



**Universitat Autònoma  
de Barcelona**

# U-SPACE MINIMUM SEPARATION DISTANCE ANALYSIS IN HIGH DENSITY SCENARIOS

Memoria del Trabajo de Fin de Grado  
en

Gestión Aeronáutica

realizado por

*Francesca Rallo Salaet*

y dirigido por

*Jose Luis Muñoz Gamarra*

**Escuela de Ingeniería**

Sabadell, *septiembre* de 2020

**Títol del Treball Fi de Grau:** U-space minimum separation distance  
analysis in high density scenarios

**Autora:** Francesca Rallo Salaet

**Data:** *Setembre 2020*

**Tutor:** Jose Luis Muñoz Gamarra

**Titulació:** Grau en Gestió Aeronàutica

**Paraules clau**

- Català: Drone, UAV, U-Space, Simulació, Capacitat Aèria
- Castellà: Drone, UAV, U-Space, Simulación, Capacidad Aérea
- Anglès: Drone, UAV, U-Space, Simulation, Aerial Capacity

**Resum del Treball Fi de Grau**

- Català: Anàlisi de la influència dels paràmetres de separació entre aeronaus no tripulades en l'espai aeri de Barcelona mitjançant eines de simulació per ordinador. En un context d'entrega de paqueteria mitjançant aquest tipus d'aeronaus dins l'àrea metropolitana de Barcelona i amb la utilització d'eines per evitar conflictes de manera estratègica.
- Castellà: Análisis de la influencia de los parámetros de separación entre aeronaves no tripuladas en el espacio aéreo de Barcelona mediante herramientas de simulación por ordenador. En un contexto de entrega de paquetería mediante este tipo de aeronaves dentro del área metropolitana de Barcelona y con la utilización de herramientas para evitar conflictos de manera estratégica.
- Anglès: Analysis of the influence of the parameters of separation among unmanned aircraft at Barcelona's airspace by means of tools of simulation for computer. At a context of delivery of packages by means of this type of aircraft in Barcelona's metropolitan area and with the utilisation of tools to eschew conflicts of strategic mode.



## *Agradecimientos*

*En primer lugar quiero agradecer a mi tutor Jose Luis Muñoz Gamarra, quien con sus conocimientos y apoyo me guió a través de cada una de las etapas de este proyecto para alcanzar los resultados que buscaba.*

*También quiero agradecer a la Universidad Autònoma de Barcelona por brindarme todos los recursos y herramientas necesarias para llevar a cabo el proceso de investigación. No hubiese podido llegar a estos resultados de no haber sido por su ayuda y la de todos los profesores que me han ido enseñando a lo largo de mi etapa universitaria.*

*Por último, quiero agradecer a mis padres, mi hermana Carla, a Carlos y a Leo todo su apoyo durante estos años ya que sin ellos no hubiese podido llegar hasta donde estoy. También a Neus, sin su cariño nada sería lo mismo.*

*Muchas gracias a todos.*

## Tabla de contenido

<b>TABLA DE CONTENIDO</b> .....	<b>2</b>
<b>1. TÉRMINOS Y ACRÓNIMOS</b> .....	<b>4</b>
<b>2. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>6</b>
<b>3. MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>8</b>
3.1. DRONES, UAV, UAS, RPAS - ¿CUÁL ES LA DIFERENCIA? .....	9
3.2. EL SECTOR DE DRONES EN CIFRAS.....	10
3.3. EL SECTOR DEL COMERCIO ELECTRÓNICO .....	10
3.3.1. <i>Cifras del comercio electrónico</i> .....	11
3.3.2. <i>Logística y distribución</i> .....	15
3.3.3. <i>Compradores</i> .....	16
<b>4. NORMATIVA COMUNITARIA UAS</b> .....	<b>18</b>
4.1. CATEGORÍAS OPERACIONALES .....	18
4.2. ANTECEDENTES NORMATIVOS .....	19
4.3. LA NECESIDAD DE UNA NORMATIVA COMÚN .....	20
4.4. OBJETIVOS DE LA REGULACIÓN .....	22
4.5. ESTRUCTURA .....	23
4.6. CONTENIDO.....	24
4.6.1. <i>Artículo 4: designación del U-Space</i> .....	24
4.6.2. <i>Artículo 5: Servicios de información común</i> .....	25
4.6.3. <i>Capítulo IV: Servicios del U-Space</i> .....	26
<b>5. LA GESTIÓN DEL TRÁFICO DE DRONES: U-SPACE</b> .....	<b>29</b>
5.1. SERVICIOS DEL U-SPACE .....	30
5.2. DESCRIPCIÓN DE LOS SERVICIOS DEL U-SPACE .....	32
5.3. ESTRUCTURA DEL U-SPACE.....	34
5.3.1. <i>Volúmenes X</i> .....	34
5.3.2. <i>Volúmenes Y</i> .....	35
5.3.3. <i>Volúmenes Z</i> .....	35
<b>6. SEPARACIÓN Y GESTIÓN DE CONFLICTOS</b> .....	<b>36</b>
6.1. SEPARACIÓN.....	36
6.2. GESTIÓN DE CONFLICTOS .....	40
6.3. MITIGACIÓN DEL RIESGO DE COLISIÓN EN EL U-SPACE.....	41
6.3.1. <i>Identificación del riesgo</i> .....	41
6.3.2. <i>Resolución estratégica de los riesgos</i> .....	42
6.3.3. <i>Resolución táctica de los conflictos</i> .....	43
6.3.4. <i>Detectar y evitar de forma colaborativa</i> .....	44
6.4. DECONFLICTOS ANTES DEL VUELO EN OPERACIONES DE UAS.....	44
6.4.1. <i>Deconflicto por caminos geométricos</i> .....	45
6.4.2. <i>Deconflicto estratégico por variación en la ventana de tiempo de despegue</i> .....	46
<b>7. CARACTERIZACIÓN DEL ESCENARIO</b> .....	<b>48</b>
<b>8. CARACTERIZACIÓN DEL TIPO DE AERONAVE</b> .....	<b>51</b>
8.1. AUTONOMÍA .....	52
8.1.1. <i>Autonomía necesaria para las misiones</i> .....	52
8.1.2. <i>UAV's que cumplen el criterio de autonomía</i> .....	53
8.2. CARGA MÁXIMA EFECTIVA .....	53
8.2.1. <i>Carga máxima necesaria para las misiones</i> .....	54
8.2.2. <i>Modelos que cumplen el criterio de carga</i> .....	54

