-Space, etc.). Existirán operaciones VLOS y BVLOS y los conflictos, en caso de haberlos, se resolverán antes del despegue. Los volúmenes Y se implementarán en zonas donde haya demanda de vuelos BVLOS, pero donde la densidad del tráfico no sea muy grande.

En los volúmenes del tipo Z se permite una mayor densidad de operaciones gracias a la provisión de un servicio de resolución de conflictos de forma táctica (mayor capacidad que los volúmenes Y). Para operar en un volumen Z también se necesita presentar un plan de operación y, además, el UAS debe tener unas prestaciones tales que permitan el seguimiento a tiempo real de la aeronave y una conexión permanente con el sistema U-Space. Existen dos tipos de volúmenes Z:

- Zu: si la resolución de conflictos la proporciona el U-Space.
- Za: si el volumen está controlado por ATS.

Es decir, los volúmenes Za pertenecen al espacio aéreo controlado (un CTR, por ejemplo). En este caso, la responsabilidad de separación la tiene el ATC convencional. La integración de los UAS en entornos aeroportuarios es un área de estudio que todavía está siendo desarrollada —por ejemplo, en el proyecto INVIRCAT [22]—.

Los servicios UTM propuestos en el proyecto CORUS se analizan en detalle en el Capítulo 5 y, posteriormente, se relacionan con los requisitos operativos expuestos en el Capítulo 4.

2.2.1.1 CORUS-XUAM

El proyecto CORUS tuvo una extensión para demostrar como las soluciones y los servicios U-Space beneficiarán a la UAM, permitiendo que sus usuarios operen de forma segura, sostenible y eficiente. Este nuevo proyecto se conoce como CORUS-XUAM, se inició en diciembre de 2020, terminará en noviembre de 2022 y también forma parte del programa SESAR [23].

El núcleo del proyecto CORUS-XUAM serán 6 demostraciones extensas que validarán las operaciones UAM en distintos escenarios:

- Bélgica: operaciones en los puertos de Zeebruges y Antwerp. Se llevarán a cabo vuelos de vigilancia y de inspección de la infraestructura portuaria, haciendo uso de la tecnología 5G.
- Francia: se estudiará la viabilidad de interconectar aeropuertos y vertipuertos urbanos mediante la UAM, para transportar personas y mercancía. Se explorarán múltiples tecnologías de comunicación: VHF, SATCOM, 4G y ADS-B.
- Alemania y Reino Unido: se pretende diseñar y optimizar rutas de vuelo entre los aeropuertos y el área metropolitana de la ciudad. Se llevarán a cabo operaciones en los CTR de Frankfurt y de Londres.
- Italia: operaciones entre dos centros de logística en un entorno suburbano. Se probarán vehículos UAM y se medirá el rendimiento en términos de seguridad, acceso y equidad, ciberseguridad y rendimiento humano.
- España: operaciones de transporte de paquetería puerta-a-puerta en una zona residencial cerca de la playa en la ciudad de Castelldefels, dentro del CTR de Barcelona. Se probarán distintos servicios U-Space, entre ellos el de resolución de conflictos.
- Suecia: operaciones autónomas entre las ciudades de Linköping y el aeropuerto de Norrköping (a 50 km de distancia). Se simulará tráfico para demostrar las capacidades de los servicios U-Space en añadidura a los sistemas DAA, resolviendo conflictos de forma segura.

El proyecto pretende destacar la importancia de las soluciones U-Space para operaciones UAM que requieran una conciencia situacional del tráfico cercano. Se validarán operaciones integradas entre aeronaves tripuladas y no tripuladas empleando servicios avanzados del U-Space y se explorarán medios para facilitar las interfaces ATM/ANS. También se actualizará el ConOps desarrollado durante el proyecto CORUS.

2.2.2 USEPE

«U-Space Separation in Europe» (USEPE) es un proyecto de investigación incluido en el programa SESAR-JU, que dio comienzo en enero de 2021 y finalizará en diciembre de 2022 [24].

Durante los últimos años, el número de aplicaciones para los UAS ha aumentado significativamente y, con ello, el número de drones que operarán de forma simultánea en la misma porción de espacio aéreo. Estas aeronaves deberán ser separadas entre ellas de forma segura y permitir así la mayor densidad de tráfico posible. El problema de la separación se complica todavía más si se tienen en cuenta los entornos urbanos, donde hay presencia de edificios y de ráfagas de viento turbulentas.

USEPE tiene el objetivo de solucionar este problema, investigando sobre los métodos de separación de UAS en entornos complejos, como por ejemplo las ciudades. Dicha investigación se acompaña de un Concepto de Operaciones que está siendo implementado y simulado para su validación. USEPE también estudia el uso de algoritmos de *machine learning* para automatizar la separación y la resolución de conflictos al mismo tiempo que se mantiene la capacidad del espacio aéreo en distintos tipos de escenario.

Para conseguir resultados cuantificables, se plantea una casuística de escenarios urbanos reales y se discute su viabilidad para acabar seleccionando e implementando los casos más adecuados y llevar a cabo una validación completa siguiendo la metodología E-OCVM.

Una de las propuestas de valor más importantes del proyecto es el diseño de un nuevo método de separación: los corredores de densidad dinámica. Este concepto considera al proveedor de servicios U-Space una figura clave, puesto que será el encargado de proporcionar el servicio de resolución de conflictos de forma estratégica y táctica. Se propone que el espacio aéreo se organice en segmentos dinámicos para conseguir una reconfiguración del espacio aéreo rápida, flexible y eficiente, incluyendo corredores de «alta velocidad» y haciendo uso de reglas de geovectorización (velocidad mínima y máxima, limitar los cambios de rumbo) para permitir trayectorias de UAS más largas y reducir el riesgo de conflictos. En la Fig. 2.4 se observa el nuevo concepto de corredores.

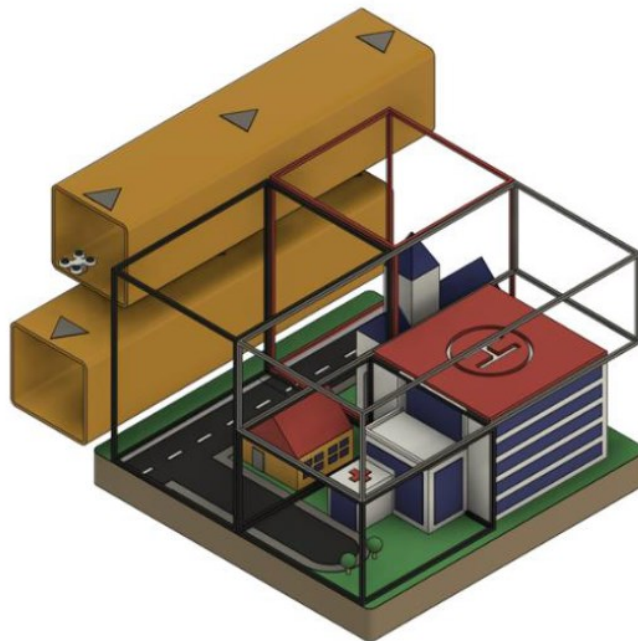


Fig. 2.4 Concepto de corredores de densidad dinámica propuesto en USEPE [24]

CAPÍTULO 3. CARACTERIZACIÓN DE LA OPERACIÓN

En este capítulo se detalla el proceso de planificación de la operación siguiendo el contenido del Concepto de Operaciones (ConOps) que figura en la «Guía sobre el contenido del Manual de Operaciones UAS» de AESA [16]. El Manual de Operaciones (MO) es un requisito obligatorio (en categoría certificada) para obtener la autorización operacional emitida por la autoridad aeronáutica y es el documento por el cual se rige la actividad aérea del operador.

3.1. Naturaleza de la operación

La misión de la operación UAM es aquel objetivo o conjunto de objetivos que sirven como referencia durante el proceso de planificación y desarrollo de la operación. En el caso de este proyecto, la misión de la operación es la siguiente:

«Transportar paquetería de forma segura y eficiente desde el almacén situado en el parque tecnológico de Cerdanyola del Vallés hasta el centro de recogida habilitado en la estación de Sants mediante el uso de UAS de transporte de carga certificados, operando dentro del espacio aéreo U-Space».

Para ello, primero se deberá estudiar el entorno operacional, analizando el terreno, los obstáculos y el tipo espacio aéreo definido en la zona. En segundo lugar, se deberá seleccionar un modelo concreto de UAS para realizar la operación, así como las instalaciones en tierra necesarias para su despegue y aterrizaje. En tercer lugar, se deberán detallar las competencias y responsabilidades del personal, así como sus requisitos técnicos. Además, se deberán analizar detalladamente los riesgos asociados a la operación y se tendrán que proponer barreras y medidas de mitigación para reducir la probabilidad de ocurrencia y la severidad de los incidentes y accidentes. Por último, se presentarán las instrucciones de mantenimiento del UAS, para asegurar que la operación se realiza de forma segura y eficiente.

Como ya se ha explicado anteriormente, la operación se enmarca dentro de la categoría «certificada» y, por tanto, requiere de la autorización por parte de la agencia y también de la certificación del operador, de los pilotos a distancia y de los vehículos utilizados. La operación será diurna, se desarrollará más allá del alcance visual del piloto (BVLOS) y la aeronave volará bajo control manual del piloto salvo en ciertas situaciones de emergencia (contempladas en el apartado 3.5), donde el UAS seguirá unas rutas predefinidas.

3.2. Área geográfica y entorno operacional

En el caso de este proyecto se ha considerado una operación UAM en el ámbito interurbano, dentro del AMB. Como ya se ha comentado en el apartado anterior, la operación consiste en una entrega de paquetería entre el almacén de la empresa de logística y el centro de la ciudad de Barcelona, lugar donde se habilitará un punto de recogida destinado a los usuarios.

El almacén logístico se encuentra en el Parque Tecnológico del Vallés (PTV), ubicado en la ciudad de Cerdanyola del Vallés, que cuenta con una gran presencia del sector industrial y tecnológico. Muchas entidades han decidido establecer su sede en el PTV, incentivadas por su proyecto de promoción empresarial y del conocimiento tecnológico —en el PTV se encuentra el único acelerador sincrotrón de partículas de España—, su modelo urbanístico y su situación geográfica —a 10 km de la ciudad de Barcelona—.

En la Fig. 3.1 se observa la vista satelital del PTV y el emplazamiento donde se construirá el vertipuerto para el despegue y aterrizaje de UAS. Sus coordenadas son $41^{\circ} 29' 04.99''$ N de latitud y $002^{\circ} 07' 35.62''$ E de longitud y su elevación es de 86 m por encima del nivel del mar.



Fig. 3.1 Emplazamiento del vertipuerto de despegue, situado en el PTV [25]

El centro de recogida de paquetes se encuentra en la ciudad de Barcelona, junto a la estación de Sants. Es un lugar céntrico, accesible y con mucho movimiento, idóneo para habilitar un centro de recogida.

En la Fig. 3.2 se observa la vista satelital del barrio de Sants y el emplazamiento donde se construirá el punto de recogida y el vertipuerto de UAS. Sus coordenadas son $41^{\circ} 22' 41.02''$ N de latitud y $002^{\circ} 08' 19.21''$ E de longitud y su elevación es de 28 m por encima del nivel del mar.



Fig. 3.2 Emplazamiento del vertipuerto de aterrizaje, situado en Barcelona-Sants [25]

La ruta óptima entre dichos puntos es la línea recta que se muestra en la Fig. 3.3. Entre la ciudad de Cerdanyola y la de Barcelona se encuentra la Sierra de Collserola, un área montañosa que abarca una superficie de unas 11 000 hectáreas. Sus relieves son suaves y de escasa altura, siendo el pico más alto el Tibidabo, con 512 m de altitud sobre el nivel del mar. Dicha elevación del terreno no supone un problema para los UAS, que tienen techos de vuelo muy superiores —en general, entre 2000 y 5000 m, dependiendo del modelo—.

La distancia entre vertipuertos es de 12.2 km, factor que habrá que tener en cuenta a la hora de elegir el modelo de UAS encargado de realizar esta operación, que deberá tener un alcance superior a dicha distancia. No obstante, es una distancia corta que cualquier UAS diseñado para el transporte de mercancías puede recorrer incluso con la máxima carga de pago.



Fig. 3.3 Ruta óptima entre el vertipuerto de despegue y el de aterrizaje [25]

En la Fig. 3.4 se muestra el perfil de elevación del terreno entre el punto de despegue y el de aterrizaje. Tal y como se puede observar, la elevación aumenta a medida que nos adentramos en la Sierra de Collserola hasta alcanzar un pico de 412 m, para posteriormente descender al entrar en la ciudad de Barcelona, que se encuentra prácticamente al nivel del mar.

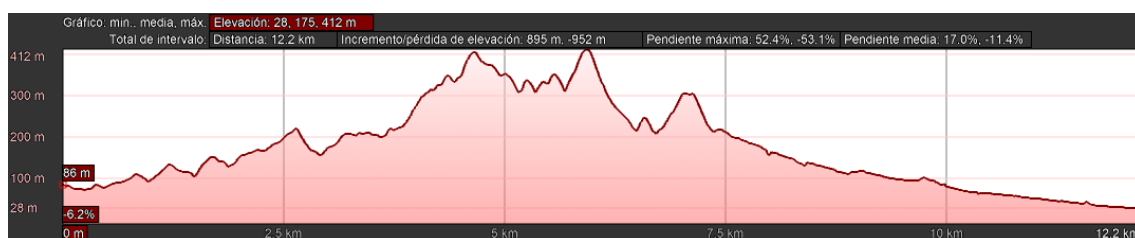


Fig. 3.4 Perfil de elevación del terreno entre el vertiport de despegue y el de aterrizaje [25]

Como ya se ha comentado en el Capítulo 2, se pretende que las operaciones UAM se realicen dentro del espacio aéreo U-Space, a nivel de vuelo VLL y sin cruzar espacio aéreo controlado. Es decir, habrá que garantizar que el UAS vuele por debajo de 400 ft por encima del terreno (independientemente de su elevación), de forma que no entre en conflicto con la aviación general.

Utilizando la herramienta de Google Earth [25], se han analizado los obstáculos a lo largo de la trayectoria propuesta. No hay ningún edificio ni antena que supere, aproximadamente, los 60 m de altura. Por tanto, la altura de crucero del UAS se podría fijar en unos 100 – 120 m por encima del terreno, para mantener un margen de seguridad con los obstáculos y, a la vez, no superar el límite superior del espacio aéreo U-Space. Estos valores son orientativos y quedan fuera del alcance de este proyecto, se debería realizar un análisis más exhaustivo tanto de los obstáculos como del margen de seguridad vertical entre ellos y el UAS.

En cuanto al análisis del espacio aéreo, en la Fig. 3.5 se pueden observar los distintos volúmenes de espacio aéreo en la zona de la operación.

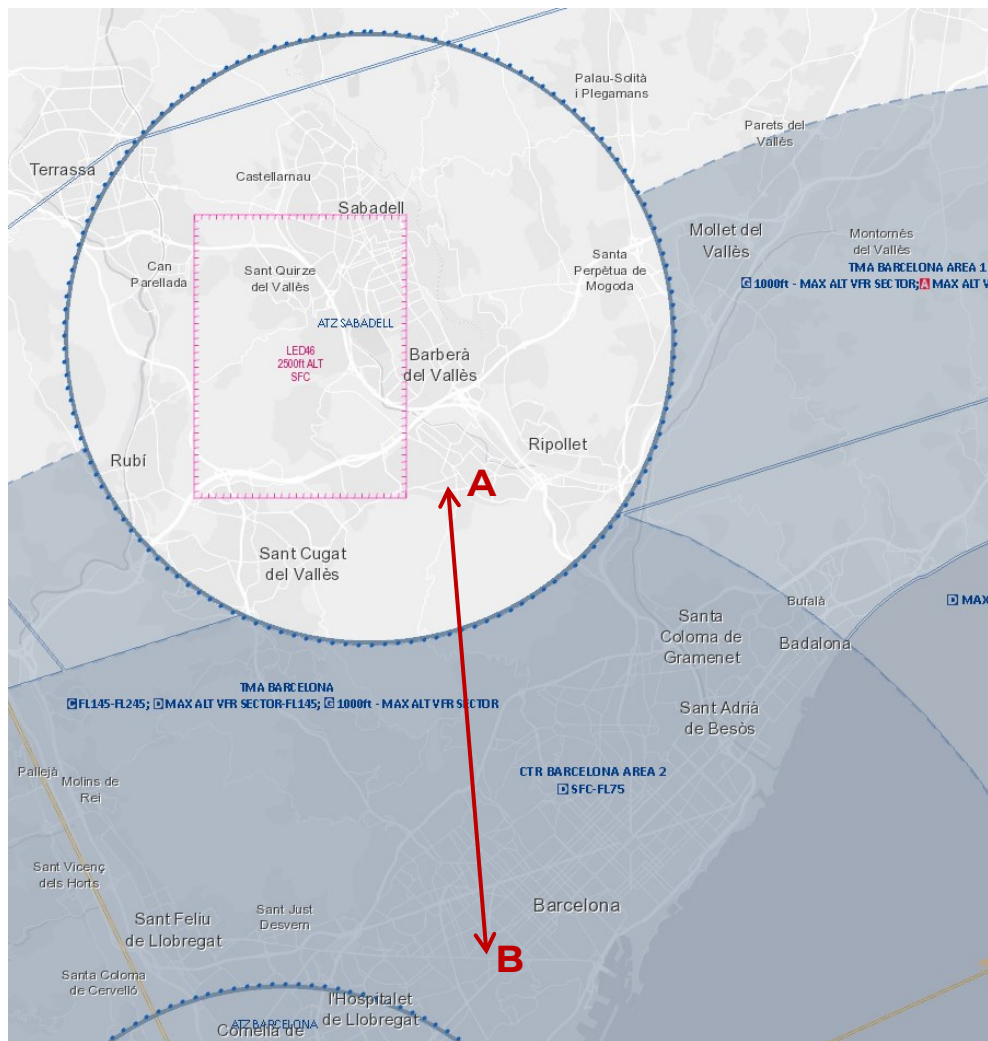


Fig. 3.5 Volúmenes de espacio aéreo en la zona de operación [26]

Si la operación se realizase a día de hoy, el UAS vulneraría dos volúmenes de espacio aéreo controlado. El primero, el ATZ de Sabadell, definido desde la superficie (SFC) hasta 3500 ft de altitud. El segundo, el CTR de Barcelona, definido desde SFC hasta FL 75. No obstante, el vertipuerto de despegue se encuentra fuera del área peligrosa LED46 (SFC – 2500 ft ALT), destinada a ejercicios acrobáticos de aeroclub.

Para facilitar el desarrollo de las operaciones UAM y permitir el vuelo de UAS, el espacio aéreo controlado y el espacio aéreo U-Space deberían integrarse en la capa VLL. A día de hoy, en el Artículo 4 del Reglamento 2021/664 [17] se establece el concepto de «reconfiguración dinámica del espacio aéreo» en los casos en que un Estado miembro designe un espacio aéreo U-Space dentro del espacio aéreo controlado. De esta forma, se limitarán temporalmente las zonas dentro del espacio aéreo U-Space donde haya demanda de tráfico tripulado, ajustando los límites laterales y verticales de dicho espacio aéreo y notificando

los cambios a los USSP. Este proyecto se está realizando en una etapa previa a la introducción del U-Space en España y se espera que, en un futuro, se habilite el vuelo de UAS en la ruta que aquí se propone.

En cuanto a la definición de los nuevos volúmenes de espacio aéreo U-Space, se prevé que abarquen una gran extensión horizontal de terreno. Actualmente, se están realizando múltiples proyectos y estudios sobre la seguridad y los riesgos asociados al vuelo de UAS en capas inferiores del espacio aéreo, incluso en entornos aeroportuarios (ver proyecto INVIRCAT [22]). Si se demuestra que la integración de los UAS es segura, no habrá ningún motivo para no implementar el espacio aéreo U-Space en todo el territorio español, para que tanto profesionales como aficionados puedan realizar sus operaciones UAS sin mayores inconvenientes. La provisión de servicios U-Space estará relacionada con el tipo de volumen de espacio aéreo designado: en zonas rurales la complejidad de las operaciones y el riesgo asociado será bajo, por lo que no será necesario prestar servicios adicionales; en el ámbito urbano ocurrirá lo contrario (ver capítulo 2.2.1: volúmenes del tipo X, Y, Z propuestos en CORUS).

3.3. Medios técnicos utilizados

En este apartado se discuten los medios técnicos necesarios para realizar la operación, principalmente el UAS y las instalaciones en tierra que permitirán el despegue y aterrizaje de drones.

3.3.1 Vehículo

A la hora de escoger el modelo de UAS adecuado para la operación, hay que tener diversos factores en cuenta. Los tres criterios principales a considerar durante la selección del UAS se muestran en la Fig. 3.6.

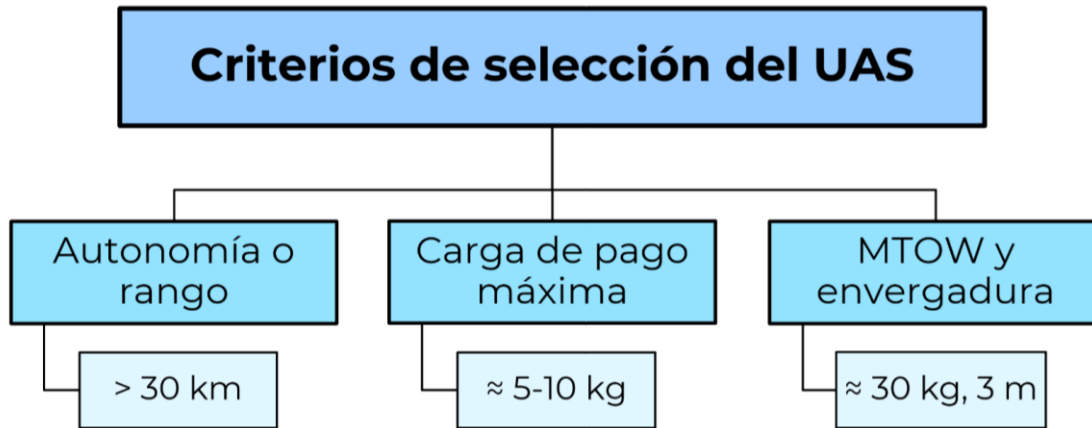


Fig. 3.6 Criterios a considerar durante la selección del UAS

El primero de ellos es la distancia que deberá recorrer el vehículo durante la operación, que en este caso son 12.2 km. Si se espera que el UAS haga el camino de vuelta sin necesidad de recargar la batería (la operación inversa, es decir, ir del vertipuerto de entrega al vertipuerto de salida), entonces deberá tener un rango de, como mínimo, 24.4 km. Además, hay que considerar que durante la operación pueden ocurrir imprevistos que alejen al vehículo de su trayectoria óptima. Por tanto, uno de los requisitos del vehículo será que tenga un alcance de unos 30 km, como mínimo.

El segundo criterio es la carga de pago o capacidad máxima disponible del vehículo. Las operaciones UAM de transporte de paquetería están orientadas a realizar entregas de mercancías ligeras como podrían ser productos electrónicos, prendas de ropa, pequeñas remesas de libros, etc. Según Paul Misener, vicepresidente de Política Global de Innovación y Comunicaciones de Amazon, «más del 75% de productos que se venden en Amazon pesan menos de 5 lb (2.27 kg)» [27]. La mercancía pesada se transportaría por tierra, como se hace habitualmente. Por tanto, el segundo requisito del vehículo es que cuente con una carga de pago superior a los 2 kg, preferiblemente entre 5 y 10 kg — para entregar varios productos en una misma operación—.

El tercer criterio es el peso y las dimensiones del vehículo, que, generalmente, están relacionados con el punto anterior: a mayor peso y envergadura del dron, mayor será la carga de pago que podrá transportar. No obstante, emplear un vehículo de mayor peso supone, por norma general, aumentar el riesgo de la operación —puesto que se incrementa la energía cinética en caso de colisión— y las molestias por ruido. Por tanto, el tercer requisito del vehículo es que sea lo más ligero posible. Una masa máxima al despegue de alrededor de 30 kg y una envergadura de unos 3 m son valores adecuados y realistas para este tipo de operación. Hay que tener en cuenta que vehículos más pequeños no podrían

transportar una gran carga de pago, por lo que estarían limitados a entregar paquetes de tamaño y peso reducido.

En conclusión, el escenario ideal sería disponer de un vehículo de pequeñas dimensiones que fuese capaz de transportar una gran carga de pago a una distancia considerable.

Uno de los modelos de UAS que se ajusta a los requisitos es el *YANGDA Sky Whale heavy-lift electric VTOL* [28]. El vehículo consta de cuatro rotores y un motor de ala fija. El despegue se realiza como si se tratase de un cuadricóptero (del inglés *quadcopter*), es decir, despegue completamente en vertical y, una vez se encuentra a la altura adecuada, la aeronave pasa al modo ala fija. En este modo, el dron es propulsado por el motor en cola como si se tratase de un avión turbohélice, salvo que no utiliza una turbina de gas, sino un motor eléctrico.

El vehículo se puede observar en la Fig. 3.7 y sus características principales se listan en la Tabla 3.1.



Fig. 3.7 *YANGDA Sky Whale heavy-lift electric VTOL* [28]

Envergadura	3914 mm
Longitud	1920 mm
Altura	750 mm
MTOW	34 kg
Peso sin batería ni carga de pago	16 kg
Peso batería (Tattu 6S 32000 mAh)	7.2 kg
Carga de pago máxima recomendada	10 kg
Autonomía	210 min (2 kg carga de pago)

	120 min (6.5 kg carga de pago)
	90 min (10 kg carga de pago)
Velocidad de crucero	75 – 90 km/h
Velocidad máxima	120 km/h
Velocidad de entrada en pérdida	57.6 km/h
Velocidad de ascenso máxima	14.4 km/h
Velocidad de descenso máxima	18 km/h
Resistencia al viento	43.2 km/h
Techo de vuelo	4500 m s. n. m.

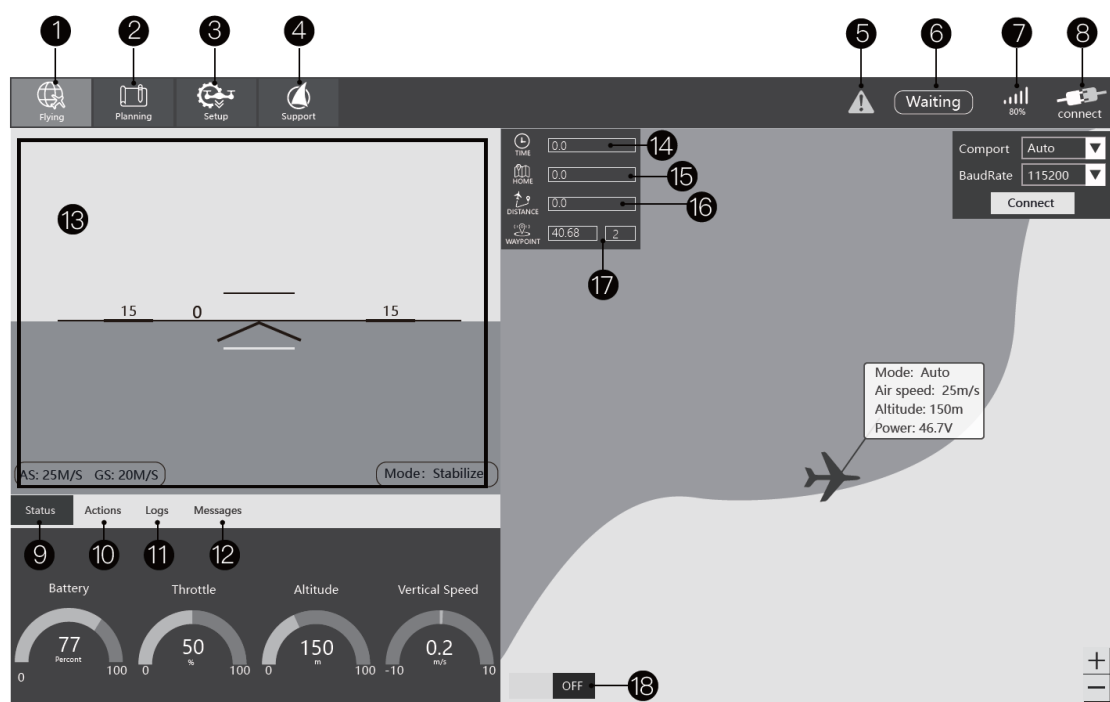
Tabla 3.1 Características principales del vehículo *YANGDA Sky Whale* [28]

Tal y como se puede observar, el vehículo cumple, *grosso modo*, con los requisitos de selección. Cuenta con la autonomía suficiente como para transportar los paquetes desde la base hasta el punto de entrega y regresar, incluso cargado con la máxima carga de pago, que son 10 kg. En la etapa de crucero, es capaz de volar entre 75 y 90 km/h propulsado por el motor eléctrico en cola. Además, el fuselaje está fabricado de un material impermeable — dispone del grado de protección IP54— y resiste rachas de viento de hasta 43.2 km/h, por lo que la aeronave podría operar incluso en condiciones de lluvia y viento ligero. Detalles adicionales sobre las especificaciones de la aeronave, puesta a punto, medidas de emergencia y mantenimiento se pueden consultar en el manual de usuario [28].

Por otro lado, el UAS lleva incorporado el software *LAUNCH GCS* [29], que permite planificar la operación y monitorizar el vehículo durante su transcurso. El programa es parecido al *Mission Planner* de *ArduPilot*, pero cuenta con una interfaz simplificada que facilita el uso a usuarios que no estén familiarizados con la planificación de operaciones UAS. Dicha interfaz se puede observar en la Fig. 3.8.

En ella se pueden consultar los indicadores de estado del vehículo, como el porcentaje de batería disponible, la altitud a la que se encuentra, velocidad, potencia de los motores, modo de vuelo, etc. También se puede consultar el HUD, donde se encuentra el indicador de actitud, que proporciona la orientación de la aeronave respecto al horizonte, esto es, los ángulos de alabeo y cabeceo. Para designar los puntos de paso, simplemente hay que hacer clic en el mapa y añadir *waypoints*, introduciendo en cada uno de ellos la altitud de sobrevuelo.

Para obtener más información sobre el programa, leer el manual de usuario de *LAUNCH GCS* [29].



- | | |
|---|-------------------------------------|
| ① Flight status and other information windows | ⑪ Read and download flight log |
| ② Route planning, task planning window | ⑫ Operation information |
| ③ Advanced mode parameter settings | ⑬ HUD |
| ④ Technical support, after-sales contact | ⑭ Flight time |
| ⑤ Aircraft status alert | ⑮ Vertical distance from HOME point |
| ⑥ Aircraft status mode | ⑯ Flying distance |
| ⑦ GPS signal strength | ⑰ Target waypoint distance/number |
| ⑧ Communication connection | ⑱ Map follows aircraft on/off |
| ⑨ Graphical display of flight data | |
| ⑩ Flight operation | |

Fig. 3.8 Interfaz del programa *LAUNCH GCS* [29]

Por último, es necesario apuntar que este modelo de UAS se ha propuesto a modo de ejemplo, para detallar y aportar valores reales a la caracterización de la operación. En un caso práctico, se debería analizar concienzudamente el mercado de drones y contactar con distintos fabricantes hasta encontrar el modelo idóneo para la operación. Además, a medida que el sector de las

operaciones con drones y la tecnología avancen, irán apareciendo nuevos modelos de UAS de transporte de carga que consigan minimizar las dimensiones y maximizar la carga de pago. En cualquier caso, el diseño del dron tiene que estar certificado por EASA.

3.3.2 Instalaciones en tierra

En este apartado se detallan las características de los espacios necesarios para el despegue y aterrizaje de los drones en la ciudad, conocidos como vertipuertos.

El núcleo de todo vertipuerto es el Área de Toma de Contacto y Elevación Inicial (TLOF), la zona que permite la toma de contacto o la elevación inicial de los vehículos. Diversos estudios sobre el potencial mercado UAM han demostrado que la demanda en los destinos más concurridos requerirá de la creación de varias TLOF en un mismo vertipuerto, para evitar las esperas. Un estudio preliminar en Forth Worth, Texas estimó la necesidad de crear 98 TLOFs distribuidas en 25 localizaciones distintas, esto es, aproximadamente 4 TLOFs por vertipuerto [30]. Este estudio se realizó considerando la demanda de transporte de pasajeros, pero se podrían efectuar análisis parecidos teniendo en cuenta la demanda de transporte de carga.

No obstante, el espacio disponible en las ciudades suele ser reducido, por lo que el diseño de vertipuertos tendrá que evolucionar hacia estructuras que minimicen su extensión horizontal. Por ejemplo, existen patentes sobre torres multinivel destinadas al aterrizaje y despegue de drones de carga [31]. Este diseño de torre consta de múltiples puntos de aterrizaje y despegue para cada una de las distintas plantas, optimizando así el espacio disponible (ver Fig. 3.9).

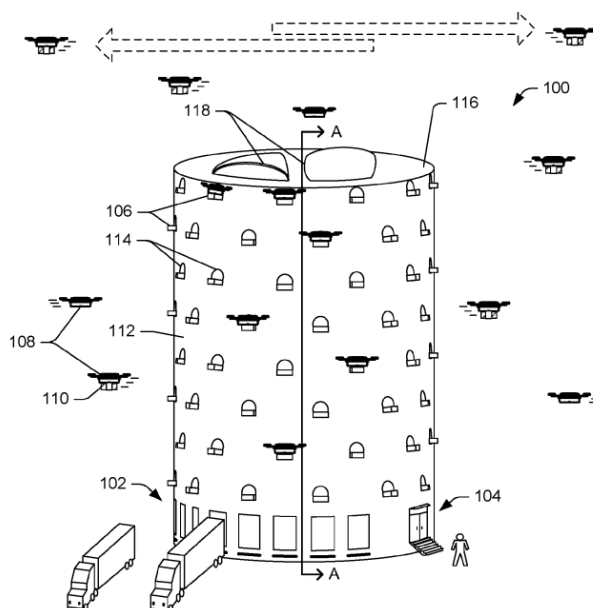


Fig. 3.9 Prototipo de centro de entrega multinivel [31]

Estas torres «avispero» se podrían construir en puntos estratégicos de la ciudad y los clientes podrían acceder a ellas para recoger sus paquetes, o bien, como se realiza a día de hoy, repartidores autorizados podrían recoger la mercancía y entregarla directamente en la puerta de casa del cliente. Aunque el último tramo de la entrega se hiciese mediante transporte terrestre, el uso de drones para la entrega de paquetería entre el almacén principal y la torre multinivel contribuiría a reducir la congestión de las carreteras y la contaminación del AMB.

Situándonos por un momento en el ámbito de las operaciones UAM de transporte de pasajeros, los vertipuertos deberían disponer de múltiples TLOFs, áreas de estacionamiento de drones, calles de rodaje y zonas habilitadas para los pasajeros. Es decir, instalaciones similares a terminales aeroportuarias de tamaño reducido. Además, también se deberían considerar restricciones del entorno que podrían afectar a las trayectorias de despegue y aterrizaje al vertipuerto, como podrían ser edificios demasiado altos en los alrededores (u otros obstáculos), niveles de ruido, viento, etc. En este sentido, el diseño de vertipuertos en entornos urbanos se presenta como todo un desafío [32].

En este proyecto, por motivos de optimización del espacio y de simplicidad, se va a diseñar un vertipuerto con una única TLOF y una zona habilitada para el almacenaje de los paquetes y la atención a los usuarios. Esta propuesta de vertipuerto se situará en las inmediaciones de la estación de Sants, como se ha visto en el apartado 3.2.

Respecto a la normativa y estandarización del diseño de vertipuertos, a día de hoy se encuentra todavía en desarrollo. Recientemente se realizó un estudio para analizar la precisión en el aterrizaje de modelos representativos de VTOLs eléctricos en el contexto de las operaciones UAM de transporte de pasajeros [33]. Se comprobó que las aeronaves aterrizaban en un radio de 20-30 ft (6-9 m) el 95% de las veces, en condiciones de turbulencia ligera. Pese a la utilidad del proyecto, únicamente rasca la superficie del desarrollo de estándares para el diseño de vertipuertos.

En ausencia de normativa sobre el diseño de vertipuertos, en este proyecto se van a utilizar los estándares de diseño de helipuertos, tratando a los UAS como helicópteros de menor tamaño. El conjunto de normas sobre el diseño de helipuertos se recoge en el Anexo 14 Volumen II [34] y en el Manual de Helipuertos – Doc. 9621 [35].

3.3.2.1 Plataforma de despegue y aterrizaje

La plataforma de despegue y aterrizaje consta de tres superficies distintas.

La primera de ellas es la TLOF, área donde tomarán contacto los drones que aterricen y desde la cual iniciarán el ascenso los que despeguen. En todo vertipuerto debe proporcionarse al menos una TLOF. La TLOF puede tener cualquier forma, pero será de tal extensión que comprenda un círculo cuyo diámetro sea por lo menos $0.83 D$ de la aeronave más grande para la cual esté prevista el área, donde D es la dimensión máxima de dicho vehículo. Considerando que el UAS presentado en el apartado 3.3.1 es el más grande que aterrizará en el vertipuerto, D tiene un valor de 3.91 m. Por tanto, el diámetro de la TLOF será de 3.25 m.

La segunda superficie es el Área de Aproximación Final y Despegue (FATO), área en la que termina la fase final de la maniobra de aproximación hasta el aterrizaje y a partir de la cual empieza la maniobra de despegue. En todo vertipuerto debe proporcionarse al menos una FATO y siempre contendrá una TLOF. La FATO puede tener cualquier forma, pero será de tal extensión que comprenda un círculo cuyo diámetro sea por lo menos $1 D$ de la aeronave más grande para la cual esté prevista el área. Por tanto, el diámetro de la FATO será de 3.91 m.

La tercera superficie es el Área de Seguridad Operacional (FSA), área que rodea a la FATO y que no necesita ser sólida, simplemente tiene que estar libre de objetos fijos que no sean frangibles. La FSA se extenderá hacia fuera de la periferia de la FATO hasta una distancia de por lo menos 3 m o $0.25 D$, lo que

resulte mayor, y el diámetro exterior del área de la FSA será de por lo menos $2D$ cuando la FATO sea circular. Así pues, el diámetro de la FSA será de 7.82 m.

En la Fig. 3.10 se puede observar la plataforma de despegue y aterrizaje y los diámetros de la TLOF, la FATO y la FSA.

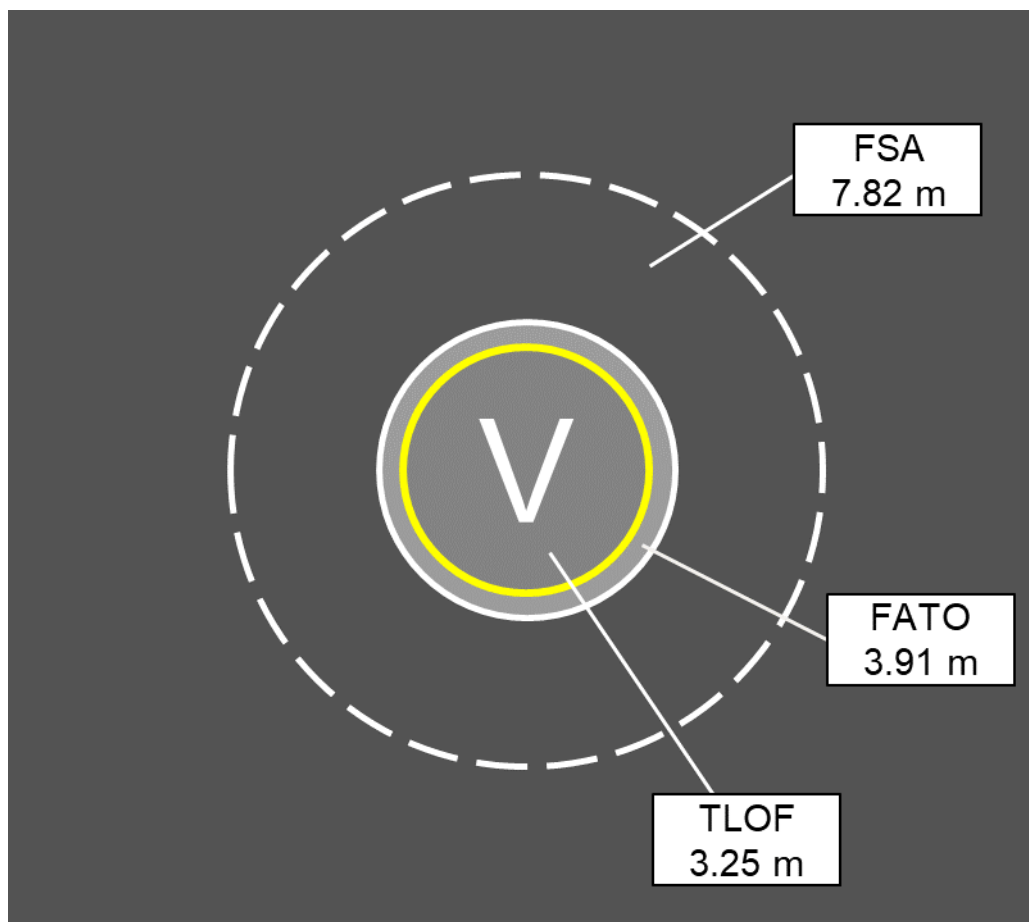


Fig. 3.10 Plataforma de despegue y aterrizaje del vertipuerto

3.3.2.2 Centro de recogida de paquetes

Instalación situada en el vertipuerto (cerca de la plataforma de despegue y aterrizaje) a la que los usuarios acudirán para recoger sus paquetes. En la Fig. 3.11 se puede observar la vista en planta del centro de recogida de paquetes, que se encuentra junto a la plataforma de despegue y aterrizaje del vertipuerto.



Fig. 3.11 Vista en planta del vertipuerto situado en Barcelona-Sants

El funcionamiento de la instalación será el siguiente: a medida que vayan aterrizando drones de carga, los operarios del vertipuerto irán almacenando la mercancía en el almacén del centro de recogida y, cuando llegue el propietario del paquete, se le hará entrega. Los paquetes también se pueden entregar a repartidores autorizados para que los lleven directamente a los domicilios de los clientes.

3.4. Competencias, funciones y responsabilidades del personal

En este apartado se detallan las competencias, funciones y responsabilidades del personal involucrado en la operación, especialmente del piloto a distancia. Se explican las licencias necesarias para operar y sus requisitos teóricos y prácticos y también se dan orientaciones relativas a su salud. El desglose detallado de las funciones del personal y la organización de la empresa se recoge más adelante, en el Capítulo 4.

En cuanto a las responsabilidades del piloto a distancia, en primer lugar, debería estar convenientemente registrado en el sistema U-Space y disponer de una licencia para realizar el tipo de operación planteado en este proyecto. Para obtener el certificado, el piloto debe realizar la formación teórica y práctica que se muestra en la Fig. 3.12.

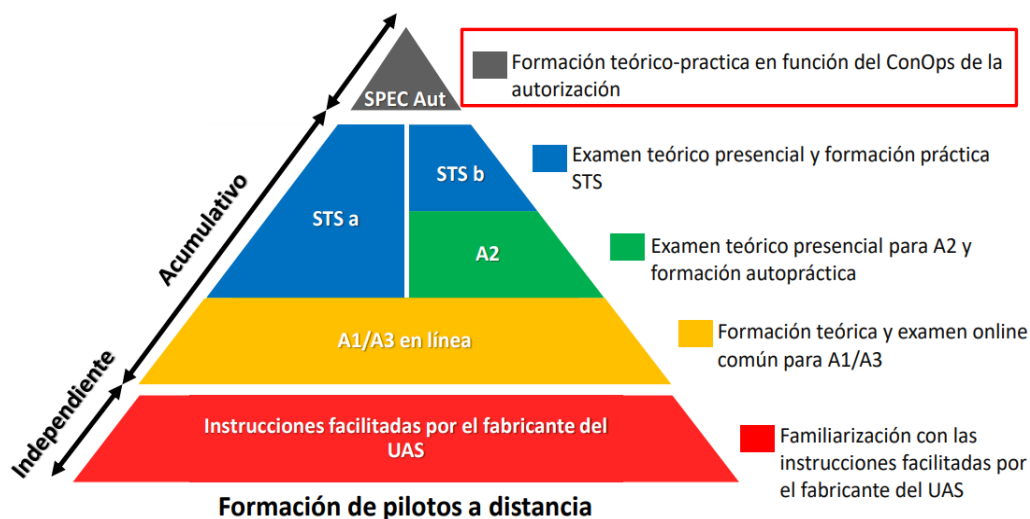


Fig. 3.12 Pirámide de formación de los pilotos a distancia [36]

En nuestro caso, se debería proporcionar al piloto una formación teórico-práctica específica en función del ConOps autorizado por la agencia de seguridad. Dicha formación será impartida por entidades reconocidas u operadores UAS declarados, responsables de acreditar las competencias del piloto. La formación estará basada en competencias y comprenderá, al menos, los siguientes puntos:

- Capacidad de gestionar la trayectoria del UAS y conocimientos sobre automatización.
- Capacidad de aplicar los procedimientos de la operación.
- Comunicación aeronáutica.
- Trabajo en equipo, autogestión y liderazgo.
- Consciencia situacional.
- Toma de decisiones y resolución de problemas.
- Factores humanos: gestión del estrés, la fatiga y la carga de trabajo.
- Coordinación y transferencia.

A parte de la formación específica orientada a la operación, el piloto también deberá contar con un certificado apto para operar en categoría específica bajo escenario estándar (STS del tipo a). Para obtener la certificación, se deberá superar un examen teórico de 40 preguntas basadas en 8 materias (para obtener información detallada sobre el contenido del examen, ver [37]) y recibir una formación y evaluación de aptitudes prácticas por una entidad previamente reconocida por AESA.

Además, el piloto debe familiarizarse con el modelo de UAS seleccionado para la operación, estudiando las instrucciones facilitadas por el fabricante y conociendo los elementos, características, limitaciones, funcionamiento y mantenimiento del vehículo.

En el *paper* conceptual sobre la categoría «certificada» [15] se propone un nuevo tipo de licencia (APL, *Automation System – Based Aircraft Pilot Licence*) que podría ser requisito obligatorio en un futuro. Esta licencia será necesaria para operar, por ejemplo, en zonas densamente pobladas (ámbito urbano). Sus requisitos de formación todavía no están definidos.

Durante la fase previa al vuelo, el piloto y el resto del equipo de planificación de la operación deberían cumplir lo siguiente [36]:

- Obtener información actualizada sobre las zonas geográficas relevantes para la operación.
- Asegurarse de que el entorno operativo coincide con el del MO aprobado por la agencia de seguridad.
- Comprobar que el UAS está en condiciones de completar el vuelo de forma segura.
- Actualizar el UAS con información sobre las *geo-fences*.
- Comprobar que la carga de peso está convenientemente asegurada al vehículo y que no se supera su MTOM.
- Asegurarse de que el UAS cuenta con la suficiente energía de propulsión como para terminar el vuelo, agregando un margen de seguridad por si suceden imprevistos.

Durante el propio vuelo, se deberán cumplir los siguientes requisitos:

- Cumplir con la operación y los procedimientos según se han descrito en el MO aprobado.

- Evitar cualquier riesgo de colisión con cualquier otra aeronave e interrumpir la operación en caso de que se ponga en peligro la integridad de otras aeronaves, de las personas, de los animales, del medio ambiente o de los bienes materiales.
- Cumplir con las limitaciones geográficas, esto es, no acceder a espacio aéreo no autorizado.
- No volar cerca o en las zonas donde haya operaciones de emergencia.

Por último, es importante tener en cuenta los factores humanos que intervienen en la operación, puesto que provocan, aproximadamente, el 80% de los accidentes en aviación [38]. El piloto no debería realizar sus tareas si se encuentra bajo la influencia de sustancias psicoactivas o del alcohol ni tampoco cuando se encuentre indispuesto debido a la fatiga, ciertas lesiones, enfermedad, medicación u otras causas.

Una de las formas que los pilotos tienen para comprobar que están en condiciones de realizar el vuelo es la metodología «I'M SAFE», propuesta por la *Federal Aviation Administration* (FAA) [39]. Este método estandarizado se basa en la autoevaluación del piloto, que debe seguir una *checklist* para determinar si su estado físico y mental es el adecuado antes de iniciar el vuelo. «I'M SAFE» es un código mnemotécnico para recordar los 6 elementos de la *checklist*:

I. Enfermedad («Illness»): ciertas enfermedades comunes como resfriados o alergias pueden provocar malestar en el piloto, como por ejemplo dolor de cabeza o irritación en los ojos, factores que pueden terminar afectando a la seguridad de la operación. El piloto solo llevará a cabo el vuelo si ha evaluado su aptitud física y considera que se encuentra en una condición lo suficientemente óptima como para garantizar que la enfermedad no afectará a su rendimiento.

M. Medicación: en las situaciones en que el piloto está enfermo, es habitual el uso de medicación. El piloto debe evaluar si dicha medicación puede causar algún tipo de deterioro físico o mental que pueda reducir su rendimiento durante el vuelo y poner en peligro la operación.

S. Estrés («Stress»): un bajo nivel de estrés suele ser beneficioso, puesto que mantiene al piloto alerta frente a situaciones de riesgo (este tipo de estrés se conoce como «eustrés» o «estrés bueno»). No obstante, altos niveles de estrés pueden mermar la capacidad de reacción y el comportamiento general del piloto. Por tanto, este debería ser capaz de valorar su nivel máximo aceptable de estrés y no rebasarlo durante la operación.

A. Alcohol: el consumo de alcohol y/o sustancias psicoactivas no es compatible con la realización de operaciones UAS, puesto que afectan al cerebro, psicomotricidad, sistema auditivo, vista y al juicio del piloto.

F. Fatiga: la fatiga es un factor difícil de caracterizar, puesto que a cada persona le afecta de forma distinta. Ciertos individuos pueden trabajar correctamente con pocas horas de sueño, mientras que otros necesitan al menos 8 o 9 horas de descanso. Cada piloto UAS es responsable de conocer sus limitaciones y no sobrepasarlas. Por otra parte, también debería existir una regulación sobre las horas máximas de pilotaje que se pueden realizar cada día y cada semana.

E. Emociones: los pilotos UAS deberían preguntarse si el estado mental en el que se encuentran antes del vuelo es estable. Ciertos sucesos de gran intensidad emocional (como la pérdida de un familiar cercano, por ejemplo) pueden afectar al rendimiento del piloto, especialmente en situaciones de estrés.

Por último, es necesario indicar que todo piloto UAS que quiera obtener la licencia y habilitación necesaria para llevar a cabo operaciones con drones pesados (de más de 25 kg) deberá disponer del certificado médico de Clase 2 (MED.A.030 del Reglamento (UE) 1178/2011), según AESA [40].

3.5. Análisis de riesgos

En este apartado se realiza un análisis de los riesgos asociados a la operación y se proponen métodos para reducirlos.

Según el Manual de Gestión de la Seguridad Operacional (Doc. 9859) [41], «la seguridad operacional es el estado en que los riesgos asociados a las actividades relativas a la operación de aeronaves se reducen y controlan a un nivel aceptable». Un asunto está relacionado con la seguridad si:

- Hay daños reales o potenciales.
- Las personas pueden verse afectadas por ese daño, ya sea de manera directa o indirecta.

La seguridad debe ser el objetivo prioritario a la hora de planificar y llevar a cabo operaciones aéreas, puesto que se ponen en juego vidas humanas. Las operaciones con drones en entornos urbanos no son una excepción y se deben realizar rigurosos análisis de riesgos y estudios de seguridad con la intención de reducir el número de incidentes y de accidentes y así garantizar la integridad de tanto las personas que están involucradas en la operación como de las que no lo están.

Uno de los modelos que se utiliza para estudiar la causalidad de los accidentes es el modelo del «queso suizo» o modelo de Reason. Este modelo ilustra que los accidentes suceden debido a penetraciones sucesivas de las defensas del sistema. Estas brechas se pueden generar por diversos motivos, como fallas en los equipos o errores humanos. Las «capas de defensa» son conocidas como barreras. En sistemas complejos —como, por ejemplo, la red de transporte aéreo— es difícil que un solo error provoque un accidente, puesto que existen múltiples barreras de protección. Los accidentes suceden, por norma general, debido a un cúmulo de errores. Las brechas en las defensas del sistema pueden ser consecuencia de decisiones tomadas a alto nivel, que permanecen latentes hasta que sus efectos se activan por ciertas condiciones operacionales, conocidas como condiciones latentes. El modelo de Reason asegura que todos los accidentes incluyen una combinación de condiciones latentes y fallas activas.

Las fallas activas se relacionan con las acciones o medidas (tomadas o no tomadas) que tienen efectos inmediatos sobre el transcurso de la operación. Estas fallas se asocian con el personal en primera línea, como podrían ser pilotos UAS, controladores del espacio aéreo, mecánicos encargados del mantenimiento de las aeronaves, etc. Ciertas fallas activas pueden conducir inmediatamente a un accidente.

Por otro lado, las consecuencias de las condiciones latentes suelen permanecer ocultas durante largos períodos de tiempo. Las condiciones latentes pueden ser ocasionadas, por ejemplo, por una mala cultura de seguridad, por una falta de rigor en los protocolos, por decisiones erróneas y precipitadas tomadas durante la planificación de la operación, por metas institucionales en conflicto, etc. En un principio, pueden parecer inofensivas y ser toleradas por la empresa, pero con el paso del tiempo ocasionan accidentes que podrían haber sido evitados con facilidad.

En la Fig. 3.13 se ilustra el modelo de Reason. Se observan cuatro capas distintas, que representan las barreras o defensas del sistema. Normalmente, cada capa de defensa presenta varias debilidades, representadas por los agujeros en las «rebanadas de queso suizo». Cuando los puntos débiles se alinean, se produce una brecha que penetra todas las barreras y que puede provocar un accidente catastrófico. Uno de los objetivos de la seguridad operacional es tratar de minimizar el número de puntos débiles de las barreras y asegurar que estos no se encuentren «alineados».

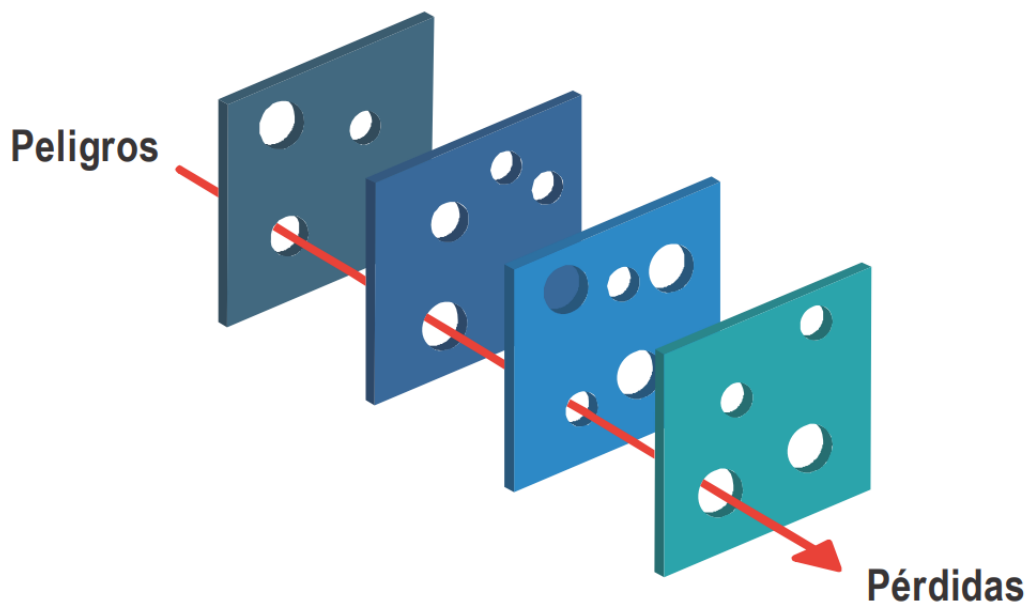


Fig. 3.13 Representación del modelo de Reason [41]

Cualquier operación UAS en categoría certificada requiere de una autorización operacional emitida por parte de la autoridad aeronáutica. Si la operación no cumple con una evaluación de riesgos predefinida (PDRA) publicada por EASA, entonces se deberá proporcionar, entre otros documentos, una evaluación del riesgo de la operación.

Existen distintas metodologías para la evaluación de riesgos, pero AESA recomienda las dos que se exponen a continuación.

3.5.1 Metodología SORA

Specific Operations Risk Assessment (SORA) es una metodología desarrollada por la *Joint Authorities for Rulemaking for Unmanned Systems* (JARUS) utilizada a nivel internacional para realizar análisis de riesgos de operaciones UAS en categoría específica.

Esta metodología define el riesgo como una combinación de la severidad asociada al riesgo y su probabilidad de ocurrencia. Concretamente, la filosofía de esta metodología se basa en el análisis de los riesgos en tierra,

caracterizados por su *Ground Risk Class* (GRC), y de los riesgos en el aire, caracterizados por su *Air Risk Class* (ARC). A partir del valor de estos índices se categoriza el riesgo asociado en seis *Specific Assurance and Integrity Levels* (SAIL). Los niveles SAIL representan el nivel de confianza en que la operación UAS se mantendrá bajo control. SORA permite a los operadores utilizar ciertas barreras o medidas de mitigación para reducir tanto el GRC como el ARC y así reducir también el SAIL. El paso final del proceso es evaluar las defensas a las posibles amenazas dentro de la operación utilizando los Objetivos de Seguridad Operacional (OSO) y su nivel de robustez, dependiendo del SAIL.

A continuación, se enumeran los pasos de la metodología:

1. Descripción del Concepto de Operaciones (ConOps).
2. Determinación del GRC inicial.
3. Determinación de las barreras que reducen el daño y que modifican el GRC inicial.
4. Determinación de la letalidad.
5. Determinación del SAIL.
6. Determinación de la categoría de encuentros en un espacio aéreo.
7. Determinación del ARC inicial.
8. Establecimiento de medidas de mitigación.
9. Identificación de barreras recomendadas frente a amenazas.
10. Comprobación final.