8.3.	ELECCIÓN FINAL DEL TIPO DE AERONAVE .....	55
<b>9.</b>	<b>CARACTERIZACIÓN DEL ESPACIO AÉREO.....</b>	<b>58</b>
9.1.	EL ESPACIO AÉREO DE CATALUÑA.....	60
<b>10.</b>	<b>SIMULACIÓN.....</b>	<b>61</b>
10.1.	DESCRIPCIÓN DEL SIMULADOR .....	61
10.2.	PARÁMETROS DEL SIMULADOR.....	63
10.3.	OBJETIVOS DE LAS SIMULACIONES.....	64
<b>11.</b>	<b>EXPERIMENTOS.....</b>	<b>65</b>
11.1.	SIMULACIONES CON UN NIVEL DE VUELO .....	66
11.1.1.	<i>Influencia de la densidad en la aceptación de las misiones .....</i>	<i>66</i>
11.1.2.	<i>Influencia de los parámetros de separación en la capacidad aérea .....</i>	<i>67</i>
11.1.3.	<i>Influencia de la variación en las ventanas de tiempo en la capacidad aérea .....</i>	<i>70</i>
11.1.4.	<i>Máxima capacidad del cielo para misiones de correos.....</i>	<i>74</i>
11.2.	PARÁMETROS ÓPTIMOS SELECCIONADOS EN LAS SIMULACIONES .....	77
11.3.	SIMULACIONES CON DOS NIVELES DE VUELO .....	77
<b>12.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>81</b>
12.1.	OBJETIVOS ALCANZADOS.....	81
12.2.	CONCLUSIONES.....	82
12.3.	FUTURAS IMPLEMENTACIONES .....	83
<b>13.</b>	<b>LISTADO DE FIGURAS.....</b>	<b>84</b>
<b>14.</b>	<b>LISTADO DE TABLAS .....</b>	<b>86</b>
<b>15.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>87</b>

## 1. Términos y acrónimos

TÉRMINO	EXPLICACIÓN
AESA	Agencia Española de la Seguridad Aérea
AIM	Gestión de la Información Aeronáutica
AIRAC	<i>Aeronautical Information Regulations and Control</i> , Regulaciones de Información y Control Aeronáuticos
ANS	Servicios de navegación aérea
ATC	<i>Air Traffic Control</i> , Control del Tráfico Aéreo
ATM	<i>Air Traffic Management</i> , Gestión del Tráfico Aéreo
ATS	<i>Air Traffic Service(s)</i> , Servicio de Tránsito Aéreo
AWY	<i>Airway</i> , Aerovía
BVLOS	<i>Beyond Visual Line of Sight</i>
CIS	<i>Common Information System</i> , Sistema Común de Información
CTA	<i>Controlled Traffic Area</i> , Área de control
CTR	<i>Controlled Traffic Region</i> , Región de control de tráfico
CWY	<i>Clearway</i> , zona libre de obstáculos
DAA	<i>Detect And Avoid</i> , sistema de detección y evitación
DDS	<i>Drone Detection System</i> , Sistema de Detección de Drones
DME	<i>Distance Measuring Equipment</i> , Equipo de Medición de Distancia
Drone	Nombre común para designar un tipo de aeronave que no es pilotada a bordo por un humano
DTM	<i>Drone Traffic Management</i> , Gestión del tráfico de drones
EASA	<i>European Union Aviation Safety Agency</i>
EASA	Agencia Europea de Seguridad Aérea
EEE	<i>Estimate Elapsed Time</i> , Tiempo que se calcula transcurrirá
EPAS	Plan Europeo para la Seguridad de la Aviación
EUROCONTROL	<i>European Organisation for the Safety of Air Navigation</i>
EVLOS	<i>Extended Visual Line of Sight</i>
FIR	<i>Flight Information Region</i> , Región de Información de Vuelo
FIS	<i>Flight Information Service</i> , servicio de información de vuelo
FL	<i>Flight Level</i> , nivel de vuelo
Galileo	GNSS Europeo
GD	Grados decimales
GMS	Grados, minutos y segundos