Para obtener información más detallada sobre la metodología SORA, leer el manual realizado por JARUS [42]. Puesto que esta metodología está diseñada para operaciones en categoría específica y la operación considerada en este proyecto se encuentra dentro de la categoría certificada, se va a utilizar el segundo método recomendado para evaluar los riesgos.

3.5.2 Metodología de la matriz de riesgos

La aplicación de esta metodología implica la identificación de los peligros, el análisis de los riesgos, su clasificación dependiendo de la probabilidad de ocurrencia y la severidad y la identificación de posibles medidas de mitigación [43]. Estas actividades se recogen en los tres pasos presentados a continuación.

3.5.2.1 Identificación de los peligros

El primer paso es identificar aquellas situaciones o condiciones que pueden ocasionar sucesos que produzcan lesiones a las personas o daños materiales (a instalaciones, equipamientos, etc.).

En la Tabla 3.2 se muestran los peligros identificados durante la operación UAM planteada en este proyecto. Se ha realizado una clasificación en tres áreas distintas: peligros relacionados con problemas técnicos, con condiciones operacionales y con los factores humanos (personal).

Área	n.º	Peligros
Problemas técnicos	1	El aviso de nivel de batería mínimo no se muestra en pantalla.
	2	Fluctuación considerable del nivel de batería durante el vuelo.
	3	Fallo en el hardware o software de control de la aeronave.
	4	La batería del mando de control del UAS se agota.
	5	La batería del vehículo se agota durante el vuelo.
	6	Calentamiento excesivo de alguno de los motores eléctricos, fallo en su funcionamiento y pérdida de sus características o inoperatividad.
	7	Pérdida del radioenlace.
	8	Se pierde el número de satélites GPS mínimo establecido por el fabricante para mantener la seguridad del vuelo.
	9	Daños estructurales en el vehículo no apercibidos durante el mantenimiento.
	10	No se lleva un control del número de ciclos de la batería de la aeronave.
	11	Pérdida de la carga de pago debido a una mala sujeción del compartimento de carga.

Condiciones operacionales	12	La operación se inicia en condiciones meteorológicas adversas.
	13	Las condiciones meteorológicas empeoran durante el vuelo, aumentando la probabilidad de situaciones de emergencia.
	14	Colisión entre el vehículo y una o varias aves.
	15	La aeronave excede los 400 ft de altura sobre el terreno.
	16	La aeronave colisiona con un obstáculo.
	17	La trayectoria de vuelo coincide con la de otra aeronave.
Factores humanos	18	El piloto UAS está enfermo en el momento de la operación.
	19	El piloto UAS toma algún tipo de medicación que puede mermar su aptitud durante el desarrollo de la operación.
	20	El piloto UAS está sometido a altos niveles de estrés o fatiga en el momento de la operación.
	21	El piloto UAS es distraído durante el vuelo del dron por factores externos.
	22	Uno o varios miembros del personal no conocen o no tienen claras sus funciones.

Tabla 3.2 Clasificación de los distintos peligros presentes durante la operación

En algunos casos, los peligros expuestos en la tabla anterior pueden tener consecuencias directas sobre la operación, que posiblemente deriven en incidentes o accidentes. En la Tabla 3.3 se han identificado dichas consecuencias.

Área	n.º	Consecuencia del peligro
Problemas técnicos	1	La operación no se interrumpe por falta de batería en la aeronave, por lo que, cuando esta se agote, puede acabar perdiendo el control y caer sobre el terreno.

	2	El piloto no conoce el nivel real de batería del dron (error en el <i>display</i>); o la batería está defectuosa. En ambos casos es peligroso continuar con la operación puesto que la aeronave puede acabar perdiendo el control.
	3	Las acciones del piloto no tienen efecto sobre el control del UAS. Se pierde el control de la aeronave.
	4	Se pierde el control de la aeronave mientras el mando se encuentre sin batería.
	5	Pérdida de control de la aeronave, los motores se apagan y el vehículo cae sobre el terreno.
	6	Desequilibrio de fuerzas, pérdida de control de la aeronave (fallo motor).
	7	Pérdida de control de la aeronave.
	8	Con menos satélites disponibles, aumenta la imprecisión y la incertidumbre en la posición. Si se pierde por completo la señal GPS, se desconocerá la posición de la aeronave.
	9	Los daños pueden afectar a la aerodinámica del vehículo, por lo que puede perder el control.
	10	No se conoce la vida de la batería. Con el tiempo, se puede descargar más rápidamente y se reduce su capacidad. Posibilidad de agotamiento de la carga en pleno vuelo con caída incontrolada.
	11	La carga de pago cae sobre el terreno, pudiendo impactar contra alguna persona.
Condiciones operacionales	12	Fuertes rachas de viento pueden desestabilizar la aeronave.
	13	Fuertes rachas de viento pueden desestabilizar la aeronave.
	14	La aeronave puede perder el control y caer sobre el terreno.
	15	El UAS puede colisionar con una aeronave de la aviación general.
	16	La aeronave cae sobre el terreno.

	17	Puede producirse un conflicto y una posible colisión entre UAS.
Factores humanos	18	Las capacidades del piloto se ven mermadas, por lo que podría tener efectos sobre el tiempo de reacción y la toma de decisiones. En caso de desmayo se perdería el control del UAS.
	19	Las capacidades del piloto se ven mermadas, por lo que podría tener efectos sobre el tiempo de reacción y la toma de decisiones. En caso de desmayo se perdería el control del UAS.
	20	Las capacidades del piloto se ven mermadas, por lo que podría tener efectos sobre el tiempo de reacción y la toma de decisiones. En caso de desmayo se perdería el control del UAS.
	21	Pérdida momentánea del control y la monitorización de la aeronave.
	22	Disminuyen tanto el rendimiento de los trabajadores como la organización del departamento de operaciones aéreas.

Tabla 3.3 Consecuencias de los peligros identificados

Hasta el momento, únicamente se han discutido los peligros de la operación. Según el Anexo 19 de OACI [44], el riesgo de seguridad operacional es «la probabilidad y la severidad previstas de las consecuencias o resultados de un peligro». A continuación, se tratará de asignar una probabilidad de ocurrencia y una severidad a cada uno de los peligros, para caracterizar así los riesgos de la operación.

3.5.2.2 Clasificación de probabilidad y severidad. Matriz de tolerabilidad

La probabilidad de que un incidente o accidente suceda se puede determinar tanto de forma cualitativa como cuantitativa. No obstante, es conveniente aclarar que la ocurrencia de ciertos incidentes o accidentes debidos a algunos de los peligros expuestos en el apartado anterior es escasa o, directamente, no se tiene constancia de que hayan sucedido. Además, hay que tener en cuenta que las operaciones con drones son relativamente recientes, es decir, no hay un registro o base de datos sobre accidentes pasados que permita realizar un análisis cuantitativo de la probabilidad de ocurrencia o de la severidad (a diferencia de la

aviación convencional, de la que disponemos de más datos sobre incidentes y accidentes). Por tanto, en la mayoría de casos, se deberá aplicar la experiencia previa para realizar un juicio sobre la probabilidad y la severidad de los riesgos, es decir, un análisis cualitativo.

En función de las veces que se espera que ocurra un riesgo, se ha establecido la clasificación de la Tabla 3.4.

Probabilidad	Significado	Valor
Frecuente	Probable que ocurra muchas veces. Se tiene constancia de que ha ocurrido con frecuencia en otras operaciones UAS.	5
Ocasional	Probable que ocurra a veces. Ha sucedido de forma poco frecuente en otras operaciones UAS.	4
Remota	Improbable que ocurra. Rara vez ha sucedido en otras operaciones UAS.	3
Improbable	Es muy poco probable que ocurra. No se sabe que haya sucedido en otras operaciones UAS.	2
Sumamente improbable	Es casi inconcebible que ocurra. Nunca ha sucedido en ninguna operación UAS ni parece posible que suceda.	1

Tabla 3.4 Clasificación de la probabilidad de ocurrencia de los riesgos [41]

El siguiente paso es determinar las consecuencias de los riesgos, esto es, su severidad. De nuevo, se realizará un análisis cualitativo por falta de datos de incidentes y accidentes en operaciones UAS. La clasificación de los niveles de severidad se muestra en la Tabla 3.5.

Severidad	Significado	Valor
Catastrófico	Provoca una o varias muertes, daños materiales considerables, grandes pérdidas financieras y repercusión internacional.	A
Peligroso	Provoca lesiones graves, daños importantes al equipo, pérdidas financieras severas e impacto nacional.	B

Grave	Provoca lesiones y hay una reducción importante de los márgenes de seguridad operacional.	C
Leve	Incidente leve, necesidad de activar procedimientos de emergencia, impacto limitado.	D
Insignificante	Pocas consecuencias, incidente sin impacto.	E

Tabla 3.5 Clasificación de la severidad de los riesgos [41]

Una vez establecidas la probabilidad y la severidad de los riesgos asociados a los peligros identificados por el operador UAS, se debe determinar la tolerabilidad de dichos riesgos. Para ello, se define la matriz de tolerabilidad, donde se observa la aceptabilidad de los riesgos en función de su probabilidad y severidad. Los riesgos se evalúan como aceptables, tolerables o intolerables.

Los riesgos intolerables son aquellos inaceptables en cualquier circunstancia. La combinación de la probabilidad y severidad del suceso es de tal magnitud que se requieren medidas de mitigación inmediatas, puesto que suponen una gran amenaza a la seguridad.

Los riesgos que se encuentran en la región tolerable son aceptables siempre que el operador trate de implementar ciertas medidas de mitigación. Estas estrategias de mitigación trasladarán el riesgo a la región aceptable, donde idealmente deberían encontrarse todos los riesgos.

Los riesgos evaluados como aceptables no requieren ninguna acción para mantener la probabilidad y/o severidad de las consecuencias de los peligros bajo una situación de control.

En la Tabla 3.6 se muestra la matriz de tolerabilidad, detallando las regiones intolerables, tolerables y aceptables en función de la probabilidad de ocurrencia y de la severidad de las consecuencias de los peligros.

PROBABILIDAD SEVERIDAD	Sum. im. (1)	Improb. (2)	Remota (3)	Ocas. (4)	Frec. (5)
Catastrófico (A)	TOL. (1A)	TOL. (2A)	INTOL. (3A)	INTOL. (4A)	INTOL. (5A)
Peligroso (B)	ACEPT. (1B)	TOL. (2B)	TOL. (3B)	INTOL. (4B)	INTOL. (5B)
Grave (C)	ACEPT. (1C)	TOL. (2C)	TOL. (3C)	TOL. (4C)	INTOL. (5C)
Leve (D)	ACEPT. (1D)	ACEPT. (2D)	TOL. (3D)	TOL. (4D)	TOL. (5D)
Insignificante (E)	ACEPT. (1E)	ACEPT. (2E)	ACEPT. (3E)	TOL. (4E)	TOL. (5E)

Tabla 3.6 Matriz de riesgos de seguridad operacional

En la Tabla 3.7 se recogen todos los peligros identificados durante la operación junto a sus consecuencias, así como su probabilidad de ocurrencia y severidad. Esto es, se muestran los riesgos operacionales.

n.º	Peligro	Consecuencias	P	S	T
1	El aviso de nivel de batería mínimo no se muestra en pantalla.	La operación no se interrumpe por falta de batería en la aeronave, por lo que, cuando esta se agote, puede acabar perdiendo el control y caer sobre el terreno.	Remota = 3	Catastr. = A	Intolerable 3A
2	Fluctuación considerable del nivel de batería durante el vuelo.	El piloto no conoce el nivel real de batería del dron (error en el <i>display</i>); o la batería está defectuosa. En ambos casos es peligroso continuar con la operación puesto que la aeronave puede acabar perdiendo el control.	Improbable = 2	Catastr. = A	Tolerable 2A

n.º	Peligro	Consecuencias	P	S	T
3	Fallo en el hardware o software de control de la aeronave.	Las acciones del piloto no tienen efecto sobre el control del UAS. Se pierde el control de la aeronave.	Remota = 3	Catastr. = A	Intolerable 3A
4	La batería del mando de control del UAS se agota.	Se pierde el control de la aeronave mientras el mando se encuentre sin batería.	Remota = 3	Catastr. = A	Intolerable 3A
5	La batería del vehículo se agota durante el vuelo.	Los motores se apagan, se pierde el control de la aeronave y esta cae sobre el terreno.	Remota = 3	Catastr. = A	Intolerable 3A
6	Calentamiento excesivo de alguno de los motores eléctricos, fallo en su funcionamiento y pérdida de sus características o inoperatividad.	Desequilibrio de fuerzas, pérdida de control de la aeronave (fallo motor).	Remota = 3	Grave = C	Tolerable 3C
7	Pérdida del radioenlace.	Pérdida de control de la aeronave.	Ocasional = 4	Peligr. = B	Intolerable 4B
8	Se pierde el número de satélites GPS mínimo establecido por el fabricante para mantener la seguridad del vuelo.	Con menos satélites disponibles, aumenta la imprecisión y la incertidumbre en la posición. Si se pierde por completo la señal GPS, se desconocerá la posición de la aeronave.	Frecuente = 5	Peligr. = B	Intolerable 5B

n.º	Peligro	Consecuencias	P	S	T
9	Daños estructurales en el vehículo no apercibidos durante el mantenimiento.	Los daños pueden afectar a la aerodinámica del vehículo, por lo que puede perder el control.	Impr. = 2	Leve = D	Aceptable 2D
10	No se lleva un control del número de ciclos de la batería de la aeronave.	No se conoce la vida de la batería. Con el tiempo, se puede descargar más rápidamente y se reduce su capacidad. Posibilidad de agotamiento de la carga en pleno vuelo con caída incontrolada.	Frecuente = 5	Peligr. = B	Intolerable 5B
11	Pérdida de la carga de pago debido a una mala sujeción del compartimento de carga.	La carga de pago cae sobre el terreno, pudiendo impactar contra alguna persona.	Remota = 3	Catastr. = A	Intolerable 3A
12	La operación se inicia en condiciones meteorológicas adversas.	Fuertes rachas de viento pueden desestabilizar la aeronave.	Remota = 3	Grave = C	Tolerable 3C
13	Las condiciones meteorológicas empeoran durante el vuelo, aumentando la probabilidad de situaciones de emergencia.	Fuertes rachas de viento pueden desestabilizar la aeronave.	Remota = 3	Grave = C	Tolerable 3C
14	Colisión entre el vehículo y una o varias aves.	La aeronave puede perder el control y caer sobre el terreno.	Ocasional = 4	Catastr. = A	Intolerable 4A

n.º	Peligro	Consecuencias	P	S	T
15	La aeronave excede los 400 ft de altura sobre el terreno.	El UAS puede colisionar con una aeronave de la aviación general.	Remota = 3	Catastr. = A	Intolerable 3A
16	La aeronave colisiona con un obstáculo.	La aeronave cae sobre el terreno.	Remota = 3	Catastr. = A	Intolerable 3A
17	La trayectoria de vuelo coincide con la de otra aeronave.	Puede producirse un conflicto y una posible colisión entre UAS.	Ocasional = 4	Catastr. = A	Intolerable 4A
18	El piloto UAS está enfermo en el momento de la operación.	Las capacidades del piloto se ven mermadas, por lo que podría tener efectos sobre el tiempo de reacción y la toma de decisiones. En caso de desmayo se perdería el control del UAS.	Improbable = 2	Leve = D	Aceptable 2D
19	El piloto UAS toma algún tipo de medicación que puede mermar su aptitud durante el desarrollo de la operación.	Las capacidades del piloto se ven mermadas, por lo que podría tener efectos sobre el tiempo de reacción y la toma de decisiones. En caso de desmayo se perdería el control del UAS.	Improbable = 2	Leve = D	Aceptable 2D
20	El piloto UAS está sometido a altos niveles de estrés o fatiga en el momento de la operación.	Las capacidades del piloto se ven mermadas, por lo que podría tener efectos sobre el tiempo de reacción y la toma de decisiones. En caso de desmayo se perdería el control del UAS.	Ocasional = 4	Leve = D	Tolerable 4D

n.º	Peligro	Consecuencias	P	S	T
21	El piloto UAS es distraído durante el vuelo del dron por factores externos.	Pérdida momentánea del control y la monitorización de la aeronave.	Ocasional = 4	Leve = D	Tolerable 4D
22	Uno o varios miembros del personal no conocen o no tienen claras sus funciones.	Disminuyen tanto el rendimiento de los trabajadores como la organización del departamento de operaciones aéreas.	Ocasional = 4	Insign. = E	Tolerable 4E

Tabla 3.7 Peligros y consecuencias junto a su probabilidad de ocurrencia y severidad

Como se puede observar, hay un total de 12 riesgos en la región «intolerable», 7 en la región «tolerable» y 3 en la región «aceptable».

Tras realizar el análisis de los riesgos, el operador UAS debe introducir barreras y medidas de mitigación para reducir tanto la severidad como la probabilidad de ocurrencia. El objetivo principal es el de trasladar los riesgos intolerables a la región tolerable o aceptable.

3.5.2.3 Mitigación de riesgos

El último paso es el de plantear posibles barreras para minimizar la probabilidad de ocurrencia de los incidentes o accidentes y medidas de mitigación para, en caso de incidente o accidente, reducir las consecuencias o severidad de los riesgos.

En la Tabla 3.8 se muestran las barreras y medidas de mitigación propuestas para reducir los riesgos identificados anteriormente, junto con los nuevos niveles de probabilidad de ocurrencia y severidad.

n.º	Peligro	Barrera / medida mitigación	P	S	T
1	El aviso de nivel de batería mínimo no se muestra en pantalla.	Funcionalidad de la aeronave: cuando se alcanza el nivel mínimo de batería, ejecuta una maniobra de emergencia y aterriza automáticamente en un punto seguro preestablecido. Se reduce la severidad del riesgo.	Remota = 3	Leve = D	Tolerable 3D
2	Fluctuación considerable del nivel de batería durante el vuelo.	Funcionalidad de la aeronave: cuando se detecta una fluctuación anómala en el nivel de batería, ejecuta una maniobra de emergencia y aterriza automáticamente en un punto seguro preestablecido. Se reduce la severidad del riesgo.	Improbable = 2	Leve = D	Aceptable 2D
3	Fallo en el hardware o software de control de la aeronave.	Funcionalidad de la aeronave: el piloto UAS puede activar el modo autónomo de la aeronave, por lo que esta puede llegar a destino aunque el hardware o software de control falle. Se reduce la severidad del riesgo.	Remota = 3	Leve = D	Tolerable 3D
4	La batería del mando de control del UAS se agota.	(a) Revisar que la batería del mando esté completamente cargada antes del vuelo. Se reduce la probabilidad del riesgo.	Sum. impr. = 1	Catastr. = A	Tolerable 1A
		(b) Además de lo anterior, introducir una funcionalidad en la aeronave que active el modo autónomo si detecta que el mando de control se ha quedado sin batería. Se reduce la severidad del riesgo.	Sum. impr. = 1	Leve = D	Aceptable 1D

n.º	Peligro	Barrera / medida mitigación	P	S	T
5	La batería del vehículo se agota durante el vuelo.	Instalación de un sistema de reducción de la energía de impacto (<i>airbag</i> o paracaídas; obligatorio en operaciones urbanas: ver Real Decreto 1036/2017). Se reduce la severidad del riesgo.	Remota = 3	Grave = C	Tolerable 3C
6	Calentamiento excesivo de alguno de los motores eléctricos, fallo en su funcionamiento y pérdida de sus características o inoperatividad.	Realizar un aterrizaje de emergencia en una localización preestablecida, incluida en el Manual de Operaciones. Se reduce la severidad del riesgo.	Remota = 3	Leve = D	Tolerable 3D
7	Pérdida del radioenlace.	Funcionalidad de la aeronave: cuando se pierde el radioenlace, se activa el modo autónomo. Se reduce la severidad del riesgo.	Ocasional = 4	Leve = D	Tolerable 4D
8	Se pierde el número de satélites GPS mínimo establecido por el fabricante para mantener la seguridad del vuelo.	(a) Funcionalidad de la aeronave: cuando se pierde la señal GPS, el vehículo vuelve a casa, realiza un vuelo estacionario o un aterrizaje de emergencia. Se reduce la severidad del riesgo.	Frecuente = 5	Leve = D	Tolerable 5D
		(b) Control posicional de emergencia no basado en GPS. Se reduce la severidad del riesgo.	Frecuente = 5	Insign. = E	Tolerable 5E
9	Daños estructurales en el vehículo no apercibidos durante el mantenimiento.	-	Improbable = 2	Leve = D	Aceptable 2D

n.º	Peligro	Barrera / medida mitigación	P	S	T
10	No se lleva un control del número de ciclos de la batería de la aeronave.	Registro del número de cargas de la batería y comprobación semanal del tiempo de descarga para identificar pérdidas funcionales. Se reduce la probabilidad del riesgo.	Improbable = 2	Peligr. = B	Tolerable 2B
11	Pérdida de la carga de pago debido a una mala sujeción del compartimento de carga.	Instalación de un sistema de reducción de la energía de impacto en el compartimento de carga. Se reduce la severidad del riesgo.	Remota = 3	Grave = C	Tolerable 3C
12	La operación se inicia en condiciones meteorológicas adversas.	Disponer de un servicio meteorológico detallado y fiable. No iniciar la operación en condiciones desfavorables. Se reduce la probabilidad del riesgo.	Improbable = 2	Grave = C	Tolerable 2C
13	Las condiciones meteorológicas empeoran durante el vuelo, aumentando la probabilidad de situaciones de emergencia.	Disponer de un servicio meteorológico detallado y fiable. Realizar un aterrizaje de emergencia en caso de que las condiciones se vuelvan desfavorables. Se reduce la severidad del riesgo.	Remota = 3	Leve = D	Tolerable 3D
14	Colisión entre el vehículo y una o varias aves.	Estudiar el movimiento de aves e instalar un sistema de reducción de la energía de impacto. Se reduce la severidad del riesgo.	Ocasional = 4	Grave = C	Tolerable 4C
15	La aeronave excede los 400 ft de altura sobre el terreno.	Funcionalidad de la aeronave: instalar un limitador de altura que impida que la aeronave supere el límite vertical del espacio aéreo U-Space. Se reduce la probabilidad del riesgo.	Sum. impr. = 1	Catastr. = A	Tolerable 1A

n.º	Peligro	Barrera / medida mitigación	P	S	T
16	La aeronave colisiona con un obstáculo.	Realizar un estudio detallado sobre los obstáculos en tierra e instalar un sistema de reducción de la energía de impacto. Se reduce la severidad del riesgo.	Remota = 3	Grave = C	Tolerable 3C
17	La trayectoria de vuelo coincide con la de otra aeronave.	(a) Disponer de un servicio de resolución de conflictos de forma estratégica y también táctica. Se reduce la probabilidad del riesgo.	Improbable = 2	Catastr. = A	Tolerable 2A
		(b) Además de lo anterior, instalar un sistema de reducción de la energía de impacto. Se reduce la severidad del riesgo.	Improbable = 2	Grave = C	Tolerable 2C
18	El piloto UAS está enfermo en el momento de la operación.	Realizar breves inspecciones médicas antes del vuelo o que el propio piloto informe de que no se encuentra en condiciones de realizar el vuelo y se le asigne un sustituto. Se reduce la probabilidad del riesgo.	Sum. impr. = 1	Leve = D	Aceptable 1D
19	El piloto UAS toma algún tipo de medicación que puede mermar su aptitud durante el desarrollo de la operación.	Los pilotos UAS no pueden tomar ciertos fármacos. Consultar los requisitos médicos y en caso de que el piloto no los cumpla, asignar un sustituto para la operación. Se reduce la probabilidad del riesgo.	Sum. impr. = 1	Leve = D	Aceptable 1D
20	El piloto UAS está sometido a altos niveles de estrés o fatiga en el momento de la operación.	Someter al piloto a tratamientos no farmacológicos personalizados o reducir su carga de trabajo, asegurando que se encuentra en las condiciones óptimas para realizar el vuelo. Se reduce la probabilidad del riesgo.	Improbable = 2	Leve = D	Aceptable 2D

n.º	Peligro	Barrera / medida mitigación	P	S	T
21	El piloto UAS es distraído durante el vuelo del dron por factores externos.	Si se estima necesario, disponer de un copiloto. Se reduce la probabilidad del riesgo.	Improbable = 2	Leve = D	Aceptable 2D
22	Uno o varios miembros del personal no conocen o no tienen claras sus funciones.	Mejorar el proceso de formación del personal, realizar campañas de concienciación, asignar tareas concretas y realizar reuniones para preparar la operación. Se reduce la probabilidad del riesgo.	Improbable = 2	Insign. = E	Aceptable 2E

Tabla 3.8 Barreras y medidas de mitigación para los riesgos, junto con sus nuevos niveles de severidad y probabilidad de ocurrencia

Tras introducir las barreras y las medidas de mitigación, se han conseguido eliminar los riesgos intolerables. Ahora, la mayoría de riesgos se encuentran en la región tolerable y aceptable y se ha minimizado la posibilidad de que la seguridad se vea afectada durante la operación.

Es necesario apuntar que la implementación de algunas de las barreras y medidas de mitigación propuestas pueden suponer un reto a día de hoy, como por ejemplo el modo de vuelo autónomo cuando se pierde el radioenlace entre la aeronave y la estación terrena o el uso del servicio de resolución de conflictos de forma táctica para evitar colisiones entre drones. A medida que el sector de las operaciones UAS avance, se verá si estas medidas son alcanzables o bien será necesario buscar alternativas.

Por último, se va a realizar un análisis detallado de las barreras y medidas de mitigación propuestas, para prever su implantación y evaluar su efecto. Primero, se identificará la entidad responsable de implementar la medida (por ejemplo, el mismo operador, un proveedor externo o el fabricante del UAS). Después se señalarán las posibles dificultades o problemas que pueden surgir a la hora de implantar la medida, en caso de que los haya. A continuación, se estimará un plazo de aplicación, distinguiendo entre:

1. Largo plazo: del orden de varios meses.
2. Medio plazo: del orden de varias semanas.
3. Corto plazo: del orden de varios días, implementación prácticamente inmediata.

También se incluirá el seguimiento que se va a realizar para comprobar la eficiencia o efectividad de la medida y, finalmente, las condiciones que se definen para considerar que la medida está implantada y es efectiva. En la Tabla 3.9 se muestra dicho análisis de la implementación de las barreras y medidas de mitigación.

n.º	Respons.	Dificultades	Plazo	Seguimiento	Condiciones impl.
1	Fabricante UAS	El fabricante debe implementar la funcionalidad y el operador debe planificar la maniobra de emergencia. Se deben asignar puntos de aterrizaje alternativos para cada tramo del vuelo.	Largo plazo.	Período de prueba. Una vez implementada, la eficiencia se mide como el número de aterrizajes de emergencia satisfactorios entre el número total de veces que ocurrió la incidencia.	Se han realizado con éxito 3 aterrizajes de emergencia cuando el nivel de batería se encontraba por debajo del mínimo.
2	Fabricante UAS	El fabricante debe implementar la funcionalidad y el operador debe planificar la maniobra de emergencia. Se deben asignar puntos de aterrizaje alternativos para cada tramo del vuelo.	Largo plazo.	Período de prueba. Una vez implementada, la eficiencia se mide como el número de aterrizajes de emergencia satisfactorios entre el número total de veces que ocurrió la incidencia.	Se han realizado con éxito 3 aterrizajes de emergencia cuando se ha detectado una fluctuación anómala en el nivel de la batería.
3	Fabricante UAS	Se debe garantizar que se mantiene la seguridad operacional en modo autónomo.	Largo plazo.	Período de prueba. Una vez implementada, la eficiencia se mide con el número de incidentes por operación en modo autónomo.	El modo autónomo se ha activado con éxito 3 veces cuando el hardware o software de control ha fallado.

n.º	Respons.	Dificultades	Plazo	Seguimiento	Condiciones impl.
4a	Operador UAS	-	Corto plazo.	Incluir en la <i>checklist</i> de actividades a realizar antes del vuelo.	Ha transcurrido 1 mes desde que la medida se implementó.
4b	Fabricante UAS	Se debe garantizar que se mantiene la seguridad operacional en modo autónomo.	Largo plazo.	Período de prueba. Una vez implementada, la eficiencia se mide con el número de incidentes por operación en modo autónomo.	El modo autónomo se ha activado con éxito 3 veces cuando el mando de control se ha quedado sin batería.
5	Fabricante UAS	-	Medio plazo.	Período de prueba. Una vez implementada, se comprueba la eficiencia del dispositivo midiendo la energía de impacto en caso de accidente.	El dispositivo se ha desplegado correctamente 3 veces cuando la batería del UAS se ha agotado durante el vuelo.
6	Operador UAS	El operador debe planificar la maniobra de emergencia con fallo motor.	Medio plazo.	Período de prueba. La eficiencia se mide como el número de aterrizajes de emergencia satisfactorios entre el número total de veces que ocurrió la incidencia.	Se han realizado con éxito 3 aterrizajes de emergencia cuando ha habido un fallo motor.
7	Fabricante UAS	Se debe garantizar que se mantiene la seguridad operacional en modo autónomo.	Largo plazo.	Período de prueba. Una vez implementada, la eficiencia se mide con el número de incidentes por operación en modo autónomo.	El modo autónomo se ha activado con éxito 3 veces cuando se ha perdido el radioenlace.

n.º	Respons.	Dificultades	Plazo	Seguimiento	Condiciones impl.
8a	Fabricante UAS	Se debe garantizar que se mantiene la seguridad operacional en modo autónomo.	Corto plazo (ya incluida en la mayoría de UAS).	Período de prueba. La eficiencia se mide como el número de vueltas a casa / vuelos estacionarios / aterrizajes de emergencia con éxito entre el número total de veces que ocurrió la incidencia.	La medida ha funcionado con éxito un total de 3 veces.
8b	Fabricante UAS	Las prestaciones del sistema de posicionamiento alternativo deben ser iguales o mayores que las del GPS, para mantener la seguridad.	Largo plazo.	Período de prueba. La efectividad se mide teniendo en cuenta el número de veces que funcionó el sistema de posicionamiento alternativo tras pérdida de la señal GPS.	Han transcurrido 3 meses desde que el sistema de posicionamiento alternativo se implementó.
10	Operador UAS	-	Corto plazo.	Incluir en la <i>checklist</i> de actividades.	Ha transcurrido 1 mes desde que la medida se implementó.
11	Fabricante UAS	-	Medio plazo.	Período de prueba. Una vez implementada, se comprueba la eficiencia del dispositivo midiendo la energía de impacto en caso de accidente.	El dispositivo se ha desplegado con éxito 3 veces cuando el compartimento de carga se ha desprendido del vehículo.
12	Proveedor del servicio meteor.	La información meteorológica deberá proporcionarse a nivel hiperlocal.	Largo plazo.	Período de prueba. La eficiencia del servicio se mide teniendo en cuenta las diferencias entre las condiciones reales y las predichas.	Ha transcurrido 1 mes desde que la medida se implementó.

n.º	Respons.	Dificultades	Plazo	Seguimiento	Condiciones impl.
13	Proveedor del servicio meteor.	La información meteorológica deberá proporcionarse a nivel hiperlocal.	Largo plazo.	Período de prueba. Una vez implementada, la eficiencia se mide como el número de aterrizajes de emergencia satisfactorios entre el número total de veces que ocurrió la incidencia.	Se han realizado con éxito 3 aterrizajes de emergencia cuando las condiciones meteorológicas empeoraron.
14	Operador UAS	El comportamiento de las aves frente a los UAS no es predecible.	Medio plazo.	Período de prueba. Una vez implementada, se comprueba la eficiencia del dispositivo midiendo la energía de impacto en caso de accidente.	El dispositivo se ha desplegado con éxito 3 veces cuando ha habido una colisión contra un ave.
15	Fabricante UAS	-	Medio plazo.	Período de prueba. Se mide el número de veces que la aeronave superó los 400 ft una vez instalado el limitador.	Han transcurrido 3 meses desde que el limitador de altura se implementó.
16	Operador UAS	Es necesaria una base de datos con todos los obstáculos en el ámbito urbano.	Largo plazo.	Período de prueba. Una vez implementada, se comprueba la eficiencia del dispositivo midiendo la energía de impacto en caso de accidente.	El dispositivo se ha desplegado con éxito 3 veces cuando ha habido una colisión contra un obstáculo.
17a	Proveedor del servicio de resolución de conflictos	La herramienta de resolución de conflictos debe funcionar a tiempo real.	Largo plazo.	Período de prueba. Una vez implementada, se mide el número de conflictos evitados gracias a la herramienta.	Han transcurrido 3 meses desde que la herramienta se implementó.

n.º	Respons.	Dificultades	Plazo	Seguimiento	Condiciones impl.
17b	Fabricante UAS	-	Medio plazo.	Período de prueba. Una vez implementada, se comprueba la eficiencia del dispositivo midiendo la energía de impacto en caso de accidente.	El dispositivo se ha desplegado con éxito 3 veces cuando ha habido una colisión entre aeronaves.
18	Operador UAS	Se debe dimensionar la plantilla correctamente para disponer de pilotos de sustitución.	Corto plazo.	Seguimiento médico e historial de las patologías del piloto.	Ha transcurrido 1 mes desde que la medida se implementó.
19	Operador UAS	-	Corto plazo.	Se comprueba que el piloto cumple con los requisitos médicos, es decir, que está capacitado para realizar la operación.	Ha transcurrido 1 mes desde que la medida se implementó.
20	Operador UAS	Tratamiento individualizado según las necesidades de cada piloto.	Largo plazo.	Se comprueba que el piloto está satisfecho con el tratamiento o las nuevas condiciones de trabajo.	Han transcurrido 2 meses desde que la medida se implementó.
21	Operador UAS	La gestión de los recursos no es óptima.	Corto plazo.	Se comprueba que la colaboración del copiloto es útil.	Ha transcurrido 1 mes desde que la medida se implementó.
22	Operador UAS	Hay que establecer una estructura para sistematizar las tareas y funciones del personal.	Medio plazo.	Se realizan reuniones, las listas de actividades se rellenan a medida que se completan, se detallan las funciones de cada trabajador.	Las encuestas realizadas a los empleados sobre la organización de la empresa y la carga de trabajo son favorables.

Tabla 3.9 Análisis de la implementación de las barreras y las medidas de mitigación

3.6. Mantenimiento

Según el Reglamento de Ejecución (UE) 2019/947 [10], mantener el UAS en un estado adecuado y seguro para su funcionamiento es competencia del operador. Este mantenimiento dependerá de la categoría en la que se realice la operación; cuanto mayor sea su riesgo, más restrictivos serán los requisitos y más exhaustivo deberá ser.

Los requisitos de mantenimiento de la categoría certificada todavía se encuentran en proceso de definición por parte de EASA. Para la categoría específica se exige lo siguiente:

- Desarrollar instrucciones de mantenimiento del UAS para garantizar la seguridad de la operación e incluirlas en el MO (cubrirán, como mínimo, los requisitos de mantenimiento establecidos por el fabricante).
- Describir en el MO las competencias y responsabilidades del personal de mantenimiento.
- Llevar un registro de las cualificaciones del personal y sus cursos de formación completados durante al menos 3 años después de que hayan abandonado la organización o hayan cambiado de puesto. Registrar también las actividades de mantenimiento realizadas a los UAS durante al menos 3 años.
- Contar con una lista actualizada del personal de mantenimiento.

En cuanto a las instrucciones de mantenimiento proporcionadas por el fabricante del *YANGDA Sky Whale heavy-lift electric VTOL* [28], son las siguientes:

1. Asegúrese de que el voltaje de la batería LiPo no baja en ningún momento de los 21 V por unidad (42 V para dos unidades en serie).
2. Cuando vaya a guardar la batería, asegúrese de que se encuentra a 22.8 V (voltaje óptimo de almacenamiento, para garantizar la vida máxima de la batería). La temperatura ambiente debe ser de unos 20 °C.
3. Reemplace la batería cuando se observe que su superficie está hinchada o abombada (las baterías LiPo generan CO y CO₂ debido a la descomposición de la solución electrolítica).
4. Reemplace la batería después de 200 cargas y descargas (ciclos).
5. Antes de cada vuelo, compruebe que los tornillos que sujetan las hélices están correctamente atornillados.

Además de las recomendaciones del fabricante, el operador UAS puede establecer su propio programa de mantenimiento. Existen distintos manuales y guías para planificar el mantenimiento de los UAS, como por ejemplo la «Guía de mantenimiento y reparación de drones (RPAS)» [45]. Esta guía recoge distintos tipos de mantenimiento preventivos y correctivos, calendarios de revisiones, calibración de los elementos del sistema RPAS, resolución de averías frecuentes, etc., por lo que es un buen punto de partida para definir el programa de mantenimiento del UAS.

CAPÍTULO 4. REQUISITOS OPERATIVOS

En este capítulo se detallan los requisitos operativos de la empresa de logística encargada de la operación UAM. Esto es, se analizarán cuáles son sus necesidades como operador UAS para llevar a cabo la misión de forma satisfactoria.

4.1. Organización de la empresa

Toda empresa de logística cuenta con múltiples departamentos focalizados, cada uno de ellos, en dar solución a distintas necesidades corporativas. A modo de ejemplo, en una empresa de logística podría existir el departamento de gestión de las operaciones, el de marketing, el de seguridad, el de recursos humanos (RRHH), el financiero, etc. Debido a la introducción de las nuevas operaciones UAM, el departamento de gestión de las operaciones debería dividirse en dos: departamento de operaciones terrestres y departamento de operaciones aéreas. Desde este último se gestionarían las entregas de paquetes mediante UAS.

El departamento de operaciones aéreas se encargará de gestionar diversos tipos de operación, tanto en el ámbito urbano como en el ámbito rural. En este documento, únicamente se va a entrar en detalle en el tipo de operación descrito en el capítulo anterior, es decir, una entrega de paquetería entre dos vertipuertos en el AMB.

A su vez, dicho departamento estará dividido en varias unidades de trabajo, cada una con sus tareas y necesidades específicas. Se ha considerado que la oficina de operaciones aéreas contará con las unidades mostradas en la Fig. 4.1.

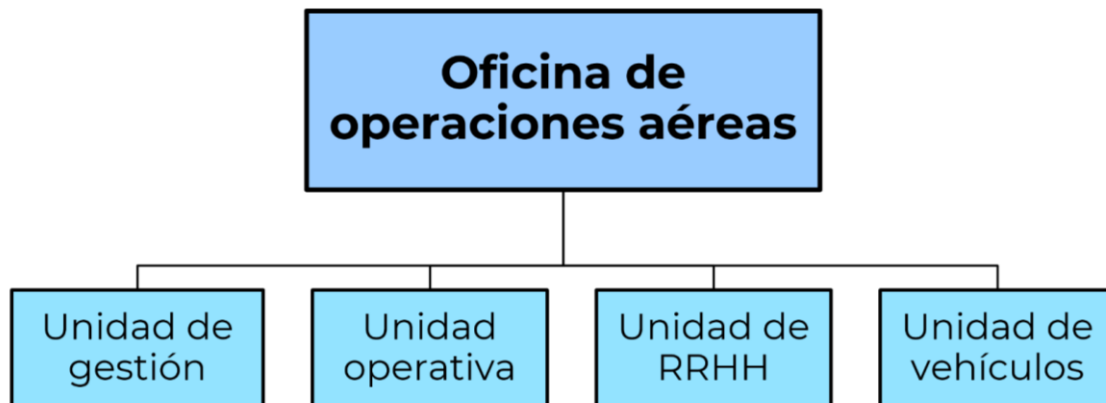


Fig. 4.1 Unidades del departamento de operaciones aéreas de la empresa de logística

Las competencias de cada unidad son las siguientes:

- Unidad de gestión: encargada de tomar decisiones, de realizar trámites y de gestionar la información que procede de las otras unidades.
- Unidad operativa: encargada de planificar las operaciones UAM, esto es, realizar análisis del entorno operativo, planificar rutas, comprobar el estado del espacio aéreo, etc.
- Unidad de RRHH: encargada de la gestión administrativa y selección del personal y de la planificación de la plantilla.
- Unidad de vehículos: encargada de la gestión de las aeronaves, así como de su revisión y mantenimiento.

4.2. Necesidades operativas

A la hora de realizar una operación UAM, el operador debe seguir una serie de pasos con el objetivo de garantizar la seguridad y el buen desarrollo del vuelo. Dependiendo del tipo de operación y del operador en cuestión, las necesidades pueden ser distintas —en el caso de este proyecto, se estudia una operación de transporte de paquetería en el ámbito urbano—. En este apartado se listan el conjunto de necesidades operativas desde el punto de vista de la empresa de logística, es decir, aquellos requisitos o condiciones necesarias que permiten realizar la operación bajo los estándares de calidad de la organización.

Toda operación UAM puede dividirse temporalmente en 3 fases: anterior al vuelo (*pre-flight*), en vuelo (*in-flight*) y posterior al vuelo (*post-flight*). A su vez, en la etapa de preparación del vuelo —la primera—, las actividades que se deben seguir se pueden clasificar en una fase estratégica, en una fase pre-táctica y en una fase táctica. También existe una etapa pre-operacional, en la que la empresa de logística debe ser habilitada como operador UAS. Dicha clasificación se ha basado en el Anexo L del concepto de operaciones del proyecto CORUS [1] y se puede observar de forma esquemática en la Fig. 4.2.

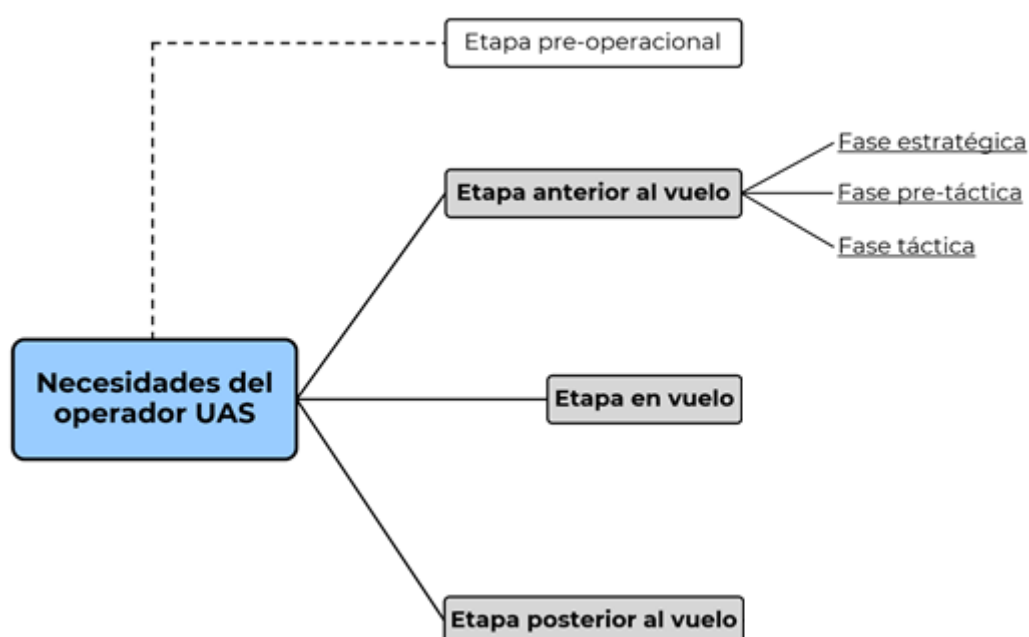


Fig. 4.2 Clasificación por etapas de los requisitos operativos necesarios para realizar una operación UAM

Para cada una de estas fases se van a listar los requisitos operativos de la oficina de operaciones aéreas. También se van a analizar las posibles interacciones entre unidades de trabajo haciendo uso de flujogramas o diagramas de flujo —esquemas que representan una serie de procesos o algoritmos—.

4.2.1 Etapa pre-operacional

Esta fase comienza cuando la empresa de logística decide entrar en el mercado de las operaciones UAM. No se discuten detalles de una operación en concreto, puesto que las actividades de la etapa pre-operacional son aquellas destinadas

a habilitar la empresa como operadora UAS, desde el punto de vista legal. En la Tabla 4.1 se listan las necesidades de oficina de operaciones aéreas en la etapa pre-operacional.

Requisito operativo	Descripción
Registro como operador UAS	En el artículo 14 del Reglamento (UE) 2019/947 [10] se establece que los operadores UAS que trabajen en categoría «específica» o superior deberán estar registrados en el sistema U-Space.
Formación y registro del piloto a distancia	El operador debe contratar y/o formar a uno o varios pilotos UAS para que cuenten con la licencia de vuelo acorde al tipo de operación que se realizará. Los pilotos UAS también serán registrados en el sistema U-Space.
Contratar seguro UAS	Según la normativa europea, «se debe tener contratada una póliza de seguro que cubra la responsabilidad civil frente a terceros por daños que puedan surgir durante la ejecución del vuelo». La empresa de logística deberá disponer de un seguro UAS adecuado.
Registro de aeronaves	La flota de UAS del operador debe ser registrada en el sistema U-Space. Para cada uno de estos drones, se introducirán datos como el modelo, fecha de adquisición, justificante de certificación, etc. El sistema devolverá un número de registro y un identificador único para la aeronave.

Tabla 4.1 Requisitos operativos en la etapa pre-operacional

Los dos objetivos principales de esta etapa son obtener el certificado de operador UAS en categoría específica o superior y contratar el seguro de responsabilidad civil de UAS. Estos requisitos son necesarios para realizar operaciones UAM.

Para obtener el certificado de operador UAS, es necesario registrarse en la sede electrónica de AESA [46]. Hay que introducir los datos administrativos de la empresa y, en el caso de que se vaya a operar en categoría específica o certificada, también es necesario introducir los datos sobre los pilotos a distancia

y la flota de UAS. Estos UAS deberán estar certificados por EASA y los pilotos deberán disponer de las licencias adecuadas.

Con el objetivo de establecer el número de pilotos que habrá que contratar y el número de UAS que habrá que adquirir, se redacta un informe de previsión de operaciones por parte de la unidad de gestión. Este informe, basado en los objetivos empresariales del departamento de operaciones aéreas, se realiza teniendo en cuenta el análisis del escenario operativo y la previsión del número de operaciones anuales hecho por la unidad operativa, el dimensionamiento de la plantilla hecho por la unidad de RRHH y el dimensionamiento de la flota de UAS hecho por la unidad de vehículos.

Con este informe en mano, se pueden contratar a los pilotos UAS y demás personal cualificado, que serán formados en caso de que sea necesario. También se tramitará el pedido de UAS al fabricante. Con todo esto, la unidad de gestión realizará los trámites pertinentes para que AESA otorgue el certificado de operador UAS (categoría certificada) a la empresa de logística.

A continuación, la unidad de gestión se pondría en contacto con una aseguradora UAS. Con los datos administrativos de la organización, el certificado de operador UAS, la ficha técnica de cada vehículo de la flota, el contrato de cada piloto a distancia y el informe de previsión de operaciones, se puede dar la información necesaria a la aseguradora para que esta proponga una oferta. Una vez se llegue a un acuerdo entre ambas partes, la empresa de logística dispondrá de su póliza de seguro de responsabilidad civil de UAS.

Con tal de representar los procesos que se acaban de explicar, se ha realizado un diagrama de flujo en el que se muestran las distintas actividades que debe realizar cada unidad, así como sus interacciones. En la Fig. 4.3 se puede observar el flujograma de la etapa pre-operacional.

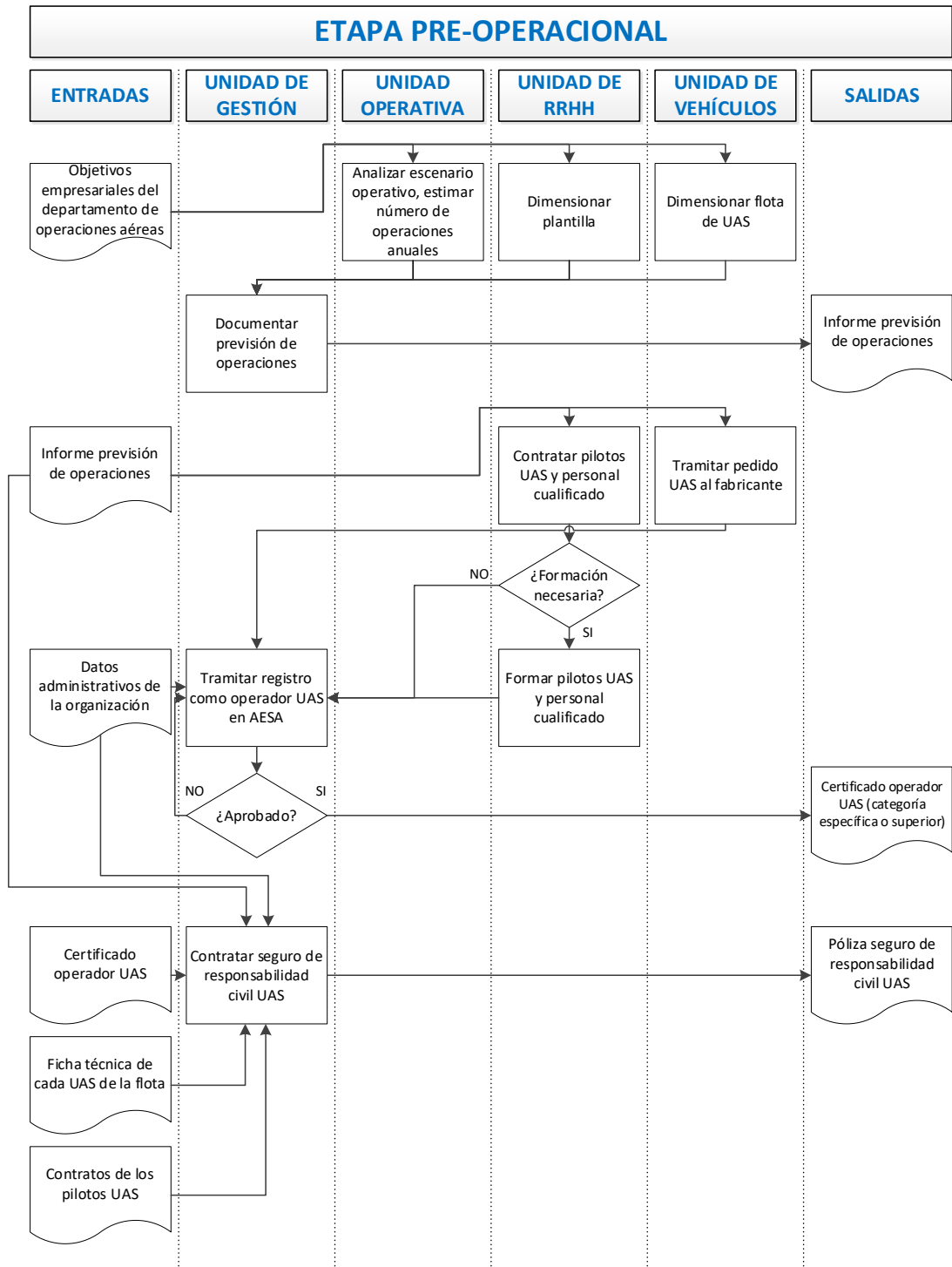


Fig. 4.3 Diagrama de flujo de la etapa pre-operacional

4.2.2 Etapa anterior al vuelo (*pre-flight*)

Esta primera etapa de la operación UAM está relacionada con los preparativos y la planificación de la misión.

4.2.2.1 Fase estratégica

Esta fase comprende las actividades de la operación que se deben realizar con antelación. Esto es, puede comenzar semanas —incluso meses, dependiendo de la complejidad de la operación— antes del día de vuelo del UAS. Finaliza cuando da comienzo la fase pre-táctica, días antes del despegue.

En la fase estratégica se detalla la operación, se realizan diversas comprobaciones y se redacta el Manual de Operaciones. En la Tabla 4.2 se listan las necesidades de la empresa de logística durante esta fase.

Requisito operativo	Descripción
Establecer el objetivo principal de la operación	Se define una misión principal para la operación y ciertos objetivos concretos.
Análisis del escenario operativo	Se definen tanto el lugar de despegue como el de aterrizaje, así como la trayectoria seguida por el UAS entre dichos puntos. Se designan una serie de puntos de paso, en función del terreno y de las preferencias de vuelo del UAS (techo de vuelo, altura de vuelo óptima...).
Establecer medidas de contingencia	Se detallan las medidas de contingencia que habrá que tomar en caso de cualquier suceso que impida la operación normal del UAS.

Selección del UAS y del personal	Se elige cuál de las aeronaves de la flota llevará a cabo la operación y el personal que estará a cargo de la misma.
Comprobación de las restricciones del espacio aéreo U-Space	Se analiza la situación de las <i>geo-fences</i> (en una fase estratégica) y se comprueba que la ruta planeada no cruza estas porciones del espacio aéreo durante el tiempo en que se encuentran restringidas.
Solicitud de autorización operacional	En caso de que la operación no se enmarque en alguno de los escenarios estándar, el operador UAS debe contar con una autorización emitida por la autoridad aeronáutica antes de operar [47]. Si la operación no cumple con una evaluación de riesgos predefinida (PDRA) publicada por EASA, se deberá realizar una evaluación del riesgo de la operación.
Redacción y entrega del plan de operación	En caso de que sea obligatorio, se rellena el plan de operación y se envía al sistema de procesamiento de planes de operación para que sea revisado y posteriormente aprobado —en caso de que no existan errores o anomalías—.
Aprobación del plan de operación	El sistema U-Space da el visto bueno para ejecutar la operación. El vuelo ha sido registrado en el sistema y podrá ser monitorizado.

Tabla 4.2 Requisitos operativos en la fase estratégica (etapa previa al vuelo)

El objetivo principal de esta fase es planificar la operación y recibir la autorización de AESA para poder realizarla.

Lo primero que se debe hacer es clarificar la misión y los objetivos de la operación. Partiendo de unos objetivos empresariales, se tienen en cuenta los criterios de la unidad operativa, de RRHH y de vehículos para redactar dicha misión.

Una vez acordada la misión, se debe caracterizar la operación. La unidad operativa recoge información sobre el entorno operativo y define los lugares de despegue y aterrizaje, así como los puntos de paso del UAS. Estos puntos de paso se eligen en función de las preferencias de vuelo del propio UAS (a qué altitud es más eficiente volar, qué obstáculos evitar para que las maniobras sean lo más sencillas posibles, etc.) y del criterio de los propios pilotos a distancia. También se deben tener en cuenta las restricciones del espacio aéreo, es decir, qué localizaciones está prohibido cruzar (ciertas zonas industriales o residenciales, colegios, centros penitenciarios, etc.).

Una vez caracterizada la operación y aprobada por la unidad de gestión, se definen las medidas de contingencia que se tomarán en caso de incidente o accidente. Se considerarán tanto incidentes o accidentes en el lado aire (relacionados con los UAS) como en el lado tierra (relacionados con el personal y los sistemas de monitorización de vuelo).

Cuando se aprueben estas medidas, la unidad de gestión será la encargada de unificar toda la información relativa a este tipo de operación en un Concepto de Operaciones (ConOps). Este documento incluye los siguientes puntos: naturaleza de la operación, entorno operacional, área geográfica, clima, entorno electromagnético, medio técnicos utilizados, competencias y funciones del personal involucrado, análisis de riesgos, instrucciones de mantenimiento, etc.

El objetivo final es el de obtener autorización operacional de AESA. Para ello, es necesario presentar un Manual de Operaciones (MO) (ver [16] para consultar su contenido), la caracterización de la/s aeronave/s y los procedimientos de coordinación con el ANSP en caso de la operación pretenda realizarse en espacio aéreo controlado [47]. Adicionalmente, si la operación UAS no cumple con una PDRA publicada por AESA, se deberá elaborar y proporcionar una evaluación del riesgo de la operación de acuerdo con el artículo 11 del Reglamento (UE) 2019/947 [10].

Finalmente, con toda la información requerida, la unidad de gestión tramita y, en caso de que sea aprobada, obtiene la autorización operacional de AESA.

En la Fig. 4.4 se muestra el flujograma de la fase estratégica.

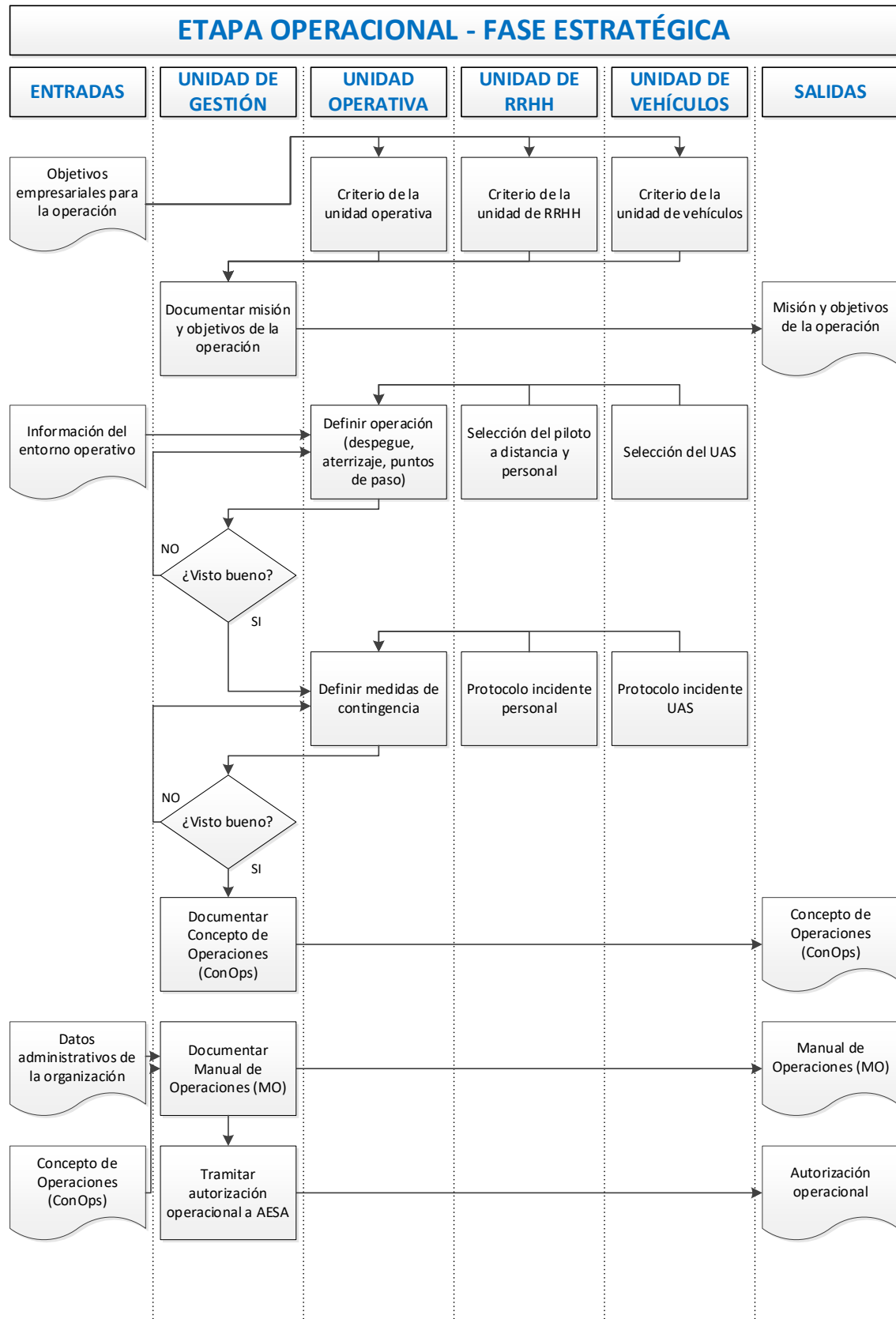


Fig. 4.4 Diagrama de flujo de la fase estratégica (etapa previa al vuelo)

4.2.2.2 Fase pre-táctica

Esta fase comienza días antes del despegue del UAS. Se realizan ciertas comprobaciones para asegurar que las condiciones en que se llevará a cabo la operación serán las óptimas.