GNSS	<i>Global Navigation Satellite System</i>
ICAO	<i>International Civil Aviation Organization, Organización de aviación civil interancional</i>
IFR	Reglas de vuelo instrumentales
NOTAM	<i>Notice To Airmen</i>
OACI	Organización de Aviación Civil Internacional
PBN	Navegación basada en el rendimiento
RNP	<i>Required Navegation Performance</i>
RPA	Aeronave pilotada remotamente
RPA's	Sistema aeronave pilotada remotamente
SES	Cielo único europeo
SESAR	<i>Single European Sky ATM Research</i>
TMA	<i>Terminal Manouvering Area, Área de control terminal</i>
U-Space	Sistema de gestión de tráfico de drones europeo
U1, U2, U3, U4	Niveles del U-space
UA	<i>Unmanned Aircraft</i>
UAS	<i>Unmanned Air System, Unmanned Aircraft System, sistema aéreo sin influencia humana</i>
UAV	<i>Unmanned Air Vehicle, vehículo aéreo no tripulado</i>
UHF	<i>Ultra-High Frequency</i>
UIR	<i>Upper Information Region, región de información superior</i>
USSP	Proveedores de servicios de U-Space
VFR	Reglas de vuelo visuales
VHF	<i>Very High Frequency</i>
VHL	<i>Very High Level</i>
VLL	<i>Very Low Level airspace</i>
VLOS	<i>Visual Line of Sight</i>

Tabla 1.- Términos y acrónimos con su correspondiente explicación

## 2. Introducció

Cada día, la tecnología y sus diferentes aplicaciones nos sorprende de una forma u otra. No es extraño encontrarse con noticias que informan de una nueva maquinaria o sistema que hace poco tiempo atrás hubiesen parecido de película de ciencia ficción. Con el avance de la tecnología aparecen nuevas necesidades y la oportunidad de desarrollo es infinita.

Un ejemplo de ello es la aparición del comercio electrónico, que comenzó en los años ochenta y con la creación de eBay y de Amazon en 1995, el comercio electrónico o *e-Commerce* se convirtió en un canal de venta masivo. Nada tiene que ver lo que actualmente conocemos como compras online con sus inicios, era inimaginable entregas en menos de dos horas o hacer la compra del supermercado desde tu teléfono móvil.

La modernización de la tecnología y las demandas cada vez mas exigentes son los detonantes de la creación de un nuevo servicio: entregas mediante el uso de drones. Con esa idea en mente aparecieron con ella muchas otras preguntas a las que se intentará dar respuesta a lo largo de este proyecto. La cuestión que llevaría con ella todas las demás es clara, ¿Es posible crear una red de reparto con drones en la ciudad de Barcelona?

Para resolver esta pregunta deberemos ser capaces de resolver algunas otras previamente, sobre todo debemos poder contestar: ¿es posible satisfacer la posible demanda con un nivel de seguridad óptimo en las operaciones? Para responder esta cuestión usaremos un software que es capaz de simular una gran cantidad de vuelos en un entorno prediseñado por el usuario. Valiéndonos de esta herramienta de simulación se estudiará la capacidad aérea para un número aún por descubrir de operaciones en el área metropolitana de la ciudad Condal.

A lo largo de este proyecto introduciremos algunos de los conceptos más básicos que nos darán una visión generalizada del concepto de aeronaves no tripuladas, desde la legislación básica hasta detalles más técnicos como su posicionamiento en el espacio o sus características más técnicas. La parte experimental del proyecto intentará analizar la capacidad aérea en la ciudad de Barcelona. La idea parte de los intentos que se están llevando a cabo en Estados Unidos por parte de la empresa Amazon para convertir en una realidad la entrega a domicilio de sus productos mediante drones. Sabiendo que es una idea que se esta intentando llevar a cabo en ese país se me ocurrió trasladarla a un espacio ya conocido, la ciudad de Barcelona.

El proyecto, aunque no implemente el funcionamiento total de la entrega mediante drones, es una aproximación al estudio de la capacidad del espacio aéreo, cuáles son sus límites para volar seguro en la ciudad. Aprovechando que la empresa Amazon tiene instalada una nave logística en El Prat de Llobregat y diversos puntos de logística repartidos por toda la ciudad intentaremos analizar capacidades según las posibles demandas manteniendo en todos los casos unos ratios de seguridad aceptables.

Teniendo presente que si en un futuro la entrega de paquetería o productos puede ser una realidad patente consideramos que no solo esta empresa sería la única que se sirviese del medio, por tanto, se consideró la creación de dos niveles de vuelo, cosa que podría incluso doblar la capacidad aérea dejando por tanto el espacio dividido en dos niveles que podrían tener propósitos distintos, por ejemplo: tráfico comercial y tráfico de emergencias. Como veis las posibilidades pueden ser enormes y es por ello por lo que espero que este trabajo aporte una nueva manera de ver el cielo.

### 3. Marco teórico

Para entender como llevar a cabo nuestro proyecto es necesario entender cuál es el punto de partida en el sector actualmente, analizar el presente permitirá estimar la evolución del sector en los años próximos.

El uso de los drones para diferentes aplicaciones no es algo nuevo, desde los años sesenta este tipo de aeronaves comenzó a utilizarse en misiones de reconocimiento por el ejército de los EE. UU. Con posterioridad, en los años 80, estas plataformas se extendieron a aplicaciones civiles concretamente, en Japón, para tareas de fumigación de cultivos.