En la Tabla 4.3 se listan los requisitos operativos de la empresa de logística durante la fase pre-táctica y en la Fig. 4.5 se muestra su diagrama de flujo.

Requisito operativo	Descripción
Comprobación del estado del UAS	Se comprueba el estado del UAS mediante una revisión de sus componentes. Para ello, se podría utilizar una lista de comprobación (<i>checklist</i>), con el objetivo de asegurar que la aeronave se encuentra en perfectas condiciones para realizar el vuelo. Esta <i>checklist</i> incluiría revisar el estado de la estructura (<i>frame</i>), de los rotores, de los motores, de las hélices, de los sistemas de energía (baterías), del cableado y la tornillería, de la estación en tierra, actualizaciones de <i>software</i> , etc.
Comprobación de los permisos y la plantilla	Se comprueba que se dispone del personal necesario para realizar la operación y que se cuenta con sustitutos en caso de que surjan imprevistos. También se comprueba que los permisos y las autorizaciones de vuelo están en orden.
Previsión meteorológica	Se analizan los informes meteorológicos para el día de la operación. Todavía no se toma la decisión de vuelo, puesto que es una previsión. No obstante, se puede formar una idea aproximada sobre las condiciones meteorológicas durante el día del vuelo.
Comprobación de las restricciones del espacio aéreo U-Space	Días antes de la operación, se comprueba que no han aparecido nuevas restricciones en el espacio aéreo que impidan seguir la ruta establecida en el ConOps. En caso afirmativo, se deben modificar los puntos de paso e informar a EASA sobre dichas modificaciones.

Tabla 4.3 Requisitos operativos en la fase pre-táctica (etapa previa al vuelo)

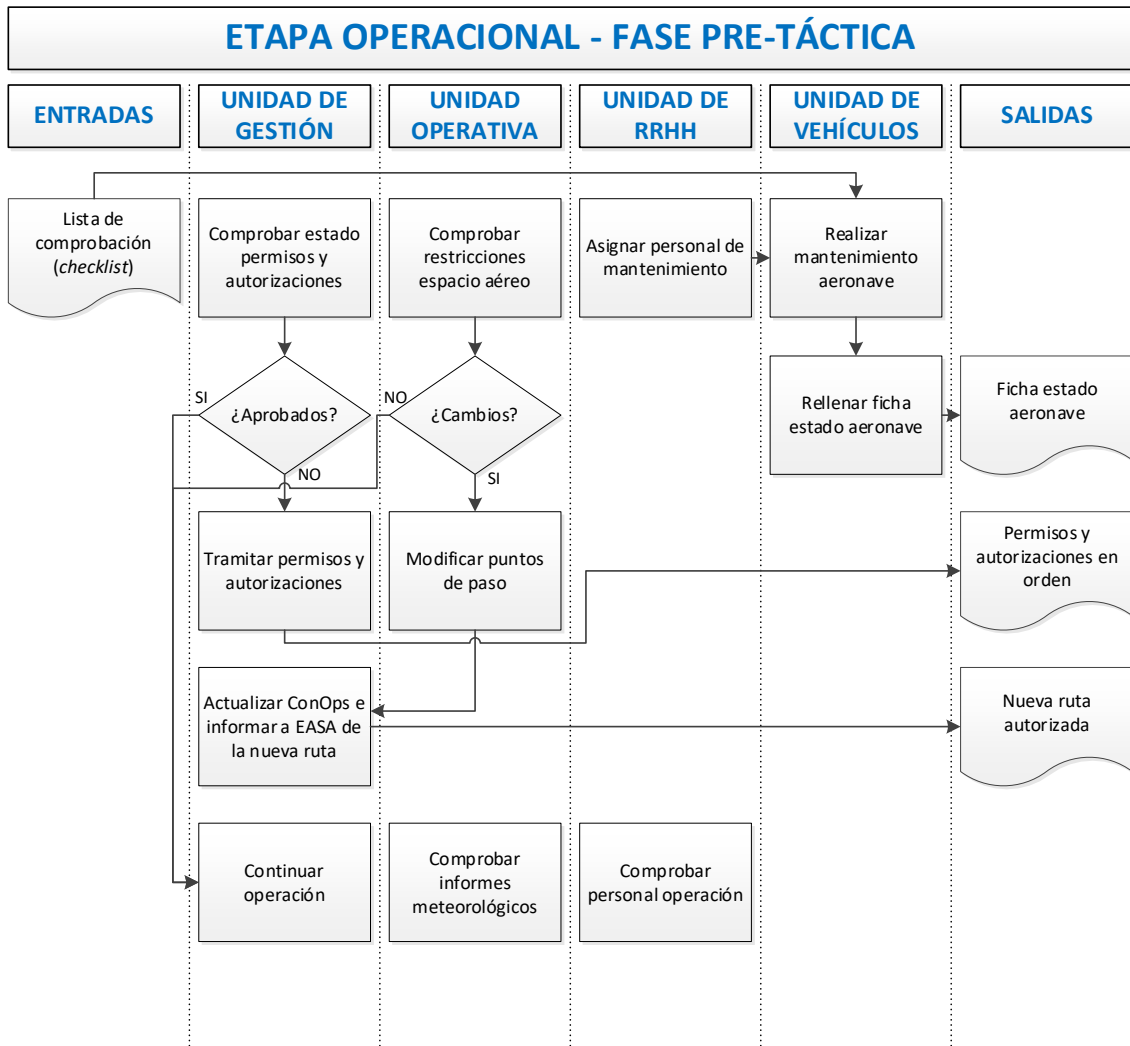


Fig. 4.5 Diagrama de flujo de la fase pre-táctica (etapa previa al vuelo)

Durante esta fase se realizará un mantenimiento de la aeronave implicada en la operación. La unidad de RRHH asignará el personal para realizar la tarea, que rellenará una ficha de estado del dron con las incidencias que ha observado (si las hay), que serán subsanadas antes del día de operación.

La unidad operativa se encargará de comprobar el estado del espacio aéreo, es decir, observar si —desde que se establecieron los puntos de paso en la fase estratégica— se han definido nuevas *geo-fences* por parte de autoridades u otros usuarios que interfieran en la ruta intencionada del UAS. En caso negativo, no hace falta modificar nada. En caso afirmativo, habrá que modificar los puntos de paso para evitar cruzar las zonas restringidas. Esta nueva ruta será propuesta a la unidad de gestión, encargada de actualizar el ConOps e informar a EASA de la modificación. Presumiblemente, EASA autorizará la nueva ruta o propondrá algunos cambios.

Por otro lado, la unidad de gestión también comprobará que tiene todos los permisos y autorizaciones necesarios para llevar a cabo la operación. En caso negativo, se pondrá en contacto con el ayuntamiento o la autoridad aeronáutica para consultar el estado del permiso o autorización y solucionar esta situación.

Finalmente, la unidad operativa consultará el informe meteorológico para conocer con antelación las condiciones meteorológicas durante el día de la operación (aun así, es una previsión y no tiene efectos en el transcurso de la fase pre-táctica) y la unidad de RRHH comprobará que el personal necesario para realizar la operación está disponible, así como sustitutos que sean requeridos en caso de imprevisto.

4.2.2.3 Fase táctica

Esta fase comienza el mismo día de la operación y termina en el momento del despegue del UAS. En la Tabla 4.4 se listan las necesidades de la empresa de logística en la fase táctica y en la Fig. 4.6 se muestra su correspondiente diagrama de flujo.

Requisito operativo	Descripción
Consultar el informe meteorológico y tomar la decisión de vuelo	Se comprueba que las condiciones meteorológicas durante el día de operación son las adecuadas. En caso afirmativo, se sigue adelante con la operación. Si las condiciones meteorológicas podrían poner en peligro la operación, esta se cancela.
Transporte al punto de inicio de la operación	Se traslada todo el equipamiento y personal necesario al punto de inicio de la misión.
Comprobaciones UAS previas al vuelo	Se realizan las comprobaciones necesarias previas al vuelo. También se podría utilizar una <i>checklist</i> como en el caso de la comprobación de la fase pre-táctica, aunque esta debería ser menos exhaustiva. El propósito principal es asegurarse de que el equipamiento no se haya dañado durante el transporte. También se puede hacer un repaso de las instrucciones y los procedimientos del vuelo.

Tabla 4.4 Requisitos operativos en la fase táctica (etapa previa al vuelo)

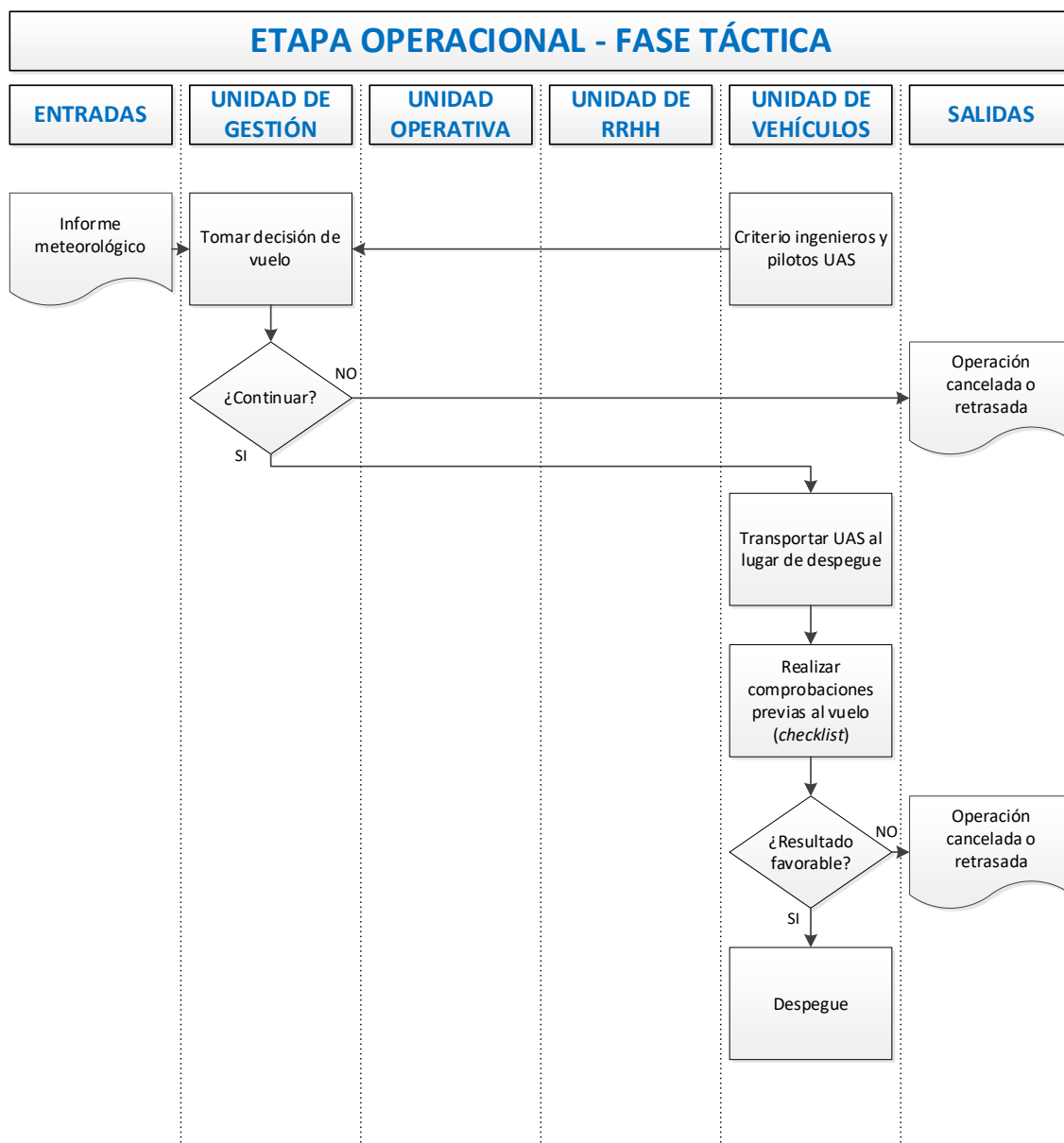


Fig. 4.6 Diagrama de flujo de la fase táctica (etapa previa al vuelo)

La primera actividad de la fase táctica es tomar la decisión de vuelo en función de las condiciones meteorológicas. Dependiendo del modelo de dron y de dichas condiciones, será muy difícil garantizar el buen transcurso de la operación. En días lluviosos y/o de viento moderado, la decisión más razonable será aplazar o cancelar el vuelo para no poner en riesgo la seguridad de la operación, que es el objetivo de mayor importancia. Incluso en casos aparentemente favorables, la decisión de vuelo no debería tomarla una única persona, sino que debería existir consenso entre el responsable de la operación, el piloto a distancia y los ingenieros.

En caso de que se decida continuar con la operación, la unidad de vehículos será la encargada de transportar el UAS y el equipo necesario al lugar de despegue. Allí, se realizarán una serie de comprobaciones previas al vuelo (siguiendo una *checklist*). En caso de que el resultado de la comprobación sea desfavorable (haya algún elemento del UAS que no funcione correctamente), la operación se cancelará o aplazará hasta que se haya corregido el problema o hasta que el responsable de la operación lo estime necesario. En caso de que el resultado sea favorable, se llevará el dron al punto de despegue y comenzará la etapa «en vuelo» (*in-flight*) de la operación. En el Artículo 6 del Reglamento 2021/664 [17] se establece que el operador UAS debe solicitar al USSP la activación de la autorización de vuelo UAS. Una vez recibida la confirmación, el operador tiene derecho a iniciar su vuelo.

4.2.3 Etapa en vuelo (*in-flight*)

Esta etapa comienza en el momento de despegue del UAS y termina en el momento del aterrizaje. Las actividades de esta fase están relacionadas con el control y la monitorización del UAS durante el vuelo. En la Tabla 4.5 se muestra la lista de requisitos operativos de la etapa en vuelo y en la Fig. 4.7 su correspondiente diagrama de flujo.

Requisito operativo	Descripción
Monitorizar la trayectoria	Una vez el UAS ha despegado, se debería poder monitorizar su trayectoria en todo momento. Esto es, la posición de la aeronave debería aparecer en todo momento en un <i>display</i> (pantalla de ordenador, por ejemplo). También debería aparecer la ruta planeada o los puntos de paso sobre el mapa. En caso de existir el servicio de supervisión de la conformidad (ver Artículo 13 del Reglamento 2021/664 [17]), el encargado sería el USSP.
Monitorizar la batería y el estado del UAS	Se debería conocer en todo momento el porcentaje de carga de las baterías del dron (o la cantidad de combustible, en caso de que no use motores eléctricos). También se debería conocer el <i>throttle</i> , el vector aceleración y el vector velocidad, entre otros parámetros.

Mantener la separación	Cuando otro UAS u obstáculo vulnere la distancia mínima de separación, debería aparecer un aviso en pantalla que indique esta situación, así como instrucciones para solucionarla. Es decir, debería existir cierta coordinación entre UAS para evitar que el conflicto se convierta en una colisión.
Recibir información sobre el tráfico	Se debería mostrar en el <i>display</i> la posición de otros UAS que estén volando en espacio aéreo U-Space de forma simultánea a nuestra operación. También se podría mostrar el vector velocidad de estos UAS, para conocer en qué dirección se están moviendo.
Recibir información sobre la disponibilidad del vertipuerto	Se debería poder consultar la disponibilidad del vertipuerto de aterrizaje en todo momento, esto es, conocer de forma visual e intuitiva (a través del <i>display</i>) si el punto de aterrizaje está ocupado en ese momento o no. En caso de que lo esté, el dron podría realizar un <i>hover</i> en un punto cercano al vertipuerto, mientras espera a que este se despeje.

Tabla 4.5 Requisitos operativos de la etapa en vuelo

Las actividades de esta etapa son competencia de la unidad de vehículos, concretamente del piloto a distancia a cargo de la operación.

El piloto deberá, en todo momento, consultar el *display* donde se muestra la información relativa al vuelo. En primera instancia, consultará la posición del UAS y monitorizará su trayectoria. Si, por cualquier motivo, la posición del UAS se desvía de la trayectoria planeada, el piloto deberá tomar control manual de la aeronave y corregir su trayectoria actual. Es decir, la operación prevista contempla que el UAS realice tramos directos entre *waypoints* definidos en el Manual de Operaciones y, en caso de que ocurra alguna anomalía, el piloto tomará el mando.

Durante el vuelo, el piloto también tendrá que consultar la batería y el estado del UAS y detectar posibles anomalías. Si la situación es crítica, debería saltar un aviso por pantalla y el piloto debería ejecutar el protocolo de emergencia establecido en el Manual de Operaciones. Este protocolo incluye los procedimientos a seguir en caso de fallo motor, agotamiento de la batería o cualquier otro impedimento que no permita finalizar la operación de forma segura (ver peligros identificados y barreras propuestas en el apartado 3.5).

En paralelo, también sería necesario monitorizar la posición de los demás UAS que sobrevuelen el espacio aéreo VLL. En caso de que se infrinja la distancia mínima de seguridad, debería aparecer un aviso en pantalla. Debería definirse un sistema de prioridad para decidir cómo resolver las situaciones de conflicto. La situación ideal sería que en el propio *display* apareciesen las instrucciones para resolver el conflicto (por ejemplo, que nuestro UAS descendiese 50 ft y el otro UAS en conflicto ascendiese 50 ft). Se espera que los servicios de resolución de conflictos de forma estratégica y de forma táctica sean obligatorios en operaciones complejas pertenecientes a volúmenes de espacio aéreo del tipo Z (ver apartado 2.2.1) y que sean proporcionados por un USSP. Los métodos específicos de resolución de conflictos quedan fuera del alcance de este proyecto

Por último, cuando el UAS se aproxime al vertipuerto en el que tiene planeado aterrizar, en el *display* debería mostrarse su disponibilidad. Es decir, si en ese mismo momento la zona de aterrizaje está siendo ocupada por otro UAS o si, por el contrario, está despejada y es seguro realizar el aterrizaje. Si el vertipuerto no se encuentra disponible, el piloto debería ejecutar un *hover* en una localización cercana a modo de maniobra de espera. Esta maniobra estaría detallada en el Manual de Operaciones, de la misma forma que los protocolos de emergencia. En caso de que el vertipuerto estuviera disponible, el UAS podría realizar el aterrizaje según lo planeado.

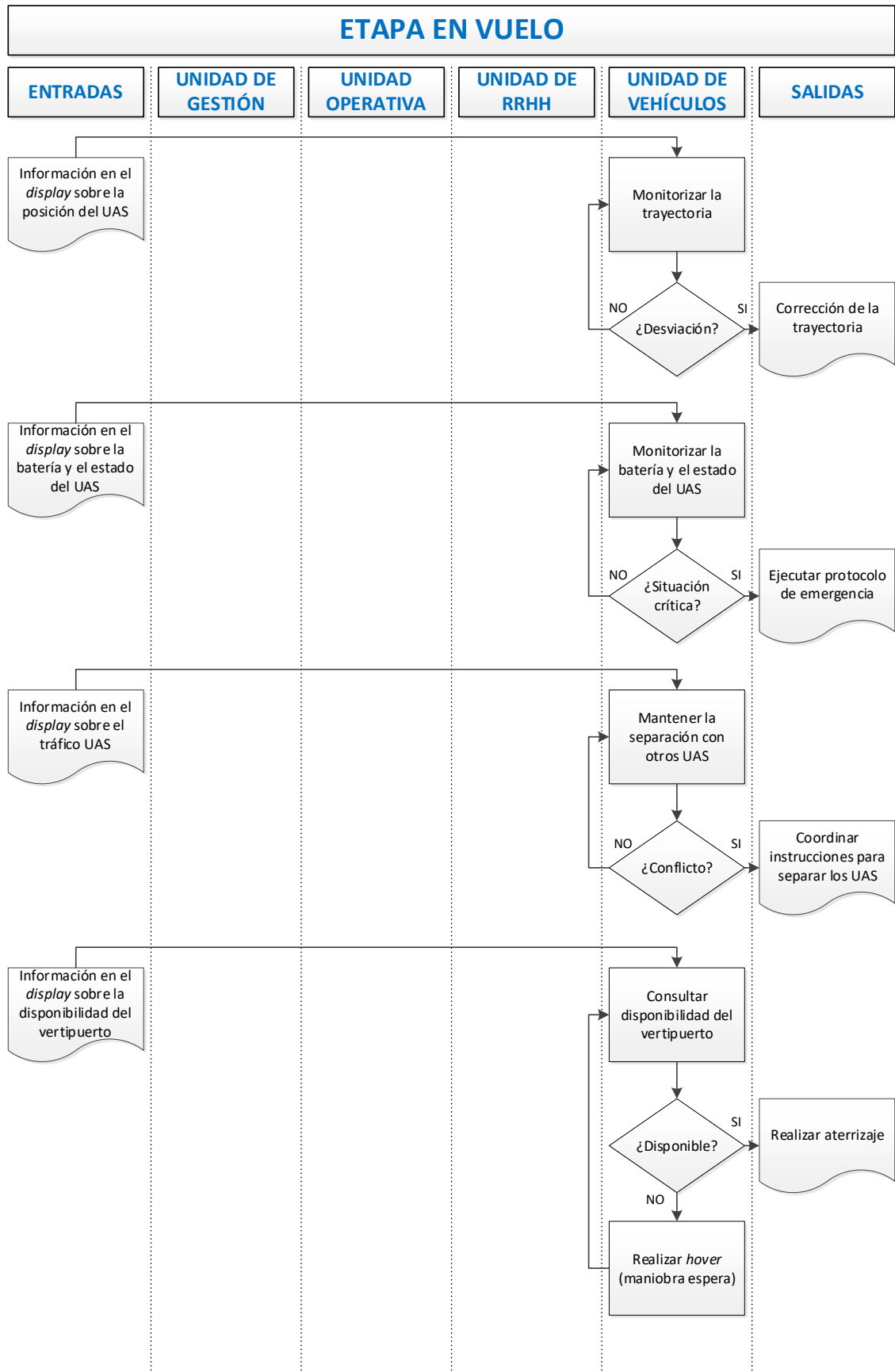


Fig. 4.7 Diagrama de flujo de la etapa en vuelo

4.2.4 Etapa posterior al vuelo (*post-flight*)

Esta etapa da comienzo cuando el UAS ha tocado tierra y comprende las actividades de análisis y comprobaciones posteriores al vuelo. En la Tabla 4.6 se muestran los requisitos operativos de esta etapa y en la Fig. 4.8 se observa su correspondiente diagrama de flujo.

Requisito operativo	Descripción
Comprobaciones UAS posteriores al vuelo	Se realizan las comprobaciones necesarias posteriores al vuelo. Se podría utilizar una <i>checklist</i> para asegurarse de que ningún componente del dron ha sido dañado durante el vuelo. En caso afirmativo, debería arreglarse lo antes posible, para dejar el UAS preparado para la próxima operación.
Análisis de la información de vuelo	En la gran mayoría de UAS comerciales, la información relativa al vuelo se guarda de forma automática y se puede descargar al terminar la operación (<i>data logs</i>). Sería conveniente analizar los datos de consumo, los errores de posicionamiento y navegación, perfiles de vuelo, etc. Este análisis es fundamental para mejorar futuras operaciones.
Transporte al almacén	Una vez finalizada la operación, el UAS debe ser transportado de vuelta al punto de almacenaje. Esto se podría hacer utilizando transporte terrestre o bien realizando la operación UAM inversa (volar del punto de entrega —vertipuerto B— al almacén —vertipuerto A—).

Tabla 4.6 Requisitos operativos de la etapa posterior al vuelo

En cuanto al flujograma, la unidad de vehículos será la encargada de transportar el UAS de vuelta al almacén una vez haya finalizado el vuelo. Esto se puede hacer mediante transporte terrestre o realizando otra operación UAM desde el vertipuerto del punto de entrega al vertipuerto del almacén de la empresa de logística (los detalles de esta operación quedan fuera del alcance de este proyecto).

Una vez en el almacén, se realizan las comprobaciones de los componentes del UAS utilizando una *checklist*. En caso de que el UAS esté en buenas condiciones, se almacenará y estará disponible para futuras operaciones. En

caso contrario, el UAS deberá ser reparado y se deberá informar de los daños a la oficina de gestión.

Con la información de vuelo extraída del *datalog* almacenado en el UAS, la unidad operativa analizará en detalle distintos parámetros de vuelo e informará a la unidad de gestión. La unidad de gestión se encargará de documentar los resultados y conclusiones de la operación y modificará el Manual de Operaciones en caso de que se hayan encontrado posibles puntos de mejora.

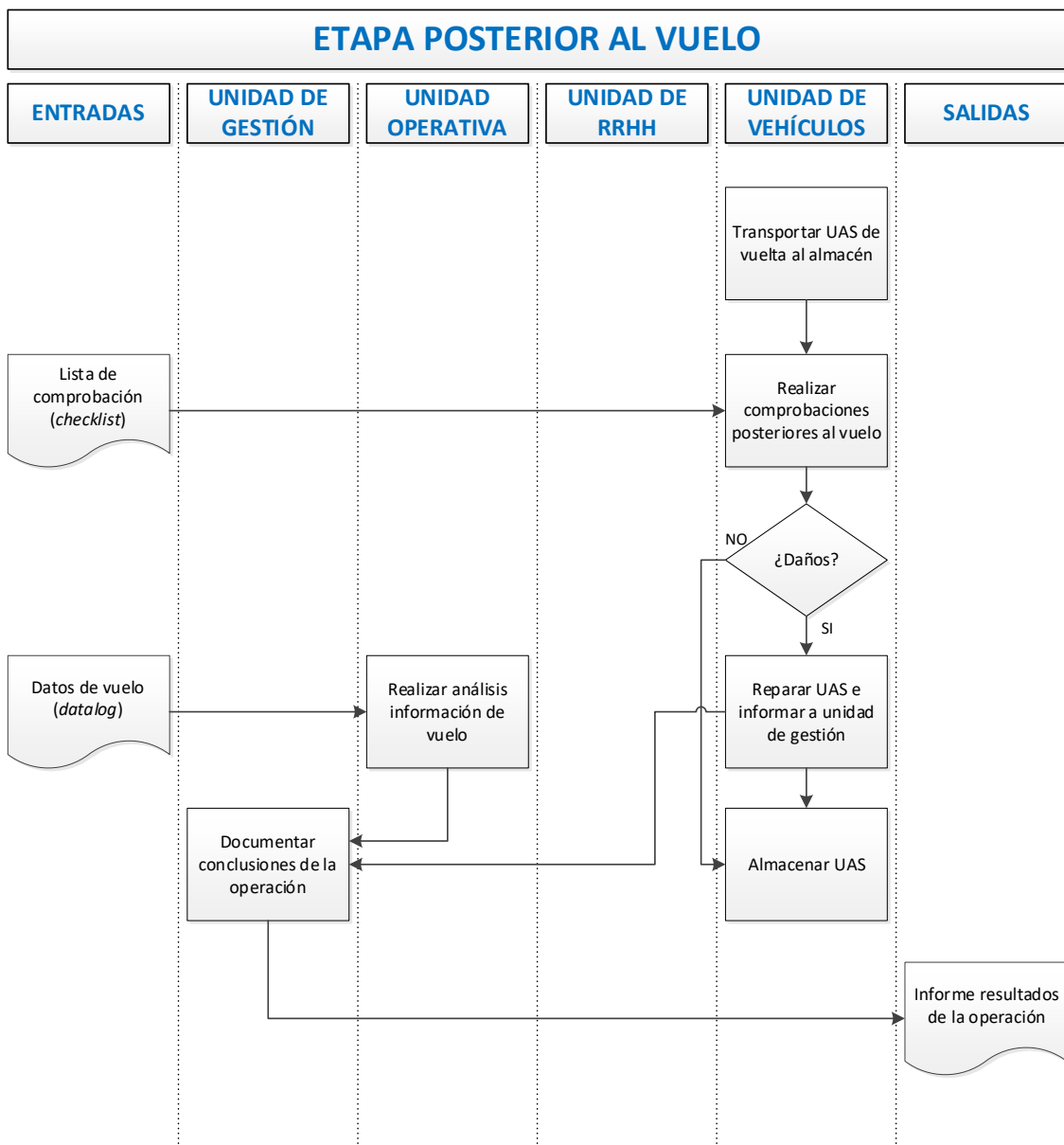


Fig. 4.8 Diagrama de flujo de la etapa posterior al vuelo

CAPÍTULO 5. SERVICIOS UTM

En este capítulo se discuten el conjunto de servicios UTM que se están planteando en proyectos actuales sobre UAM (ver Capítulo 2). Concretamente, se listan los servicios UTM propuestos en el concepto de operaciones del proyecto CORUS [9]. Estos servicios se pueden observar en la Fig. 5.1.

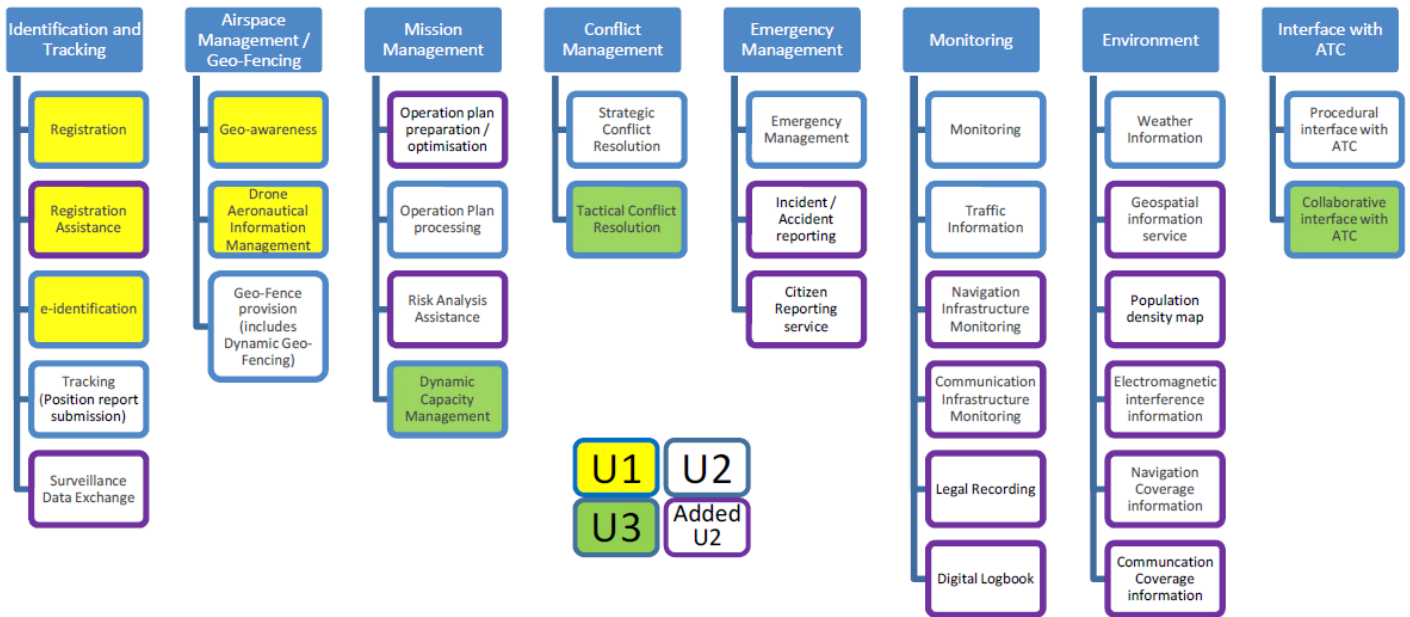


Fig. 5.1 Lista de servicios UTM propuestos en el proyecto CORUS [9]

Para cada uno de estos servicios UTM, se ha realizado una “ficha de características” con la siguiente información:

- Nombre del sub-servicio (un total de 31).
- Nombre de la familia de servicios (un total de 8).
- Fase de implementación (un total de 4, ver apartado 2.1.2).
- Descripción del servicio.
- Entradas: qué otros servicios “alimentan” al servicio concerniente y qué información proporcionan.
- Salidas: a qué otros servicios “alimenta” el servicio concerniente y qué información proporciona.
- Proveedor del servicio: entidad que se encargaría de prestar el servicio.

- **Criticidad:** en caso de fallo del servicio, se establece uno de los siguientes tres niveles de criticidad.
 - ALTA: la operación no se podría realizar o debería ser interrumpida.
 - MEDIA: la operación se podría realizar, pero con carencias significativas.
 - BAJA: la operación se podría realizar sin problemas adicionales.

Los 4 primeros puntos han sido extraídos directamente del concepto de operaciones del proyecto CORUS [9] (en el caso de la descripción, la información ha sido resumida). Los 4 últimos puntos son propuestas originales de este proyecto (no figuran en CORUS).

También se han identificado los servicios de CORUS que son obligatorios según el Reglamento UE 2021/664 [17], relativo al espacio aéreo U-Space (ver Capítulo 2). La casilla de criticidad de dichos servicios se ha marcado con el símbolo [R] (de Reglamento) y se listan en la Tabla 5.1.

Servicio obligatorio 2021/664	Servicio equivalente CORUS
Identificación de red	1.3 Identificación electrónica
Geoconsciencia	2.1 Geoconsciencia
Autorización de vuelo de UAS	4.1 Servicio estratégico de gestión de conflictos
Información del tráfico	6.2 Información del tráfico

Tabla 5.1 Relación entre los servicios obligatorios del Reglamento (UE) 2021/664 y sus equivalentes en el proyecto CORUS

A continuación, de la Tabla 5.2 a la Tabla 5.33, se presentan las fichas de información para cada uno de los servicios UTM propuestos en el proyecto CORUS. En la Fig. 5.2 se muestran las partes interesadas (*stakeholders*) del ecosistema U-Space y en la Tabla 5.34 se realiza una descripción de los proveedores de servicios mencionados en las fichas.

Sub-servicio: <u>1.1. Servicio de registro</u>	Fase de implementación: U1
Servicio: <u>1. Identificación y seguimiento</u>	
<p>Descripción:</p> <p>Este servicio responde al requisito de registro que aparece en la legislación europea vigente (Reglamento UE 2019/947 – Artículo 14, «Registro de operadores UAS y UAS certificados» [10]. Para llevar a cabo el registro, debería existir un sistema seguro y de alta disponibilidad, con los medios apropiados disponibles para que los diferentes tipos de usuario ingresen / actualicen sus propios datos o, cuando esté permitido, consulten el contenido del registro. Será necesario acordar quién está autorizado para realizar consultas o cambiar el contenido del registro y en qué circunstancias. Por ejemplo, en el caso en que haya que eliminar un registro tras la disolución de una empresa o después de una orden judicial.</p> <p>El registro debe estar conectado a otros registros para permitir operaciones entre fronteras. Cualquier operador o piloto UAS de Europa debería poder operar en cualquier país europeo, siempre que se sigan las leyes nacionales y las normas locales. Por tanto, cualquier registro debería responder a las consultas sobre un operador o piloto UAS registrado a nivel europeo.</p>	
Entradas: <u>1.2. Servicio de asistencia para el registro</u> → interfaz de usuario simplificada	
Salidas: <u>1.3. Servicio de identificación electrónica</u> → registro de aeronave y operador	
Proveedor del servicio: Agencia estatal encargada de la seguridad aérea	
Criticidad: ALTA	

Tabla 5.2 Servicio de registro

Sub-servicio: <u>1.2. Servicio de asistencia para el registro</u>	Fase de implementación: U1
Servicio: <u>1. Identificación y seguimiento</u>	
<p>Descripción:</p> <p>Es probable que algunos registros específicos se realicen de forma rutinaria, por ejemplo, que el propietario de un negocio de venta de aeronaves registre un dron u operador UAS cada vez que se vende un dron, o que una escuela de formación registre a un piloto UAS una vez terminado el cursillo. Se pueden ofrecer servicios para facilitar dichos registros rutinarios, presentando una interfaz de usuario simplificada y/o previamente completada con información estándar.</p>	
Entradas: -	
Salidas: <u>1.1. Servicio de registro</u> → interfaz de usuario simplificada	
Proveedor del servicio: Agencia estatal encargada de la seguridad aérea	
Criticidad: BAJA	

Tabla 5.3 Servicio de asistencia para el registro

Sub-servicio: <u>1.3. Servicio de identificación electrónica</u>	Fase de implementación: U1
Servicio: <u>1. Identificación y seguimiento</u>	
<p>Descripción:</p> <p>En el Reglamento (UE) 2019/947, la identificación a distancia directa se define como el «sistema que garantiza la emisión local de información sobre las aeronaves no tripuladas en funcionamiento, incluido el marcado de estas aeronaves, de modo que esta información pueda obtenerse sin acceder físicamente a las aeronaves».</p> <p>En el concepto de operaciones del proyecto CORUS se definen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • <u>Identificación remota directa</u>: capacidad del dron de transmitir una señal de identificación que será recibida en algún dispositivo portátil cercano. • <u>Identificación remota de red</u>: proceso por el cual un dispositivo portátil es capaz de detectar la posición actual del UAS, consultar los datos de seguimiento y obtener información de identificación equivalente. <p>El servicio de identificación electrónica permite que cualquier persona autorizada acceda a la información almacenada en dicho dispositivo portátil para:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Consultar el registro (1.1) y obtener información sobre el operador UAS. • Ver la posición actual del UAS, el punto de despegue y, a ser posible, informes de posición recientes, imágenes del modelo del dron en cuestión y cualquier otra información relevante que ayude a la identificación visual de la aeronave (1.5). • Extraer información contextual de la misión, como puntos de referencia o lugares de paso. 	
<p>Entradas:</p> <p><u>1.1. Servicio de registro</u> → registro de aeronave y operador</p>	
<p>Salidas:</p> <p><u>1.5. Servicio de seguimiento</u> → acceso identificado</p> <p><u>3.3. Servicio de procesamiento del plan de operación</u> → acceso identificado</p>	
<p>Proveedor del servicio: U-Space Service Provider (USSP)</p>	
<p>Criticidad: ALTA [R]</p>	

Tabla 5.4 Servicio de identificación electrónica

Sub-servicio: <u>1.4. Servicio de informe de la posición</u>	Fase de implementación:
Servicio: <u>1. Identificación y seguimiento</u>	U2
<p>Descripción:</p> <p>El servicio de seguimiento (1.5) no puede funcionar a menos que se reciban informes de posición de los UAS a tiempo real. Los informes de posición se podrían transmitir como señales de identificación electrónica (<i>e-identification signals</i>), ser recibidos en estaciones portátiles de los operadores y reenviados al sistema de almacenamiento de datos U-Space (probablemente por internet).</p> <p>Cuando el envío de la posición del UAS sea requisito obligatorio, el operador deberá supervisar que esta información es transmitida correctamente. Por tanto, el sub-servicio de envío de la posición no solo debería permitir que se envíen los informes de posición, sino que también debería dar <i>feedback</i> sobre si se están recibiendo o no. Deberían emitirse alertas cuando pase un tiempo determinado sin haber recibido un informe de posición.</p> <p>Se deberá conseguir un nivel apropiado de ciberseguridad para asegurar que las transmisiones llegan de la fuente declarada y están siendo recibidas correctamente. Esto se podría conseguir con un protocolo de inicio de sesión específico, probablemente vinculado al inicio del vuelo. Para distinguir entre el flujo de informes de posición que se detiene porque el vuelo ha finalizado y el que se detiene por error, existirá un protocolo de cierre de sesión vinculado a la finalización del vuelo. Si el envío de informes de posición se detiene por error, será considerado como una situación de emergencia y se tomarán las medidas correspondientes.</p> <p>Todos los informes de posición deben ser guardados para, en caso de que sea necesario, se pueda desplegar el servicio de investigación de accidentes e incidentes (5.2). Por tanto, el servicio de informe de la posición alimentará al servicio de grabación de seguridad (<i>legal recording</i>, 6.3).</p> <p>Los informes de posición enviados al U-Space deberían incluir:</p> <ul style="list-style-type: none"> • La posición 3D actual del dron, expresada en unidades del sistema internacional y en el conveniente sistema de referencia. • El error en la posición. • El tiempo de medición. • Los medios por los cuales se ha determinado la posición y un identificador del origen del informe. • El vector velocidad del vehículo. • El error en la velocidad. • El identificador de la aeronave, preferiblemente de la forma empleada por el servicio de identificación remota (1.3). • El identificador del operador UAS. • El identificador de la operación que se está llevando a cabo. 	
<p>Entradas:</p> <p><u>1.3. Servicio de identificación electrónica</u> → acceso identificado</p>	
<p>Salidas:</p> <p><u>1.5. Servicio de seguimiento</u> → informes de posición a tiempo real</p> <p><u>5.2. Servicio de investigación de accidentes e incidentes</u> → informes de posición (en caso de accidente o incidente que deba ser investigado)</p> <p><u>6.3. Servicio de grabación de seguridad</u> → informes de posición</p>	
<p>Proveedor del servicio: Informes enviados por el operador al sistema U-Space</p>	
<p>Criticidad: ALTA</p>	

Tabla 5.5 Servicio de informe de la posición

Sub-servicio: <u>1.5. Servicio de seguimiento</u>	Fase de implementación: U2
Servicio: <u>1. Identificación y seguimiento</u>	
<p>Descripción:</p> <p>El servicio de seguimiento incorpora el sub-servicio de informe de la posición descrito en el apartado anterior (1.4), recibiendo los informes de posición en una determinada área de interés. Las rutas se construyen usando un proceso estadístico asistido por los planes de operación. Por tanto, el servicio de seguimiento es “cliente” del servicio de procesamiento del plan de operación (3.3).</p> <p>Este servicio debe producir actualizaciones de los <i>tracks</i> cada cierto tiempo. Un <i>track</i> consiste en una serie de informes, cada uno con los siguientes campos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • El identificador de la aeronave y del operador. • El identificador de la operación o un identificador automático del vuelo. • El identificador del sistema que ha calculado el <i>track</i>. • El tiempo en que se ha calculado el <i>track</i>. • La posición 3D (y error). • Vector velocidad (y error). <p>Asimismo, el servicio de seguimiento será capaz de detectar las señales de inicio y final de vuelo, así como inicios o finales de informes de posición inesperados. El servicio de seguimiento deberá ser seguro, confiable y de baja latencia, puesto que la información que se gestiona es crítica para la seguridad.</p> <p>La presentación de los <i>tracks</i> es tarea del servicio de información de tráfico. La interfaz del servicio de seguimiento debería mostrar una alerta en caso de informes de posición erróneos u otras anomalías.</p>	
<p>Entradas:</p> <p><u>1.4. Servicio de informe de la posición</u> → informes de posición a tiempo real</p> <p><u>3.3. Servicio de procesamiento del plan de operación</u> → planes de operación</p>	
<p>Salidas:</p> <p><u>1.6. Servicio de datos para la vigilancia</u> → <i>tracks</i></p> <p><u>4.2. Servicio de resolución táctica de conflictos</u> → <i>tracks</i></p> <p><u>6.1. Servicio de monitorización</u> → <i>tracks</i></p> <p><u>6.2. Servicio de información del tráfico UAS</u> → <i>tracks</i></p>	
<p>Proveedor del servicio: U-Space Service Provider (USSP)</p>	
<p>Críticidad: ALTA</p>	

Tabla 5.6 Servicio de seguimiento

Sub-servicio: <u>1.6. Servicio de datos para la vigilancia</u>	Fase de implementación: U2
Servicio: <u>1. Identificación y seguimiento</u>	
<p>Descripción:</p> <p>Este servicio se encarga de intercambiar información entre el servicio de seguimiento y otras fuentes como:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Radar primario y sistemas de detección de drones, por ejemplo, los que se usan en aeropuertos. • Sistemas de captura de movimiento que usan su propio proceso de <i>tracking</i>. • Sistemas de vigilancia de aeronaves convencionales. • <i>Neighbouring drone trackers</i>. 	
<p>Entradas:</p> <p><u>1.5. Servicio de seguimiento</u> → <i>tracks</i></p>	
<p>Salidas:</p> <p><u>8.2. Servicio de interfaz colaborativa con el ATC</u> → información de vigilancia del espacio aéreo U-Space</p>	
<p>Proveedor del servicio: Surveillance Service Provider (SSP)</p>	
<p>Criticidad: BAJA</p>	

Tabla 5.7 Servicio de datos para la vigilancia

Sub-servicio: <u>2.1. Servicio de geoconsciencia</u>	Fase de implementación: U1
Servicio: <u>2. Gestión del espacio aéreo / geoconsciencia</u>	
<p>Descripción:</p> <p>El servicio de geoconsciencia proporciona información sobre <i>geo-fences</i> y otras restricciones de vuelo a pilotos y operadores UAS.</p> <p>En U1, el servicio de geoconsciencia recibe información del espacio aéreo convencional, como zonas restringidas, zonas peligrosas, CTR, etc. También añade información extraída de los NOTAMs y de la legislación de drones a nivel nacional y europeo. Desde la agencia estatal encargada de la seguridad aérea o bien desde el servicio de gestión de la información aeronáutica UAS (cuando esté disponible, 2.2), se añadirán restricciones temporales y/o permanentes, produciendo así un mapa general que mostrará dónde pueden operar los UAS.</p> <p>En U2, se incluye información extra del servicio de gestión de la información aeronáutica UAS (2.2), incluyendo restricciones a corto plazo, que pueden generar <i>geo-fences</i> con efecto inmediato. Estas restricciones a corto plazo existen para proteger a los HEMS (Helicópteros de los Servicios de Emergencias Médicas) y otras operaciones tripuladas de emergencia en espacio VLL. Las restricciones a corto plazo tienen que ser comunicadas rápidamente y pueden tener un impacto sobre operaciones ya introducidas en el servicio de procesamiento de planes operacionales UAS (3.3).</p> <p>La información proporcionada por este servicio será presentada al operador o piloto UAS en forma de mapa, disponible de forma electrónica para que sea utilizable a la hora de configurar un UAS previamente al vuelo o alertarle durante el mismo sobre las <i>geo-fences</i>.</p>	
<p>Entradas:</p> <p><u>2.2. Servicio de gestión de la información aeronáutica UAS</u> → restricciones temporales y/o permanentes del espacio aéreo</p>	
<p>Salidas:</p> <p><u>3.3. Servicio de procesamiento del plan de operación</u> → coordenadas 4D de las <i>geo-fences</i></p>	
<p>Proveedor del servicio: U-Space Service Provider (USSP)</p>	
<p>Criticidad: ALTA [R]</p>	

Tabla 5.8 Servicio de geoconsciencia

Sub-servicio: <u>2.2. Servicio de gestión de la información aeronáutica UAS</u>	Fase de implementación: U1
Servicio: <u>2. Gestión del espacio aéreo / geoconsciencia</u>	
<p>Descripción:</p> <p>Es equivalente al servicio de información aeronáutica, pero orientado a UAS. Se encarga de recopilar cambios temporales y/o permanentes sobre el espacio aéreo VLL (que no son de interés para la aviación general). Un ejemplo de dicha información sería que, durante un fin de semana y debido a un festival de música, una determinada zona pasa de estar poco poblada a estar densamente poblada. Esto modifica el riesgo en tierra (<i>ground-risk</i>) en esa zona.</p> <p>El servicio tendrá que:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Recopilar aportaciones de fuentes de información que quizá tienen poco conocimiento de aviación (el ejemplo del festival de música). • Verificar ciertas organizaciones para designarlas como fuentes de información fiables y que puedan introducir cambios en el sistema directamente. • Negociar con organizaciones que quizá sean demasiado cautelosas (que por ejemplo quieran restringir el vuelo de drones en una zona en la que no sea necesario, donde el riesgo asociado sea bajo) o demasiado incautas. • Sintetizar, actualizar y hacer accesible la información sobre la situación general del espacio aéreo VLL en todo momento. <p>Este servicio puede estar integrado en el actual servicio de información aeronáutica para la aviación general o podría prestarse por separado.</p>	
<p>Entradas:</p> <p><u>7. Servicio de información del entorno</u> → información del entorno</p>	
<p>Salidas:</p> <p><u>2.1. Servicio de geoconsciencia</u> → restricciones temporales y/o permanentes del espacio aéreo</p> <p><u>3.2. Servicio de asistencia para el análisis de riesgos</u> → información sobre el <i>ground-risk</i></p> <p><u>3.3. Servicio de procesamiento del plan de operación</u> → restricciones temporales y/o permanentes del espacio aéreo</p> <p><u>4.1. Servicio estratégico de gestión de conflictos</u> → restricciones temporales y/o permanentes del espacio aéreo</p> <p><u>4.2. Servicio táctico de gestión de conflictos</u> → restricciones temporales y/o permanentes del espacio aéreo</p> <p><u>6.1. Servicio de monitorización</u> → restricciones temporales y/o permanentes del espacio aéreo</p>	
<p>Proveedor del servicio: U-Space Service Provider (USSP)</p>	
<p>Criticidad: ALTA</p>	

Tabla 5.9 Servicio de gestión de la información aeronáutica UAS

Sub-servicio: <u>2.3. Servicio de <i>geo-fencing</i> dinámico</u>	Fase de implementación: U3
Servicio: <u>2. Gestión del espacio aéreo / geoconsciencia</u>	
<p>Descripción:</p> <p>Este servicio, también conocido como servicio de provisión de <i>geo-fencing</i>, estará disponible a partir de la fase U3. Este servicio proporciona al UAS las coordenadas 4D sobre las <i>geo-fences</i> incluso durante el vuelo. Depende de las capacidades técnicas del dron para solicitar, recibir y utilizar los datos de <i>geo-fencing</i>. El único actor humano que interviene es el operador UAS, que debe configurar y mantener el dron para que el servicio funcione. El servicio de provisión de <i>geo-fencing</i> es una extensión del servicio de geoconsciencia (2.1). Está relacionado con el concepto de «reconfiguración dinámica del espacio aéreo» del Reglamento 2021/664 [17], por el cual ajustan los límites geográficos del espacio aéreo para adaptarse a los cambios a corto plazo en la demanda de tráfico tripulado.</p>	
<p>Entradas:</p> <p><u>2.1. Servicio de geoconsciencia</u> → restricciones temporales y/o permanentes del espacio aéreo</p>	
<p>Salidas:</p> <p><u>UAS</u> → coordenadas 4D de las <i>geo-fences</i> a tiempo real</p>	
<p>Proveedor del servicio: U-Space Service Provider (USSP)</p>	
<p>Criticidad: MEDIA</p>	

Tabla 5.10 Servicio de *geo-fencing* dinámico

Sub-servicio: <u>3.1. Servicio de asistencia para la preparación del plan de operación</u>	Fase de implementación: U2
Servicio: <u>3. Gestión de la misión</u>	
<p>Descripción:</p> <p>En un futuro existirán diferentes servicios de asistencia ofrecidos a la hora de preparar un plan de operación. Estos variarán en función del mercado objetivo, facilidad de uso, coste, alcance, nivel de integración con otras herramientas del operador, niveles de optimización, etc.</p> <p>Las características comunes de estos servicios serán su interacción con el servicio de procesamiento del plan de operación (3.3):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Permiten al operador preparar el plan de operación y enviarlo al servicio de procesamiento del plan de operación (3.3). • Permiten al operador visualizar la información relativa al plan de operación que ha sido aprobado. • Permiten al operador comprobar el estado de un plan de operación que ha sido aprobado. • Permiten al operador cancelar o actualizar los planes de operación que ya han sido aprobados. <p>Y algunos de ellos también podrán:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cargar el plan de operación en el UAS. • Completar procesos SORA. • Integrarse con negocios "Insurance as a Service". • Integrarse con estaciones remotas para asistir al <i>conformance monitoring</i>. 	
Entradas: -	
<p>Salidas:</p> <p><u>3.3. Servicio de procesamiento del plan de operación</u> → plan de operación</p>	
Proveedor del servicio: U-Space Service Provider (USSP)	
Críticidad: BAJA	

Tabla 5.11 Servicio de asistencia para la preparación del plan de operación

Sub-servicio: <u>3.2. Servicio de asistencia para el análisis de riesgos</u>	Fase de implementación: U2
Servicio: <u>3. Gestión de la misión</u>	
<p>Descripción:</p> <p>Para llevar a cabo una operación UAS en la categoría específica es necesario realizar un SORA (ver Reglamento UE 2019/947), que implica analizar los riesgos asociados a la operación. Se espera que este servicio sea ofrecido para ayudar al análisis de riesgos, recibiendo información del servicio de gestión de la información aeronáutica UAS (2.2), de varios servicios del entorno (7) y de servicios de información del tráfico (6.2).</p> <p>El servicio de asistencia para el análisis de riesgos también podría proporcionar acceso a los servicios “per flight insurance”.</p>	
<p>Entradas:</p> <p><u>2.2. Servicio de gestión de la información aeronáutica UAS</u> → información sobre el riesgo en tierra (<i>ground-risk</i>) en zonas que se encuentren dentro de la ruta prevista para la operación</p> <p><u>6.2. Servicio de información del tráfico UAS</u> → información sobre el tráfico</p> <p><u>7. Servicio de información del entorno</u> → información del entorno</p>	
<p>Salidas:</p> <p><u>3.3. Servicio de procesamiento del plan de operación</u> → plan de operación</p>	
<p>Proveedor del servicio: Agencia estatal encargada de la seguridad aérea</p>	
<p>Criticidad: BAJA</p>	

Tabla 5.12 Servicio de asistencia para el análisis de riesgos

Sub-servicio: <u>3.3. Servicio de procesamiento del plan de operación</u>	Fase de implementación: U2
Servicio: <u>3. Gestión de la misión</u>	
<p>Descripción:</p> <p>Este servicio se encargará de recibir planes de operación y los usará para ciertas actividades relacionadas con la seguridad. El servicio guarda los planes de operación que todavía no han sido archivados. El archivado ocurre cierto tiempo después de que el vuelo haya aterrizado o haya sido cancelado.</p> <p>El encargado de entregar el plan de operación al servicio de procesamiento del plan de operación UAS es el propio operador, haciendo uso del servicio 3.1 si es necesario (asistencia). A continuación, se listan una serie de pasos que se deberían seguir una vez se recibe un plan de operación:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Comprobar la “sintaxis”. ¿La información recibida se parece lo suficiente a un plan de vuelo como para ser procesada por el sistema? • Comprobar la “semántica”. ¿Están presentes todos los campos de información necesarios? • En caso afirmativo, generar un identificador único para el plan de operación. • Comprobar la autorización utilizando el servicio de registro electrónico. ¿Hay alguna razón por la que el operador o piloto UAS no puedan llevar a cabo esta operación? • Construir un modelo probabilístico 4D del espacio aéreo atravesado por la aeronave durante la operación (una trayectoria), utilizando el plan de vuelo, el servicio meteorológico, las características/<i>performance</i> del dron y cualquier otra información relevante. A la trayectoria se le harán <i>sanity checks</i> básicos. • Advertir de condiciones meteorológicas adversas, utilizando el servicio meteorológico (7.1). ¿Existe un aviso meteorológico en el lugar y momento de la operación? • <i>Geo-fencing</i>, altura máxima y otras comprobaciones de que la aeronave va a volar en espacio aéreo permitido, utilizando el servicio de información aeronáutica UAS y la trayectoria predicha. ¿Cada <i>geo-fence</i> atravesada tiene su permiso correspondiente en el plan de operación? ¿Se cumplen las condiciones en caso de que el acceso sea temporal? • Interfaz procedural con el ATC. En caso de que un área controlada sea penetrada por la trayectoria predicha, la interfaz procedural con el ATC se ejecuta. • Se ejecuta el servicio estratégico de gestión de conflictos. Ver servicio 4.1. • En caso de que esté disponible, se ejecuta el servicio de gestión dinámica de la capacidad. Ver servicio 3.4. <p>El resultado del procesamiento debería ser una copia del plan de operación aceptado, junto con su identificador único. Una vez la operación ha sido aceptada, el operador puede enviar mensajes adicionales para:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cancelar el plan de operación. • Modificar el plan de operación. • Preguntar por el estado del plan de operación. 	
<p>Entradas:</p> <p><u>1.3. Servicio de identificación electrónica</u> → acceso identificado</p> <p><u>2.1. Servicio de geoconsciencia</u> → coordenadas 4D de las <i>geo-fences</i></p> <p><u>2.2. Servicio de gestión de la información aeronáutica UAS</u> → restricciones temporales y/o permanentes del espacio aéreo</p> <p><u>3.1. Servicio de asistencia para la preparación del plan de operación</u> → planes de operación</p> <p><u>3.2. Servicio de asistencia para el análisis de riesgos</u> → planes de operación</p> <p><u>3.4. Servicio de gestión dinámica de la capacidad</u> → medidas para ajustar la demanda a la capacidad (qué planes de vuelo deben ser modificados para no saturar el espacio aéreo)</p> <p><u>4.1. Servicio estratégico de gestión de conflictos</u> → medidas para evitar conflictos</p> <p><u>7.1. Servicio de información meteorológica</u> → zonas con meteorología adversa</p>	
<p>Salidas:</p> <p><u>1.5. Servicio de seguimiento</u> → planes de operación</p> <p><u>3.4. Servicio de gestión dinámica de la capacidad</u> → planes de operación</p> <p><u>4.1. Servicio estratégico de gestión de conflictos</u> → trayectorias 4D predichas</p> <p><u>8. Interfaz con el ATC</u> → solicitud del servicio</p>	
<p>Proveedor del servicio: U-Space Service Provider (USSP)</p>	
<p>Criticidad: ALTA</p>	