Poco a poco las ventas de estos productos han ascendido a aproximadamente entre 1 y 5 millones de drones de uso civil, que se ha alcanzado por un fuerte crecimiento de los drones de uso recreativo. (Undertaking 2016) Para alcanzar el desarrollo en el sector, resulta de vital importancia identificar todos los agentes que pueden influir de manera decisiva en el crecimiento del sector, para poder diseñar e implantar las estrategias necesarias para la completa integración con el sistema del transporte aéreo y con el resto de los sectores en general.

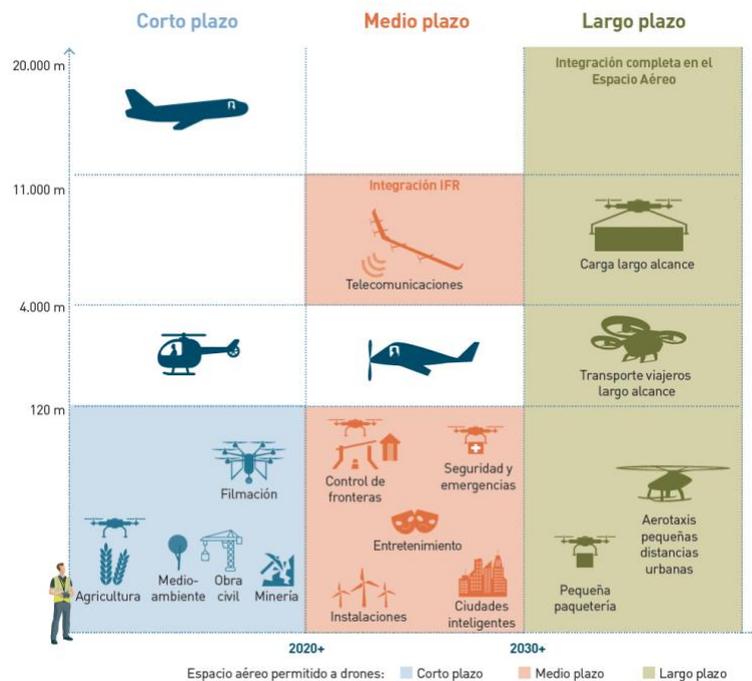


Figura 1- Evolución y posibles aplicaciones del uso compartido del espacio aéreo Fuente: (Ministerio de fomento 2019)

En la actualidad, las operaciones de drones se realizan en zonas separadas de las utilizadas por la aviación convencional, eso significa una constante coordinación a la hora de afrontar las operaciones con seguridad.

Se muestra una previsión de la posible evolución del uso del espacio aéreo y sus aplicaciones, partiendo de la división del espacio aéreo en niveles de vuelo hasta la total integración de todos los usuarios del espacio aéreo.

### 3.1. Drones, UAV, UAS, RPAS - ¿Cuál es la diferencia?

La palabra que todo el mundo conoce es Dron, pero dentro de ese concepto hay que aprender a distinguir entre diferentes conceptos. (Bajjou 2020)

#### RPA o RPA's

RPA es el acrónimo de *Remoted Pilot Aircraft*, es decir: aeronave pilotada remotamente. Es a la aeronave a lo que se refiere, pero que por si sola no puede volar. En cambio, si le añadimos la "s" a la palabra estamos incorporando también el sistema. Por tanto, RPA's es el acrónimo de *Remoted Pilot Aircraft System*. Es decir, la aeronave más el sistema que le permite volar, tal y como la OACI define este término en la circular 328 es un conjunto de elementos configurables que consisten en una aeronave pilotada a distancia, sus estaciones de piloto remoto asociadas, los enlaces de mando y control requeridos y cualquier otro elemento del sistema que puedan ser necesarios, en cualquier momento durante la operación de vuelo.

#### UAV

UAV es el acrónimo de *Unmanned Aerial Vehicle* es decir: Vehículo aéreo no tripulado. Solamente teniendo en cuenta las siglas no existe diferencia entre RPA y UAV ya que ninguno transporta tripulación pero el origen de UAV es el uso militar. Con lo cual el UAV no lleva pasajeros pero además puede o no estar pilotada por un piloto. Es decir, el sistema que lo controla puede ser perfectamente un ordenador donde no interviene el factor humano. El término UAV actualmente se encuentra en desuso por lo que hablaríamos propiamente de RPA's.

#### UAS

UAS hace referencia a *Unmanned Aerial System* es decir es el padre de todos los conceptos. Todos los drones son sistemas de vehículos aéreos no tripulados pero no tienen las mismas características o categorías. Es decir, todos los drones son UAS pero no todos los UAV's son RPA's.

Detrás de un RPA's siempre habrá un piloto aunque se ejecute por un ordenador habrá una persona detrás del sistema. A diferencia de los UAV que pueden ir totalmente automatizados.

### 3.2. El sector de drones en cifras

El sector de drones está experimentando un enorme crecimiento debido a la importante reducción de los costes de las tecnologías necesarias para su desarrollo y la creciente facilidad de uso de estas.