Tabla 5.13 Servicio de procesamiento del plan de operación

Sub-servicio: <u>3.4. Servicio de gestión dinámica de la capacidad</u>	Fase de implementación: U3
Servicio: <u>3. Gestión de la misión</u>	
<p>Descripción:</p> <p>La gestión dinámica de la capacidad tiene como objetivo ajustar la demanda a la capacidad del espacio aéreo. Las opciones disponibles son: regular la demanda para ajustarla a la capacidad (que es limitada) o modificar la capacidad para ajustarla a la demanda.</p> <p>En cuanto a la primera opción, la solución pasa por retrasar ciertas operaciones o proponer un <i>rerouting</i> evitando la zona congestionada. Los pasos a seguir serían:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Las operaciones de alta prioridad no se modifican y se realizan con normalidad. • Los planes de operación que han sido enviados después del RTTA (“Reasonable Time To Act”) son los primeros candidatos para ser modificados. • Si lo anterior no resolviese el problema, se deberían examinar las operaciones de baja prioridad para decidir cuáles tienen mayor riesgo de conflicto. Se aplicarían medidas sobre estas para reducir el riesgo en el espacio aéreo. • Si lo anterior tampoco resolviese el problema, se tendrían en cuenta todos los planes de operación (ordenados de baja prioridad a alta prioridad) y se irían modificando hasta solucionar el problema. <p>El servicio de gestión dinámica de la capacidad solo será utilizado si el espacio aéreo lo necesita (en caso de congestión). Se hará uso de los modelos probabilísticos 4D calculados por el servicio de procesamiento del plan de operación (3.3).</p> <p>En cuanto a la segunda opción —la de modificar la capacidad en función de la demanda—, existen algunas aproximaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • El tráfico se concentrará en ciertas regiones, mientras que otras no se utilizarán tanto, por ejemplo, debido a razones de ruido. Podría haber <i>traffic level triggers</i> que permitan que estas zonas puedan ser utilizadas (poco tráfico, poco ruido). • La presencia de <i>hotspots</i> (puntos calientes, donde más se concentra el tráfico) podría conllevar una revisión de los esquemas de tráfico. Se podrían introducir medidas para producir un tráfico más homogéneo, como aerovías unidireccionales o zonas de velocidad controlada. • El avance de la tecnología podría producir cambios en los requerimientos técnicos de ciertos volúmenes. Por ejemplo, un <i>tracking</i> y navegación de alta precisión podrían permitir reducir la mínima de separación entre aeronaves. Esto permitiría acomodar más tráfico en el mismo volumen de espacio aéreo. 	
<p>Entradas: <u>3.3. Servicio de procesamiento del plan de operación</u> → plan de operación</p>	
<p>Salidas: <u>3.3. Servicio de procesamiento del plan de operación</u> → medidas para ajustar la demanda a la capacidad (qué planes de vuelo deben ser modificados para no saturar el espacio aéreo)</p>	
<p>Proveedor del servicio: U-Space Service Provider (USSP)</p>	
<p>Criticidad: MEDIA</p>	

Tabla 5.14 Servicio de gestión dinámica de la capacidad

Sub-servicio: <u>4.1. Servicio estratégico de gestión de conflictos</u>	Fase de implementación: U2
Servicio: <u>4. Gestión de conflictos</u>	
<p>Descripción:</p> <p>Este servicio se encarga de la gestión de conflictos antes del comienzo de la operación. Consta de dos fases: detección y resolución de conflictos.</p> <p>En cuanto a la fase de detección, se fundamenta en el análisis de las trayectorias 4D predichas por el servicio de procesamiento del plan de operación (3.3). Se realiza una búsqueda de pares de trayectorias que tengan una alta probabilidad de infringir la distancia mínima de separación durante el vuelo.</p> <p>Una vez detectado el conflicto, se debe modificar una de las dos trayectorias con el objetivo de evitar dicho conflicto. Para elegir qué trayectoria tiene que ser modificada, se seguirá el proceso de priorización explicado en el servicio anterior (teniendo en cuenta el RTTA y el riesgo de conflicto). Las modificaciones a la trayectoria vendrán dadas por una lista de soluciones estándar (cambio en el nivel de vuelo, <i>heading</i>, velocidad). Una vez introducida la modificación en una de las dos trayectorias, se comprobará que no han aparecido problemas adicionales. El sistema será el encargado de proponer esta nueva trayectoria al operador, que deberá rehacer el plan de vuelo y enviarlo de nuevo al sistema de procesamiento para que sea aprobado.</p>	
<p>Entradas:</p> <p><u>2.2. Servicio de gestión de la información aeronáutica UAS</u> → restricciones temporales y/o permanentes del espacio aéreo</p> <p><u>3.3. Servicio de procesamiento del plan de operación</u> → trayectorias 4D predichas</p>	
<p>Salidas:</p> <p><u>3.3. Servicio de procesamiento del plan de operación</u> → propuestas de modificación de trayectorias</p>	
<p>Proveedor del servicio: U-Space Service Provider (USSP)</p>	
<p>Criticidad: ALTA [R]</p>	

Tabla 5.15 Servicio estratégico de gestión de conflictos

Sub-servicio: <u>4.2. Servicio táctico de gestión de conflictos</u>	Fase de implementación: U3
Servicio: <u>4. Gestión de conflictos</u>	
<p>Descripción:</p> <p>Este servicio es el encargado de resolver conflictos que ocurren durante el propio vuelo, proponiendo modificaciones en la trayectoria a tiempo real. Puede implementarse como un servicio de información o como uno de control (en el que se dan instrucciones de obligado cumplimiento). Se asume que este servicio será implementado en tierra y no como una función a bordo de la aeronave (las instrucciones se darán a los operadores, no a las aeronaves).</p> <p>La implementación de este servicio requiere que las posiciones de todas las aeronaves sean conocidas y actualizadas con frecuencia y, además, que el error de posicionamiento sea suficientemente pequeño. Con todo esto, el sistema predice conflictos a corto plazo y después propone (u ordena) instrucciones a los UAS para que modifiquen su nivel de vuelo, <i>heading</i> o velocidad. Estas instrucciones deberían llegar al piloto de forma rápida y segura.</p> <p>El servicio táctico de gestión de conflictos puede trabajar de forma más eficiente si se conocen las características de cada aeronave en concreto y sus envolventes de vuelo. Además, el sistema podría verse mejorado si se conocen las intenciones de cada aeronave (plan de operación) en todo momento.</p>	
<p>Entradas:</p> <p><u>1.5. Servicio de seguimiento</u> → <i>tracks</i></p> <p><u>2.2. Servicio de gestión de la información aeronáutica UAS</u> → restricciones temporales y/o permanentes del espacio aéreo</p> <p><u>3.3. Servicio de procesamiento del plan de operación</u> → trayectorias 4D predichas</p>	
<p>Salidas:</p> <p><u>3.3. Servicio de procesamiento del plan de operación</u> → propuestas de modificación de trayectorias</p>	
<p>Proveedor del servicio: U-Space Service Provider (USSP)</p>	
<p>Criticidad: MEDIA</p>	

Tabla 5.16 Servicio táctico de gestión de conflictos

Sub-servicio: <u>5.1. Servicio de gestión de emergencias</u>	Fase de implementación: U2
Servicio: <u>5. Incidentes y emergencias</u>	
<p>Descripción:</p> <p>Este servicio consta de dos partes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Asistencia a pilotos en situación de emergencia con su UAS. • Comunicación de la información a las partes interesadas: <ul style="list-style-type: none"> - Otros pilotos UAS. - Aviación tripulada, servicios de tránsito aéreo - Policía. <p>La asistencia ofrecida a pilotos UAS podría incluir:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Habilitar un sistema para reportar emergencias. • Detectar y alertar de emergencias (cuando sea posible). • Soluciones para minimizar el riesgo. • Planes de contingencia o emergencia. <p>El servicio de gestión de emergencias debe estar configurado para cada operación en concreto. El piloto deberá identificar su UAS o plan de operación para disponer de este servicio. Las emergencias que son comunicadas al piloto son aquellas que pueden poner en riesgo su operación, es decir, aquellas que se encuentren cerca de la trayectoria de vuelo del UAS.</p> <p>El canal de comunicación del servicio de emergencias debería ser monitorizado en todo momento por el piloto. Los factores humanos deberían considerarse, ya que el canal de comunicación estará inactivo durante gran parte del tiempo y el piloto puede no prestarle suficiente atención, o puede estar en una situación de estrés durante la emergencia. El servicio filtrará parte de la información para que resulte relevante para el piloto.</p>	
<p>Entradas:</p> <p><u>1.5. Servicio de seguimiento</u> → <i>tracks</i></p> <p><u>2.2. Servicio de gestión de la información aeronáutica UAS</u> → restricciones temporales y/o permanentes del espacio aéreo</p> <p><u>3.3. Servicio de procesamiento del plan de operación</u> → trayectorias 4D predichas</p>	
<p>Salidas:</p> <p><u>5.2. Servicio de reporte de incidentes y accidentes</u> → emergencias que generen reportes automáticos</p> <p><u>Piloto UAS</u> → información sobre emergencias y posibles soluciones</p>	
<p>Proveedor del servicio: Agencia estatal encargada de la seguridad aérea</p>	
<p>Criticidad: ALTA</p>	

Tabla 5.17 Servicio de gestión de emergencias

Sub-servicio: <u>5.2. Servicio de reporte de incidentes y accidentes</u>	Fase de implementación: U2
Servicio: <u>5. Incidentes y emergencias</u>	
Descripción: <p>Este servicio permite a los operadores UAS reportar incidentes y accidentes. El proceso detallado de los reportes se encuentra en los anexos del proyecto CORUS.</p> <p>El sistema permite introducir identificadores de drones y planes de operación con el objetivo de ayudar a investigaciones futuras. También debería ser seguro y dar acceso únicamente a personas autorizadas. Algunas emergencias podrían generar reportes automáticos de incidentes o accidentes.</p>	
Entradas: <u>5.1. Servicio de gestión de emergencias</u> → emergencias que generen reportes automáticos <u>6.3. Servicio de grabación de seguridad</u> → grabaciones de las operaciones UAS	
Salidas: -	
Proveedor del servicio: Agencia estatal encargada de la seguridad aérea	
Criticidad: BAJA	

Tabla 5.18 Servicio de reporte de incidentes y accidentes

Sub-servicio: <u>5.3. Servicio de reporte de incidentes y accidentes para la ciudadanía</u>	Fase de implementación: U2
Servicio: <u>5. Incidentes y emergencias</u>	
Descripción: <p>Este servicio es similar al 5.2, pero enfocado a la ciudadanía. El U-Space debería permitir que los ciudadanos reporten incidentes o accidentes UAS que hayan presenciado. La interfaz con el usuario debería incluir los suficientes campos como para que se identifiquen los vuelos implicados.</p>	
Entradas: <u>Ciudadanía</u> → información sobre incidentes y accidentes UAS	
Salidas: -	
Proveedor del servicio: Agencia estatal encargada de la seguridad aérea	
Criticidad: BAJA	

Tabla 5.19 Servicio de reporte de incidentes y accidentes para la ciudadanía

Sub-servicio: <u>6.1. Servicio de monitorización</u>	Fase de implementación: U2
Servicio: <u>6. Monitorización</u>	
<p>Descripción:</p> <p>Este servicio obtiene información del servicio de seguimiento (1.5) y lo combina con información relacionada con obstáculos y vehículos no-cooperativos para proporcionar un informe de la situación del espacio aéreo a autoridades, USSPs, operadores y pilotos. Este servicio podría incluir el <i>conformance monitoring</i> de los planes de vuelo y de que se están cumpliendo los límites marcados por <i>geo-fences</i>, limitaciones meteorológicas, riesgo en tierra y riesgo electromagnético.</p> <p>Las alertas deberían emitirse de forma compatible con todas las operaciones UAS. Las alertas sonoras son recomendables.</p>	
<p>Entradas:</p> <p><u>1.5. Servicio de seguimiento</u> → <i>tracks</i></p> <p><u>2.2. Servicio de gestión de la información aeronáutica UAS</u> → restricciones temporales y/o permanentes del espacio aéreo</p> <p><u>7. Servicios del entorno</u> → información del entorno</p>	
<p>Salidas: -</p>	
<p>Proveedor del servicio: U-Space Service Provider (USSP)</p>	
<p>Criticidad: BAJA</p>	

Tabla 5.20 Servicio de monitorización

Sub-servicio: <u>6.2. Servicio de información del tráfico</u>	Fase de implementación: U2
Servicio: <u>6. Monitorización</u>	
<p>Descripción:</p> <p>Este servicio provee al piloto u operador de información relacionada con el tráfico de UAS y alertas sobre otros vuelos —ya sean tripulados o no tripulados— que podrían ser de interés. Dichos vuelos tendrán, generalmente, cierto riesgo de infringir la mínima de separación con el UAS del piloto.</p> <p>La información del tráfico es también una presentación de la “situación del aire”, que podría ser una imagen proporcionada al usuario que incluya los <i>tracks</i> de las aeronaves que estén operando de forma simultánea al UAS del piloto.</p> <p>El servicio de información del tráfico también da acceso a las densidades de tráfico esperadas en cada una de las localizaciones. Esta densidad se calcula utiliza los planes de operación que han sido aceptados por el sistema de procesamiento.</p>	
<p>Entradas:</p> <p><u>1.5. Servicio de seguimiento</u> → <i>tracks</i></p> <p><u>3.3. Servicio de procesamiento del plan de operación</u> → planes de operación</p>	
<p>Salidas: -</p>	
<p>Proveedor del servicio: U-Space Service Provider (USSP)</p>	
<p>Criticidad: ALTA [R]</p>	

Tabla 5.21 Servicio de información del tráfico

Sub-servicio: <u>6.3. Servicio de grabación de seguridad</u>	Fase de implementación: U2
Servicio: <u>6. Monitorización</u>	
<p>Descripción:</p> <p>El objetivo del servicio de grabación es el de dar apoyo a las investigaciones de incidentes y accidentes. Un segundo uso que se le podría dar sería el de fuente de información para la investigación y el entrenamiento de pilotos.</p> <p>En un estadio más avanzado, la información se podría postprocesar utilizando algoritmos de inteligencia artificial que identifiquen situaciones de alto riesgo y que sirvan para ajustar ciertos parámetros que mitiguen el riesgo en operaciones futuras.</p> <p>A la vista de las reticencias actuales de los operadores UAS, el acceso a las grabaciones de seguridad estará restringido, muy probablemente.</p>	
Entradas: -	
<p>Salidas:</p> <p><u>5.2. Servicio de reporte de incidentes y accidentes</u> → grabaciones de las operaciones UAS</p> <p><u>6.4. Servicio de <i>logbook</i> digital</u> → grabaciones de las operaciones UAS</p>	
Proveedor del servicio: Agencia estatal encargada de la seguridad aérea	
Criticidad: BAJA	

Tabla 5.22 Servicio de grabación de seguridad

Sub-servicio: <u>6.4. Servicio de <i>logbook</i> digital</u>	Fase de implementación: U2
Servicio: <u>6. Monitorización</u>	
<p>Descripción:</p> <p>Este servicio extrae información de las grabaciones para producir informes relevantes para los usuarios. Los operadores podrán acceder a sumarios de información sobre las operaciones en que se han visto implicados, tiempos de inicio y finalización, localizaciones, identificadores, estadísticas de la aeronave, etc. Los pilotos podrán consultar sus propias estadísticas, así como su historial de vuelo.</p> <p>El servicio debería dar acceso a la información relativa al usuario que realiza la consulta, pero no a la información relativa a los demás usuarios U-Space (por motivos de privacidad). La excepción a esta regla serían los comités de investigación de accidentes o la autoridad competente, que sí estarían autorizados para acceder a los <i>logbooks</i> de cualquier operación.</p>	
<p>Entradas:</p> <p><u>3.3. Servicio de procesamiento del plan de operación</u> → planes de operación</p> <p><u>6.3. Servicio de grabación de seguridad</u> → grabaciones de las operaciones UAS</p>	
Salidas: -	
Proveedor del servicio: Agencia estatal encargada de la seguridad aérea	
Criticidad: BAJA	

Tabla 5.23 Servicio de *logbook* digital

Sub-servicio: <u>6.5. Servicio de monitorización de la infraestructura de navegación</u>	Fase de implementación: U2
Servicio: <u>6. Monitorización</u>	
Descripción: Este servicio proporciona información sobre la infraestructura de navegación. Se utiliza durante las operaciones. El servicio debería mostrar alertas cuando los niveles de calidad del sistema de navegación se vean degradados.	
Entradas: -	
Salidas: -	
Proveedor del servicio: Navigation Service Provider (NSP)	
Criticidad: MEDIA	

Tabla 5.24 Servicio de monitorización de la infraestructura de navegación

Sub-servicio: <u>6.6. Servicio de monitorización de la infraestructura de comunicación</u>	Fase de implementación: U2
Servicio: <u>6. Monitorización</u>	
Descripción: Este servicio proporciona información sobre la infraestructura de comunicación. Se utiliza durante las operaciones. El servicio debería mostrar alertas cuando los niveles de calidad del sistema de comunicación se vean degradados.	
Entradas: -	
Salidas: -	
Proveedor del servicio: Communications Service Provider (CSP)	
Criticidad: MEDIA	

Tabla 5.25 Servicio de monitorización de la infraestructura de comunicación

Sub-servicio: <u>7.1. Servicio de información meteorológica</u>	Fase de implementación: U2
Servicio: <u>7. Entorno</u>	
Descripción: Este servicio proporciona información meteorológica relevante para las operaciones UAS. Esto incluye información a nivel "hiperlocal" (información precisa en cada uno de los puntos de paso del UAS), cuando sea necesaria y esté disponible.	
Entradas: -	
Salidas: -	
Proveedor del servicio: Weather Data Service Provider (WDSP)	
Criticidad: ALTA	

Tabla 5.26 Servicio de información meteorológica

Sub-servicio: <u>7.2. Servicio de información geoespacial</u>	Fase de implementación: U2
Servicio: <u>7. Entorno</u>	
Descripción: Este servicio recopila y presenta información sobre el terreno, edificios y obstáculos que sean relevantes para las operaciones de UAS. La información podría estar disponible a distintos niveles de exactitud dependiendo de su origen y de las necesidades de la operación.	
Entradas: -	
Salidas: -	
Proveedor del servicio: Ground Risk Observation Service Provider (GROSP)	
Criticidad: MEDIA	

Tabla 5.27 Servicio de información geoespacial

Sub-servicio: <u>7.3. Servicio de densidad de población</u>	Fase de implementación: U2
Servicio: <u>7. Entorno</u>	
<p>Descripción:</p> <p>Este servicio recopila y presenta un mapa sobre la densidad de población en zonas relevantes para la operación de UAS. Este mapa se utiliza para evaluar el nivel de riesgo en tierra.</p> <p>Como medida aproximada de la densidad de población, se podría utilizar la densidad de teléfonos móviles en una determinada zona.</p>	
Entradas: -	
Salidas: -	
Proveedor del servicio: Ground Risk Observation Service Provider (GROSP)	
Criticidad: BAJA	

Tabla 5.28 Servicio de densidad de población

Sub-servicio: <u>7.4. Servicio de información de interferencia electromagnética</u>	Fase de implementación: U2
Servicio: <u>7. Entorno</u>	
<p>Descripción:</p> <p>Este servicio recopila y presenta información sobre las zonas en las que es más probable sufrir interferencias electromagnéticas.</p>	
Entradas: -	
Salidas: -	
Proveedor del servicio: Surveillance Service Provider (SSP)	
Criticidad: BAJA	

Tabla 5.29 Servicio de información de interferencia electromagnética

Sub-servicio: <u>7.5. Servicio de cobertura de navegación</u>	Fase de implementación: U2
Servicio: <u>7. Entorno</u>	
Descripción: Este servicio proporciona información sobre la cobertura de navegación. Se puede mostrar en forma de mapa y depende del tipo de navegación utilizado (basada en tierra o por satélite). El servicio de cobertura de navegación se utilizará para planificar las operaciones en función del nivel de cobertura requerido.	
Entradas: -	
Salidas: -	
Proveedor del servicio: Navigation Service Provider (NSP)	
Criticidad: BAJA	

Tabla 5.30 Servicio de cobertura de navegación

Sub-servicio: <u>7.6. Servicio de cobertura de las comunicaciones</u>	Fase de implementación: U2
Servicio: <u>7. Entorno</u>	
Descripción: Este servicio proporciona información sobre la cobertura de las comunicaciones. Se puede mostrar en forma de mapa y depende del tipo de comunicaciones utilizado (basadas en tierra o por satélite). El servicio de cobertura de comunicaciones se utilizará para planificar las operaciones en función del nivel de cobertura requerido.	
Entradas: -	
Salidas: -	
Proveedor del servicio: Communications Service Provider (CSP)	
Criticidad: BAJA	

Tabla 5.31 Servicio de cobertura de las comunicaciones

Sub-servicio: <u>8.1. Servicio de interfaz procedural con el ATC</u>	Fase de implementación: U2
Servicio: <u>8. Interfaz con el ATC</u>	
<p>Descripción:</p> <p>El servicio de interfaz procedural con el ATC es un mecanismo para coordinar la entrada de un vuelo UAS dentro de espacio aéreo controlado. La interfaz funciona de forma previa al inicio del vuelo (estratégica). El servicio de procesamiento del plan de operación (3.3) será el encargado de reclamar el servicio y a través del mismo:</p> <ul style="list-style-type: none"> • El ATC podrá aceptar o rechazar el vuelo. • El ATC podrá establecer los requerimientos y procesos que el UAS tendrá que seguir. 	
<p>Entradas:</p> <p><u>3.3. Servicio de procesamiento del plan de operación</u> → solicitud del servicio</p>	
<p>Salidas: -</p>	
<p>Proveedor del servicio: Air Navigation Service Provider (ANSP)</p>	
<p>Criticidad: BAJA</p>	

Tabla 5.32 Servicio de interfaz procedural con el ATC

Sub-servicio: <u>8.2. Servicio de interfaz colaborativa con el ATC</u>	Fase de implementación: U3
Servicio: <u>8. Interfaz con el ATC</u>	
<p>Descripción:</p> <p>El servicio de interfaz colaborativa con el ATC ofrece comunicación entre el piloto UAS (o el propio dron en caso de que sea un vuelo autónomo) y el ATC mientras la aeronave se encuentre dentro de espacio aéreo controlado. La comunicación podría ser oral o textual. La interfaz colaborativa permite que los UAS reciban instrucciones y autorizaciones de manera estándar y eficiente (a tiempo real, a diferencia de la interfaz procedural). El ATC tendrá acceso en todo momento a la información de vigilancia del espacio aéreo U-Space (1.6).</p> <p>La interfaz procedural con el ATC es el método que hay que utilizar para obtener una autorización para entrar en un área controlada. El ATC puede negarse a aceptar nuevos vuelos. La interfaz colaborativa no es un medio para evitar dichas autorizaciones.</p>	
<p>Entradas:</p> <p><u>1.6. Servicio de datos para la vigilancia</u> → información de vigilancia del espacio aéreo U-Space <u>3.3. Servicio de procesamiento del plan de operación</u> → solicitud del servicio</p>	
<p>Salidas: -</p>	
<p>Proveedor del servicio: Air Navigation Service Provider (ANSP)</p>	
<p>Criticidad: BAJA</p>	

Tabla 5.33 Servicio de interfaz colaborativa con el ATC

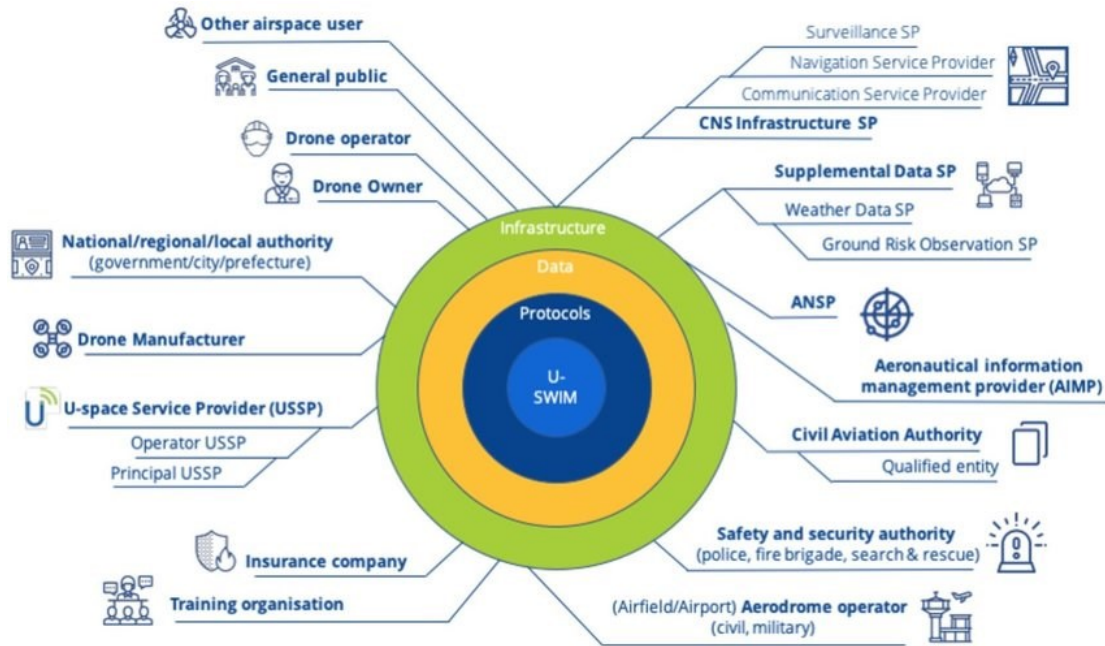


Fig. 5.2 Partes interesadas (*stakeholders*) del sistema U-Space [48]

Stakeholders	Descripción
U-Space Service Provider (USSP)	Entidad que proporciona alguno de los servicios U-Space a operadores UAS, pilotos, UAS y a cualquier otro usuario que esté realizando una operación dentro del espacio aéreo VLL. Se puede distinguir entre proveedores de servicios principales (Principal USSP) y concurrentes (Operator USSP).
CNS Infrastructure Service Provider	Entidad que proporciona la disponibilidad de los sistemas de comunicación, navegación y vigilancia que dan soporte a la operación.
Weather Data Service Provider (WDSP)	Entidad que proporciona información meteorológica (a nivel hiperlocal) y asegura que sea precisa, correcta y esté actualizada.
Ground Risk Observation Service Provider (GROSP)	Entidad que proporciona información sobre el riesgo en tierra, como la modelización del terreno, la altura de los obstáculos o la densidad de población.

Air Navigation Service Provider (ANSP)	Organización encargada de la separación de aeronaves en espacio aéreo controlado. En el caso del U-Space, los ANSPs estarán implicados en la integración entre UAS y aviación convencional.
Operador UAS	Entidad legal o persona responsable de las operaciones UAS que realiza. Es el equivalente a las aerolíneas de la aviación comercial. El operador UAS puede ser civil, militar o un aeroclub. Obtiene acceso seguro y flexible al espacio aéreo.

Tabla 5.34 Descripción de algunos *stakeholders* del sistema U-Space [48]

CAPÍTULO 6. RELACIÓN ENTRE REQUISITOS OPERATIVOS Y SERVICIOS UTM

En este capítulo se estudia la relación entre los requisitos operativos de la empresa de logística presentados en el Capítulo 4 y los servicios UTM que se proponen en proyectos relacionados, presentados en el Capítulo 5.

6.1. Matriz requisitos operativos – servicios UTM

De la misma forma que ocurre en el ATM, los servicios que se prestan en el ámbito de los UAS también deberían estar orientados a prevenir colisiones entre aeronaves, acelerar y mantener el flujo ordenado del tránsito aéreo, proporcionar información útil para la marcha segura y eficaz de los vuelos y notificar a los organismos de búsqueda y salvamento sobre situaciones de emergencia [49].

Un servicio que no cubra ninguna de las necesidades del operador es un servicio sin razón de ser, que obedece a intereses ajenos al transcurso eficaz y seguro de las operaciones. Por tanto, cada uno de los servicios UTM debería ser ideado con el objetivo de dar solución a uno o varios de los requisitos operativos o necesidades de los usuarios del espacio aéreo U-Space. La prestación de servicios debería llevarse a cabo de forma abierta y transparente, publicando las condiciones de acceso a dichos servicios y estableciendo un proceso periódico de consulta formal entre sus usuarios [50].