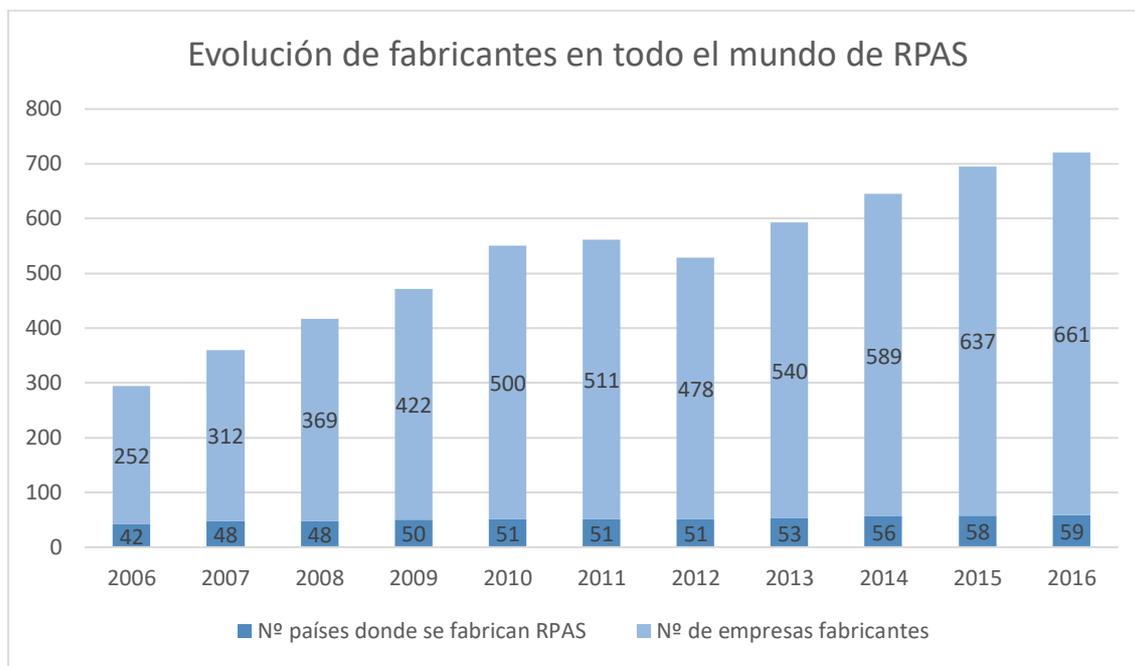


Figura 2- Evolución del sector de drones 2006-2016. Fuente de los datos: (UVS Internacional s.f.) . Gráfico de elaboración propia

Tal y como podemos observar en la Figura 2, la tendencia tanto en el número de fabricantes como en el número de países fabricantes es creciente.

Según informes del ministerio de fomento español EE. UU. y China son los países con mayor número de diseñadores y fabricantes de drones de uso civil, ambos representan aproximadamente un tercio del total mundial. La Unión Europea, suman más del 30% mundial. Si nos centramos en el número de modelos de drones, en el año 2016 se desarrollaron y fabricaron más de 2.000 modelos diferentes.

### 3.3. El sector del comercio electrónico

Aunque en este estudio la importancia recae sobre todo en el estudio de misiones en el U-space, es importante estudiar uno de los impulsores de la idea de la creación de una red de reparto usando UAVS, el comercio electrónico o el *e-commerce*. Para ello, haremos un breve estudio del comercio electrónico en España, que sería representación de la demanda creciente entorno a este tipo de consumo.

Todos sabemos que internet y la economía digital están transformando cada aspecto de nuestra vida. Este contexto ha generado importantes cambios en los hábitos de consumo, haciendo que el comercio electrónico crezca más cada año, erigiéndose como uno de los canales preferidos por los consumidores. El comercio electrónico B2C en España ha seguido creciendo en el año 2019 con intensidad, con un volumen de negocio que supera los 40.000 millones de euros.

### Definición comercio electrónico B2C

Se entiende como comercio electrónico toda compra realizada a través de Internet, independientemente del tipo de producto o servicio adquirido, así como del medio de pago utilizado (Observatorio nacional de las telecomunicaciones y de la SI 2019).

#### 3.3.1. Cifras del comercio electrónico

En términos absolutos, el volumen de negocio total del comercio electrónico en España en 2018 alcanza los 41.509 millones de euros, un 32,4% superior al año 2017. El comercio electrónico sigue por tanto, en expansión con una tasa de crecimiento anual superior al 25%. Hay que tener en cuenta que ha mejorado el contexto socioeconómico, que ha sido estimulando el consumo desde el estallido de la crisis de 2008.

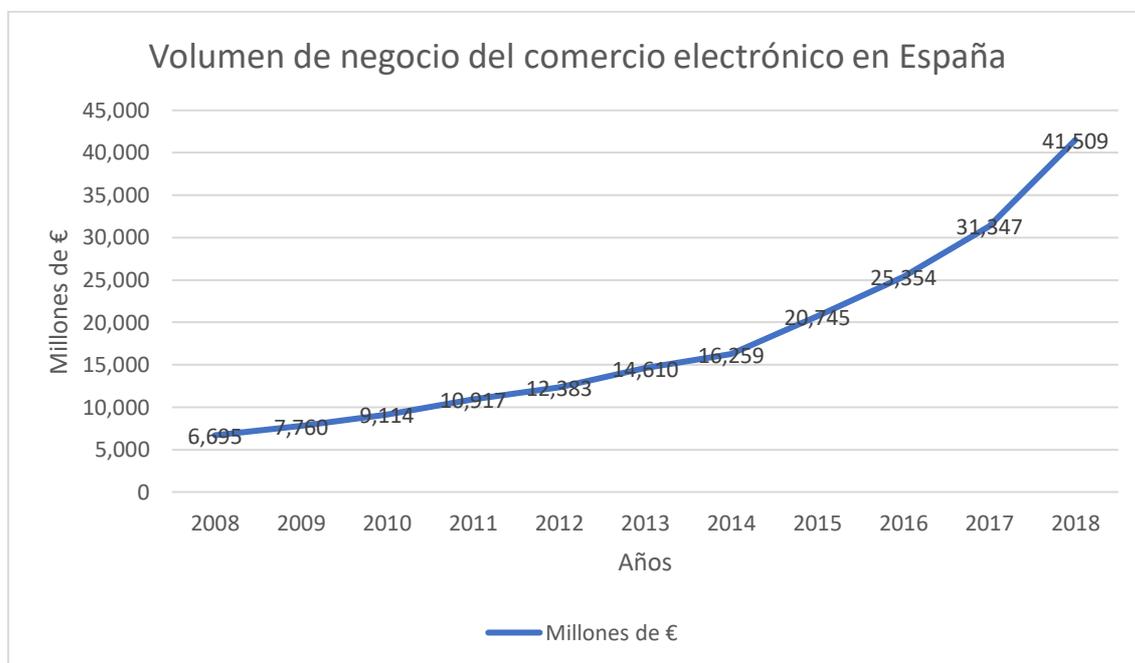


Figura 3- Volumen de negocio del comercio electrónico en España. Evolución 2008 al 2018. Fuente de los datos: encuesta online realizada por ONTSI. Gráfico de elaboración propia.

Tal y como se puede observar en la Figura 3, el volumen de negocio ha experimentado un gran aumento a partir del 2014, mostrando en toda la evolución una tendencia de crecimiento al alza. La encuesta realizada por ONTSI fue realizada a internautas de entre 16 y 74 años.

Esta tendencia al alza es un dato esperanzador, pero también hay que discernir entre que tipos de bienes y servicios son los más buscados por internet.

Teniendo en cuenta que nuestro proyecto no sería viable si el comercio electrónico basase este volumen de negocio en servicios o en productos de grandes dimensiones. Por ello, hay que analizar cuáles son los bienes y servicios más adquiridos en internet.

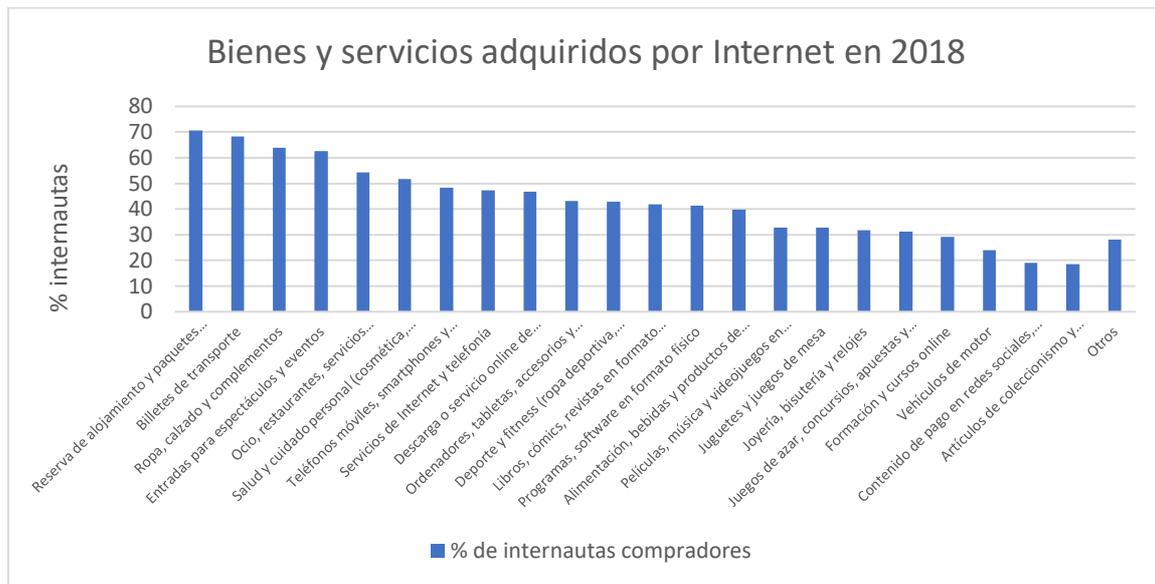


Figura 4- Categorías de compra online de forma general en España en 2018. Fuente de los datos: (Observatorio nacional de las telecomunicaciones y de la SI 2019). Gráfico de elaboración propia.

Tal y como podemos observar en la Figura 4, las tres categorías de bienes y servicios que más se consumen en España son: reservas de alojamiento y paquetes turísticos, billetes de transporte y ropa y calzado y complementos.

En la Figura 4 se refleja del total de los internautas compradores que porcentaje de ellos consume cada tipo de bien y servicio. Ahora es momento de analizar cuáles de ellos podrían ser entregados mediante la propuesta de nuestro sistema.