Los servicios UTM tratados en este proyecto se pueden clasificar en servicios necesarios o principales, aquellos que son indispensables para el desarrollo de la operación; y en servicios complementarios, aquellos que no son críticos para la operación, pero son útiles si se dispone de ellos. Esta clasificación está relacionada con los niveles de criticidad de los servicios tratados en el Capítulo 5. Los servicios de criticidad alta serán designados como principales y los servicios de criticidad media o baja serán designados como complementarios.

A continuación, de la Tabla 6.1 a la Tabla 6.6 se muestra la matriz de requisitos operativos y servicios UTM (se ha separado en 6 partes para conseguir una correcta visualización de todas las casillas en el formato de este documento). Se han tratado un total de 32 servicios UTM y 26 requisitos operativos.

Cada una de las filas se corresponde con un requisito operativo distinto y cada una de las columnas con un servicio UTM. Si la casilla está marcada, quiere decir que el servicio es útil para dar solución al requisito operativo. Los servicios

necesarios se marcan con cruces y los complementarios con círculos. Los servicios que no dan solución a ningún requisito están coloreados en un tono azul más claro (columnas sin ninguna casilla marcada) y los requisitos que no reciben soporte de ningún servicio están coloreados en un tono naranja más claro (filas sin ninguna casilla marcada).

	Registro	Asistencia para el registro	Identificación electrónica	Informe de posición	Seguimiento	Datos para la vigilancia
Registro operador UAS	X	0				
Formación y registro piloto UAS	X	0				
Seguro UAS						
Registro aeronaves	X	0				
Establecer objetivo principal operación						
Análisis escenario operativo						
Medidas de contingencia						
Selección UAS y personal						
Restricciones U-space						
Redacción y entrega plan de operación						
Aprobación del plan de operación						
Comprobación estado UAS						
Comprobación permisos y plantilla						
Previsión meteorológica						
Comprobación restricciones U-space						
Consultar meteo y tomar decisión de vuelo						
Transporte al punto de inicio						
Comprobaciones UAS previas al vuelo						
Monitorizar la trayectoria			X	X	X	
Monitorizar batería y estado UAS			X			
Mantener la separación				X	X	
Recibir información sobre el tráfico				X	X	
Recibir información sobre disponibilidad vertipuerto						
Comprobaciones UAS posteriores al vuelo						
Análisis información de vuelo						
Transporte al almacén						

Tabla 6.1 Matriz de requisitos operativos y servicios UTM (parte 1)

	Geoconsciencia	Gestión de la información aeronáutica UAS	Geo-fencing dinámico	Asistencia para la preparación del plan de operación	Asistencia para el análisis de riesgos	Procesamiento del plan de operación
Registro operador UAS						
Formación y registro piloto UAS						
Seguro UAS						
Registro aeronaves						
Establecer objetivo principal operación						
Análisis escenario operativo	X	X			0	
Medidas de contingencia	X				0	
Selección UAS y personal						
Restricciones U-space	X					
Redacción y entrega plan de operación	X	X		0	0	X
Aprobación del plan de operación						X
Comprobación estado UAS						
Comprobación permisos y plantilla						
Previsión meteorológica						
Comprobación restricciones U-space	X		0			
Consultar meteo y tomar decisión de vuelo						
Transporte al punto de inicio						
Comprobaciones UAS previas al vuelo						
Monitorizar la trayectoria			0			
Monitorizar batería y estado UAS						
Mantener la separación						
Recibir información sobre el tráfico						
Recibir información sobre disponibilidad vertipuerto						
Comprobaciones UAS posteriores al vuelo						
Análisis información de vuelo						
Transporte al almacén						

Tabla 6.2 Matriz de requisitos operativos y servicios UTM (parte 2)

	Gestión dinámica de la capacidad	Gestión de conflictos (estratégica)	Gestión de conflictos (táctica)	Gestión de emergencias	Reporte de incidentes y accidentes
Registro operador UAS					
Formación y registro piloto UAS					
Seguro UAS					
Registro aeronaves					
Establecer objetivo principal operación					
Análisis escenario operativo					
Medidas de contingencia				X	
Selección UAS y personal					
Restricciones U-space					
Redacción y entrega plan de operación		X			
Aprobación del plan de operación	0				
Comprobación estado UAS					
Comprobación permisos y plantilla					
Previsión meteorológica					
Comprobación restricciones U-space					
Consultar meteo y tomar decisión de vuelo					
Transporte al punto de inicio					
Comprobaciones UAS previas al vuelo					
Monitorizar la trayectoria					
Monitorizar batería y estado UAS					
Mantener la separación			X		
Recibir información sobre el tráfico			X		
Recibir información sobre disponibilidad vertipuerto					
Comprobaciones UAS posteriores al vuelo					
Análisis información de vuelo					0
Transporte al almacén					

Tabla 6.3 Matriz de requisitos operativos y servicios UTM (parte 3)

	Reporte ciudadanía de incidentes y accidentes	Monitorización	Información del tráfico	Grabación de seguridad	Logbook digital
Registro operador UAS					
Formación y registro piloto UAS					
Seguro UAS					
Registro aeronaves					
Establecer objetivo principal operación					
Análisis escenario operativo					
Medidas de contingencia					
Selección UAS y personal					
Restricciones U-space					
Redacción y entrega plan de operación					
Aprobación del plan de operación					
Comprobación estado UAS					
Comprobación permisos y plantilla					
Previsión meteorológica					
Comprobación restricciones U-space					
Consultar meteo y tomar decisión de vuelo					
Transporte al punto de inicio					
Comprobaciones UAS previas al vuelo					
Monitorizar la trayectoria		0			
Monitorizar batería y estado UAS					
Mantener la separación					
Recibir información sobre el tráfico			X		
Recibir información sobre disponibilidad vertipuerto					
Comprobaciones UAS posteriores al vuelo					
Análisis información de vuelo	0			0	0
Transporte al almacén					

Tabla 6.4 Matriz de requisitos operativos y servicios UTM (parte 4)

	Monitorización de la infraestructura de navegación	Monitorización de la infraestructura de comunicación	Información meteorológica	Información geoespacial	Densidad de población
Registro operador UAS					
Formación y registro piloto UAS					
Seguro UAS					
Registro aeronaves					
Establecer objetivo principal operación					
Análisis escenario operativo				0	0
Medidas de contingencia					
Selección UAS y personal					
Restricciones U-space					
Redacción y entrega plan de operación				0	0
Aprobación del plan de operación					
Comprobación estado UAS					
Comprobación permisos y plantilla					
Previsión meteorológica			X		
Comprobación restricciones U-space					
Consultar meteo y tomar decisión de vuelo			X		
Transporte al punto de inicio					
Comprobaciones UAS previas al vuelo					
Monitorizar la trayectoria					
Monitorizar batería y estado UAS	0	0			
Mantener la separación					
Recibir información sobre el tráfico					
Recibir información sobre disponibilidad vertipuerto					
Comprobaciones UAS posteriores al vuelo					
Análisis información de vuelo					
Transporte al almacén					

Tabla 6.5 Matriz de requisitos operativos y servicios UTM (parte 5)

	Interferencia electromagnética	Cobertura de navegación	Cobertura de las comunicaciones	Interfaz procedural con el ATC	Interfaz colaborativa con el ATC
Registro operador UAS					
Formación y registro piloto UAS					
Seguro UAS					
Registro aeronaves					
Establecer objetivo principal operación					
Análisis escenario operativo	0	0	0		
Medidas de contingencia					
Selección UAS y personal					
Restricciones U-space					
Redacción y entrega plan de operación	0	0	0		
Aprobación del plan de operación					
Comprobación estado UAS					
Comprobación permisos y plantilla					
Previsión meteorológica					
Comprobación restricciones U-space					
Consultar meteo y tomar decisión de vuelo					
Transporte al punto de inicio					
Comprobaciones UAS previas al vuelo					
Monitorizar la trayectoria					
Monitorizar batería y estado UAS					
Mantener la separación					
Recibir información sobre el tráfico					
Recibir información sobre disponibilidad vertipuerto					
Comprobaciones UAS posteriores al vuelo					
Análisis información de vuelo					
Transporte al almacén					

Tabla 6.6 Matriz de requisitos operativos y servicios UTM (parte 6)

6.2. Análisis sobre la utilidad de los servicios

La información sobre la utilidad de los servicios que se puede extraer de la matriz se representa de forma más clara en la Fig. 6.1, donde se muestra el número de requisitos operativos que cubre cada uno de los servicios UTM (esto es, el número de casillas marcadas que tiene cada una de las columnas de la matriz).

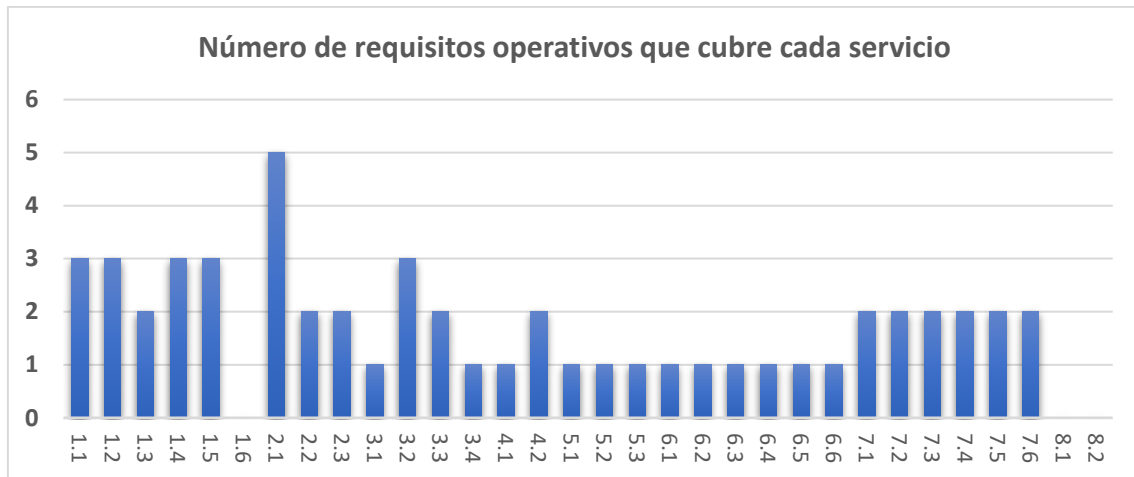


Fig. 6.1 Número de requisitos operativos cubiertos por cada uno de los servicios UTM

Tal y como se puede observar, hay un total de 3 servicios UTM que no están relacionados con ninguno de los requisitos operativos identificados en este proyecto.

El primero de ellos es el servicio de datos para la vigilancia (1.6), encargado de transmitir información de seguimiento a fuentes como radares primarios y sistemas de detección de drones o sistemas de vigilancia de aeronaves convencionales. Desde el punto de vista del operador UAS, no es necesario que su aeronave esté siendo monitorizada por el ATC convencional. Los servicios necesarios para que tanto el operador como el sistema U-Space conozcan la posición y los *tracks* de los UAS son el servicio de informe de la posición (1.4) y el servicio de seguimiento (1.5) —ver Capítulo 5—. La interacción entre el tránsito de UAS y la aviación convencional es un área de estudio que todavía está siendo desarrollada —en proyectos como INVIRCAT, donde se estudia la integración de RPAS en los procedimientos ATC y las infraestructuras dentro del TMA, bajo reglas de vuelo instrumental [22]—, pero se prevé que los UAS operen dentro del espacio aéreo U-Space, a nivel de vuelo VLL y sin entrar en ningún momento dentro de espacio aéreo controlado.

Por las razones que se acaban de exponer, tampoco son necesarios los dos últimos servicios propuestos en el proyecto CORUS: las interfaces con el ATC (servicios 8.1 y 8.2). Las operaciones UAM están diseñadas para desarrollarse dentro del espacio aéreo U-Space y no son competencia de los controladores del tráfico aéreo convencional.

Por otro lado, los servicios más «útiles» son los que pertenecen a las 3 primeras familias: «Identificación y seguimiento», «Gestión del espacio aéreo / geoconsciencia» y «Gestión de la misión». Concretamente, el servicio de geoconsciencia (2.1) es el que más requisitos cubre: un total de 5. Este servicio será de vital importancia para obtener información sobre las restricciones del espacio aéreo U-Space, necesaria para realizar un análisis del entorno operativo, redactar un plan de operación y planificar unas medidas de contingencia en caso de sucesos imprevistos.

A modo de breve resumen, los servicios necesarios para desarrollar una operación UAM deberían permitir lo siguiente:

- Registrar al operador UAS, los pilotos a distancia y las aeronaves en el sistema U-Space.
- Identificar las aeronaves de forma unívoca, recibir la información de vuelo (principalmente informes de posición) de forma remota y calcular *tracks*.
- Proporcionar información sobre las restricciones del espacio aéreo para UAS (*geo-fences*, zonas PRD, CTRs, etc.) y el riesgo en tierra dentro del espacio aéreo U-Space.
- Autorizar operaciones, recibiendo información como Manuales de Operación y/o planes de vuelo y comprobando que la operación se puede realizar de forma segura y eficiente. Además, en una fase estratégica, se debe garantizar que todas las operaciones UAS autorizadas están libres de intersecciones en el espacio y el tiempo.
- Suministrar información sobre el tráfico cercano al UAS, alertar sobre los conflictos que se están produciendo a tiempo real y proponer medidas para solucionarlos; o establecer unas reglas para que las aeronaves se separen en situación de conflicto, teniendo en cuenta todos los escenarios posibles.
- Proporcionar asistencia a pilotos en situación de emergencia con su UAS y alertar a los servicios de emergencia, en caso de que sea necesario.
- Proporcionar información meteorológica detallada del espacio aéreo U-Space.

- Proporcionar información sobre la disponibilidad de los vertipuertos y autorizar el aterrizaje en caso de que no estén ocupados cuando sea requerido por el piloto UAS.

6.3. Análisis sobre los requisitos operativos

El mismo análisis se puede realizar tomando como referencia los requisitos operativos o filas de la matriz. En la Fig. 6.2 se observan el número de servicios UTM que benefician o dan soporte a cada uno de los requisitos operativos (esto es, el número de casillas marcadas que tiene cada una de las filas de la matriz).

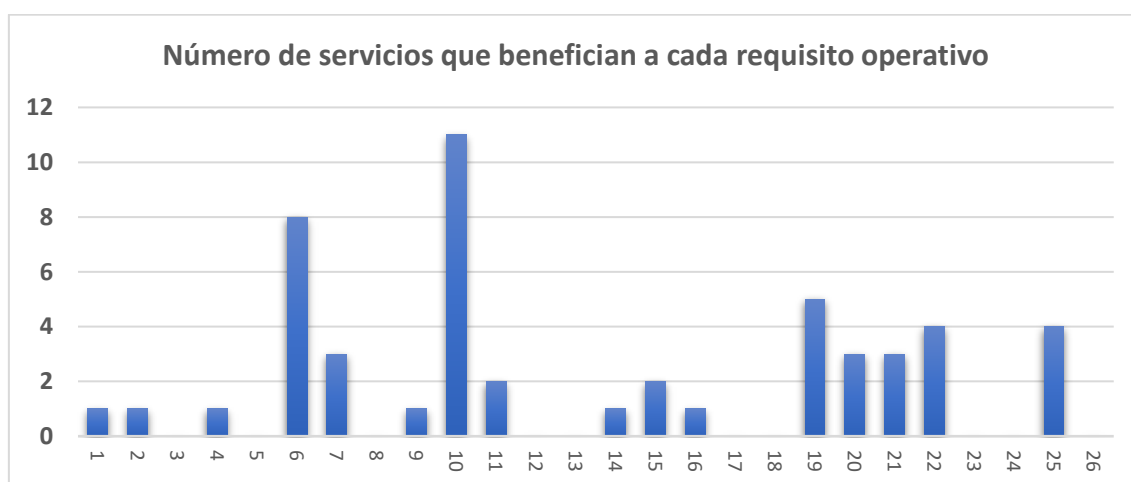


Fig. 6.2 Número de servicios UTM que dan soporte a cada uno de los requisitos operativos

Tal y como se puede observar, hay un total de 10 requisitos operativos que no reciben asistencia de ninguno de los servicios UTM identificados. Esto puede ser debido a que el requisito se puede gestionar por cuenta propia, es decir, que el operador UAS es capaz de solucionarlo de forma autónoma sin necesidad de proveedores externos; o puede ser debido a que en el proyecto CORUS no se ha incluido un servicio que solucione dicho requisito operativo.

El primer caso se corresponde con los siguientes requisitos, aquellos que no necesitan de un servicio externo para llevarse a cabo:

- Contratar el seguro de responsabilidad civil.
- Establecer el objetivo principal de la operación.

- Selección del modelo de UAS y del personal.
- Comprobación del estado del UAS.
- Comprobación de los permisos y la plantilla.
- Transporte al punto de inicio.
- Comprobaciones del UAS previas al vuelo.
- Comprobaciones del UAS posteriores al vuelo.
- Transporte al almacén.

El único requisito que requiere la creación de un nuevo servicio es el de «recibir información sobre la disponibilidad del vertipuerto». Este servicio debería monitorizar la ocupación de los vertipuertos y el piloto UAS debería poder consultarla en la estación de control terrena. En caso de que el vertipuerto estuviera libre, el piloto UAS enviaría una solicitud de aterrizaje al servicio y este la aprobaría, autorizando así el aterrizaje. Si el vertipuerto estuviera ocupado, el piloto UAS debería realizar una maniobra de espera (un *hover* cerca de la localización del vertipuerto, probablemente) mientras la zona de aterrizaje está siendo despejada.

CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES

En este estudio se ha presentado la caracterización de una operación UAM de transporte de paquetería, teniendo en cuenta tanto las necesidades del operador UAS como el estado de la normativa a nivel europeo y los servicios UTM que se están proponiendo en otros proyectos de investigación y desarrollo del sistema U-Space. La operación consiste en la entrega de paquetes entre un almacén de logística y un punto de recogida situado en el centro de la ciudad de Barcelona.

En primer lugar, se analizaron tanto el Reglamento 2019/947 como el Reglamento 2021/664. Del primero se obtuvo que la operación tratada en este proyecto se encuentra dentro de la categoría «certificada», puesto que implica el sobrevuelo de personas en el ámbito urbano. El paquete regulatorio para dicha categoría se encuentra actualmente en desarrollo. Del segundo Reglamento se obtuvieron las primeras disposiciones sobre el futuro sistema U-Space y el conjunto de servicios que serán obligatorios a partir de su entrada en vigor a principios de 2023.

Durante la caracterización de la operación se propusieron las localizaciones de despegue y aterrizaje y los medios técnicos utilizados: se seleccionó un UAS (del tipo eVTOL) con batería, rango y carga de pago adecuados para la operación y se diseñó un vertipuerto. También se detallaron las responsabilidades y requisitos del piloto a distancia y se realizó un análisis de los riesgos asociados a la operación siguiendo la metodología de la matriz de riesgos propuesta por OACI. Finalmente, se incluyeron instrucciones de mantenimiento para el UAS, un proceso que debería ser minucioso puesto que la operación es del tipo «certificada».

A continuación, se abordó la operación desde el punto de vista del operador UAS. Se definieron distintos grupos de trabajo dentro del departamento de operaciones aéreas de la empresa de logística y distintas fases de la operación. Para cada una de ellas, se realizó un flujograma con el reparto y la jerarquía de las tareas y se detallaron cuáles son las necesidades específicas del operador. Por otro lado, se recopilaron los servicios UTM propuestos en el proyecto CORUS, agrupados en distintas familias de servicios.

A partir de la relación entre los requisitos del operador y los servicios UTM, se evidenció la necesidad y la importancia de contar con un servicio de geoconsciencia, encargado de informar sobre las restricciones temporales del espacio aéreo U-Space. Especialmente en escenarios complejos o con una gran densidad de tráfico, también sería útil y necesario disponer de un servicio de resolución de conflictos, tanto de forma estratégica como de forma táctica.

También se puso de manifiesto la necesidad de contar con un servicio que el proyecto CORUS no contempla: el servicio de disponibilidad de vertipuertos, encargado de informar al operador UAS, a tiempo real, sobre la ocupación de los vertipuertos de aterrizaje.

En cuanto al trabajo futuro, la UAM trae consigo diversos desafíos que tendrán que ser solucionados. Se deberá demostrar que la operación conjunta de múltiples UAS en el espacio aéreo urbano (cada uno con unos objetivos y trayectorias de vuelo distintas) es segura para las personas, no perjudica a la fauna local ni al medioambiente y no afecta negativamente a la calidad de vida de los habitantes (niveles de ruido aceptables, protección de la privacidad, robustez del sistema de ciberseguridad). La tecnología VTOL y los algoritmos de detección y resolución de conflictos deberán evolucionar para evitar cualquier posibilidad de colisión incluso en los escenarios más complejos. Aun así, la UAM se posiciona como una sólida alternativa al transporte terrestre y Europa está apostando por ella, por lo que pasará a formar parte de nuestro día a día en el futuro más cercano.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] EASA. "Study on the Societal Acceptance of Urban Air Mobility in Europe", Edición 1, (2021).
- [2] ONU. "World Urbanization Prospects: the 2014 Revision", *Department of Economic and Social Affairs, Population Division*, (2014).
- [3] InfoDron. "La movilidad aérea urbana en España generará 1.250 millones de euros en 2035". <https://www.infodron.es/id/2021/04/21/noticia-movilidad-aerea-urbana-movera-espana-millones-euros.html>. Fecha de consulta: 02/2022.
- [4] Wing. "Drone delivery when you need it". <https://wing.com/how-it-works/>. Fecha de consulta: 02/2022.
- [5] OACI. "Safety Report 2020 Edition", pp. 24-25, (2020).
- [6] EASA. "Concept of Operations for Drones: A Risk Based Approach to Regulation of Unmanned Aircraft", *EASA Brochure*, (2015).
- [7] OACI. "Anexo 2 al Convenio sobre Aviación Civil Internacional. Reglamento del Aire", Edición 10, (2005).
- [8] Reglamento de Ejecución (UE) 923/2012 de la Comisión, (2012).
- [9] SESAR. "Concept of Operations for European UTM Systems (CORUS)". Vol. 3, Edition 03.00.02, (2019).
- [10] Reglamento de Ejecución (UE) 2019/947 de la Comisión, (2019).
- [11] AESA. "Guía para la Presentación de una Solicitud de Certificación como Operador de UAS Ligero", Versión 1, (2021).
- [12] Reglamento de Ejecución (UE) 2020/639 de la Comisión, (2020).
- [13] AESA. "Resolución de la Dirección de la Agencia Estatal de Seguridad Aérea por la que se Aprueban Escenarios Estándar Nacionales (STS-ES) para Operaciones de UAS en la Categoría «Específica»", (2020).
- [14] AESA. "Proceso de solicitud de autorización operacional en categoría «específica»". <https://www.seguridadaerea.gob.es/es/ambitos/drones/operaciones-uas-drones/operaciones-con-uas-drones---categoria-especifica>. Fecha de consulta: 02/2022.

- [15] EASA. “Concept for Regulation of UAS ‘Certified’ Category Operations of UAS, the Certification of UAS to be Operated in the ‘Specific’ Category and for the Urban Air Mobility Operations”, Issue 2.1, (2019).
- [16] AESA. “Guía sobre el Contenido del Manual de Operaciones. Categoría Específica bajo Régimen de Autorización”, AMC1 y GM1 UAS.SPEC.030(3)(e), Revisión 2, (2021).
- [17] Reglamento de Ejecución (UE) 2021/664 de la Comisión, (2021).
- [18] Reglamento de Ejecución (UE) 923/2012 de la Comisión, Artículo 4: Exenciones para operaciones especiales, (2012).
- [19] SESAR. “U-Space Blueprint”, MG-04-17-617-EN-N, (2017).
- [20] Actualidad Aeroespacial. “ENAIRE prevé que su plataforma de U-Space vea la luz en 2023”. <https://actualidadaeroespacial.com/enaire-preve-que-su-plataforma-de-u-space-vea-la-luz-en-2023/>. Fecha de consulta: 02/2022.
- [21] ENAIRE. “ENAIRE invierte más de 1,3 millones de euros en su plataforma de gestión automatizada y digital de drones (U-Space)”. https://www.enaire.es/es_ES/2021_08_26/ndp_adjudicacion_u-space. Fecha de consulta: 02/2022.
- [22] SESAR. “IFR RPAS Control in Airports and TMA (INVIRCAT)”. Initial CONOPS. Edition 00.01.01, (2021).
- [23] SESAR. “Concept of Operations for European UTM Systems – Extension for Urban Air Mobility (CORUS-XUAM)”. <https://corus-xuam.eu/>. Fecha de consulta: 02/2022.
- [24] SESAR. “U-Space Separation in Europe (USEPE)”. ConOps Outline, Edition 00.01.00, D3.1, (2021).
- [25] Google Earth. Imágenes satelitales del Área Metropolitana de Barcelona. Fecha de consulta: 01/2022.
- [26] ENAIRE. “Insignia. Capas aeronáuticas VIGOR. Espacios aéreos”. <https://insignia.enaire.es/>. Fecha de consulta: 01/2022.
- [27] Yahoo Finance. “Entrevista a Paul Misener, vicepresidente de Política Global de Innovación y Comunicaciones de Amazon”. <https://finance.yahoo.com/news/exclusive-amazon-reveals-details-about-1343951725436982.html>. Fecha de consulta: 01/2022.
- [28] YANGDA. Manual de usuario del *Sky Whale heavy-lift electric* VTOL. Versión 2.5, (2021).

- [29] YANGDA. Manual de usuario del software *LAUNCH GCS*. Versión 1.0. <https://www.yangdaonline.com/yangda-launch-ground-control-software-for-drone/>. Fecha de consulta: 01/2022.
- [30] Goodrich K. H., Barmore B. E., “Exploratory Analysis of the Airspace Throughput and Sensitivities of an Urban Air Mobility System”, *18th AIAA Aviation Technology, Integration and Operations Conference*, (2018).
- [31] Curlander et al. “Multi-Level Fulfillment Center for Unmanned Aerial Vehicles”, *Amazon Technologies Inc. Patent Application Publication No.: US 2017/0175413 A1*, (2017).
- [32] Zelinski S. “Operational Analysis of Vertiport Surface Topology”, *39th AIAA/IEEE Digital Avionics Systems Conference (DASC)*, pp. 1-10, (2020).
- [33] Yilmaz E., Warren M. M., German B. J., “Energy and Landing Accuracy Considerations for Urban Air Mobility Vertiport Approach Surfaces”, *AIAA Aviation Forum*, (2019).
- [34] OACI. “Anexo 14 al Convenio sobre Aviación Civil Internacional. Aeródromos. Volumen II. Helipuertos”, Edición 4, (2013).
- [35] OACI. “Manual de Helipuertos”, Doc. 9261 – AN/903, Edición 3, (1995).
- [36] AESA. “Formación de Pilotos UAS para Categoría Específica, bajo Régimen de Autorización”, División de UAS, Versión 2, (2020).
- [37] AESA. “Materias del Examen de Conocimientos Teóricos de la Categoría Específica para Operaciones de UAS bajo Escenarios Estándar”, Revisión 1, (2020).
- [38] Lissakov N., Lissakova E., “Human Factor as a Cause of Aircraft Incidents”, *2nd International Scientific-Practical Conference “Psychology of Extreme Professions” (ISPCPEP)*, pp. 130-132, (2019).
- [39] FAA. “Risk Management Handbook”, FAA-H-8083-2, pp. 3-3, 3-4, (2009).
- [40] AESA. “Tipos de certificados médicos o de aptitud psicofísica”. <https://www.seguridadaerea.gob.es/es/ambitos/licencias-y-medicina-aeronautica/medicina-aeronautica/tipos-de-certificados-medicos>. Fecha de consulta: 02/2022.
- [41] OACI. “Manual de Gestión de la Seguridad Operacional”, Doc. 9859, Edición 4, (2018).
- [42] JARUS. “Guidelines on Specific Operations Risk Assessment (SORA)”, JAR-DEL-WG6-D.04, Edition Number 2.0, (2019).

- [43] AESA. “Estudio de Seguridad para Operaciones Declarativas”, Apéndice F, (2018).
- [44] OACI. “Anexo 19 al Convenio sobre Aviación Civil Internacional. Gestión de la Seguridad Operacional”, Edición 2, (2016).
- [45] García-Cabañas Bueno J. A., Albares Jubin J., Muñoz Saife J. R., “Guía de Mantenimiento y Reparación de Drones (RPAS)”, Ediciones Paraninfo, (2018).
- [46] AESA. “Registro de operador de drones/UAS”.
<https://www.seguridadaerea.gob.es/es/ambitos/drones/registro-de-operador-de-drones-uas>. Fecha de consulta: 11/2021.
- [47] AESA. “Guía para la Presentación de una Solicitud de Autorización”. (Art. 5 Reglamento de Ejecución (UE) 2019/947 de la Comisión, de 24 de mayo de 2019), Versión 2, (2021).
- [48] SESAR. “Concept of Operations for European UTM Systems (CORUS)”. Vol. 2, Edition 03.00.02, Annex K: “U-Space Architecture”, pp. 48-68, (2019).
- [49] OACI. “Anexo 11 al Convenio sobre Aviación Civil Internacional, Servicios de Tránsito Aéreo”, Edición 14, (2016).
- [50] Reglamento (CE) 2096/2005 de la Comisión, (2005).