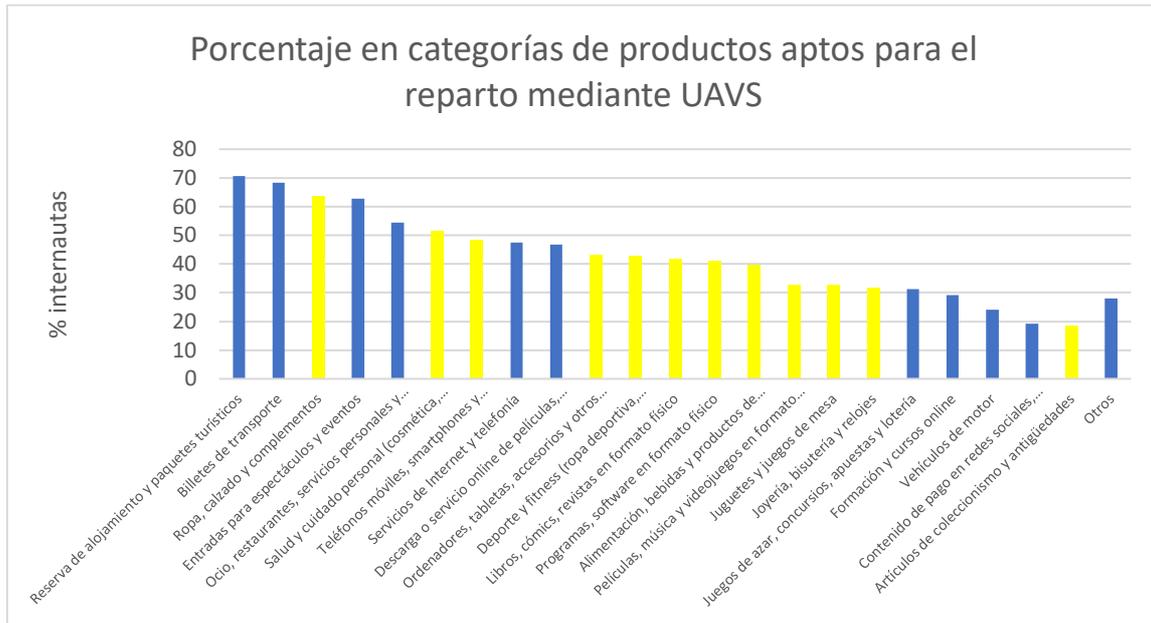


Figura 5- En amarillo, las categorías de productos que podrían repartirse en una red de drones. Fuente de los datos: (Observatorio nacional de las telecomunicaciones y de la SI 2019). Gráfico de elaboración propia

Tal y como podemos observar en la Figura 5, 12 de las 23 categorías podrían ser gestionadas y entregadas a través de una red de RPAS (teniendo en cuenta productos en formato físico y que comúnmente entran dentro de los pesos dentro de los límites aceptables) lo que en términos de número de compradores y gasto medio se refleja en la Figura 6:

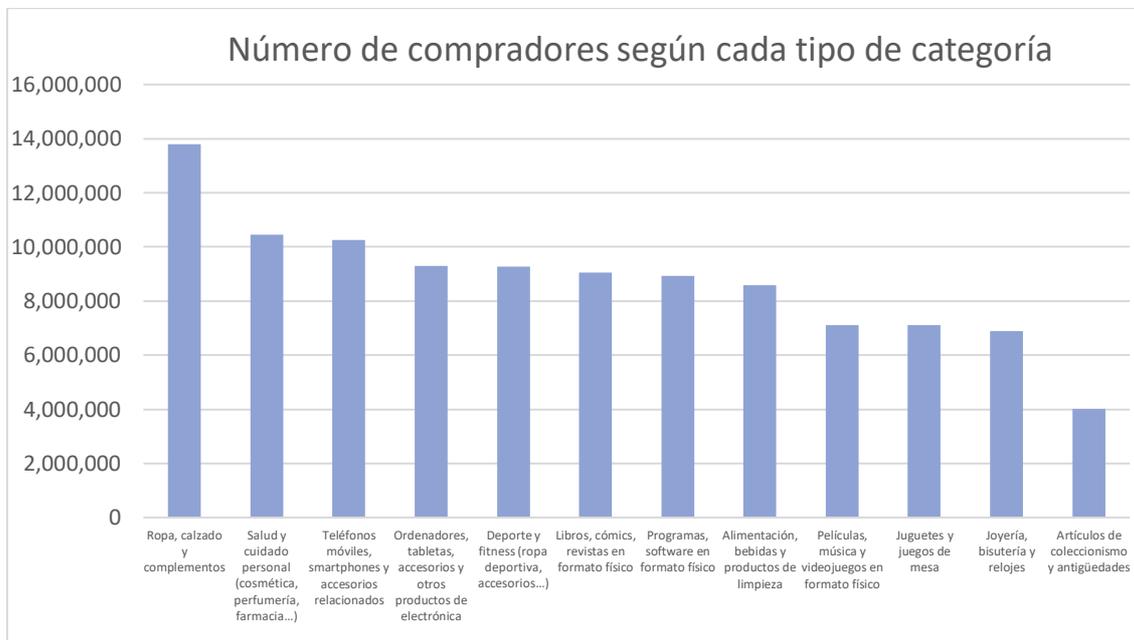


Figura 6- número de compradores de producto dentro de cada categoría considerada apta para el transporte mediante RPAS. Fuente de los datos: (Observatorio nacional de las telecomunicaciones y de la SI 2019). Gráfico de elaboración propia.

Podemos comprobar que lo mas demandado son productos de ropa y calzados que además también encontraremos productos similares dentro de la categoría *deporte y fitness*, lo que aumentaría a 23.065.621 la cifra de compradores de productos textiles y complementos. También vemos que las categorías de tecnología se encuentran bastante divididas en: teléfonos móviles, ordenadores, *software*...

Si tenemos en cuenta los datos de lo que consideraríamos la gama electrónica en general, la cifra de compradores de este tipo de productos ascendería a un total de 28.487.778 consumidores.

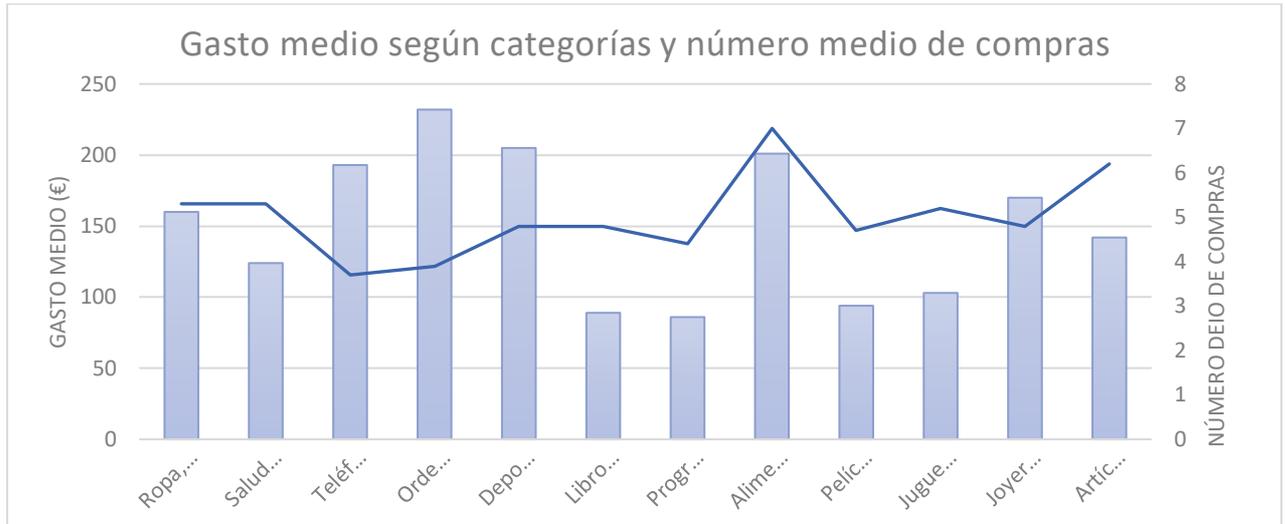


Figura 7- En las barras, representación del gasto medio según las categorías de productos y en la línea el número medio de compras que realizan los usuarios según las categorías consideradas aptas para el transporte mediante RPAS

Tal y como muestra la Figura 7 vemos una representación del gasto medio en cada una de las categorías que consideramos "aptas" para el transporte mediante RPAS. En la categoría que de media se gasta mas dinero es en la de ordenadores, tabletas, accesorios y otros productos de electrónica con un valor medio de 232€, seguidamente de los productos de la gamma de deporte y fitness con un valor medio de 205€ y en tercer lugar la categoría que engloba los productos de alimentación con un valor medio de 201€. Si nos centramos a analizar el número medio de compras destaca que en el sector de la alimentación además de ser de uno de los 3 grupos donde más gasto medio se produce es con diferencia en la categoría que se realiza un mayor número de compras.



Figura 8- Gasto en millones de euros en total de cada una de las categorías de productos considerados aptos para el transporte mediante RPAS. Fuente de los datos: (Observatorio nacional de las telecomunicaciones y de la SI 2019). Gráfico de elaboración propia.

### 3.3.2. Logística y distribución

Tal y como se refleja en distintos informes realizados por el ministerio de fomento y empresa de España en el año 2019, existe una cuota importante de adquisición de productos físicos cuya distribución conlleva un sistema logístico complejo. En este sentido, la eficacia y eficiencia son condiciones indispensables para el desarrollo de este tipo de comercio. Además, el auge creciente de la compra online y la correspondiente entrega de productos genera una serie de cambios socioeconómicos de gran interés, que se someterán en los siguientes párrafos a reflexión y análisis.

TIPO DE COMPRA	% COMPRADORES	Nº ABSOLUTO DE COMPRADORES
Ha comprado algún producto físico	90,9	19.645.061
Ha comprado exclusivamente productos físicos	4,1	886.495
Ha comprado exclusivamente productos digitales	3,7	802.863
No determinados	1,3	284.347

Tabla 2.- Internautas compradores, por tipo de productos comprados (% de compradores y número absoluto de compradores). Base: total internautas compradores online Fuente de los datos: encuesta online a internautas (Observatorio nacional de las telecomunicaciones)

Las compras online realizadas durante 2018 por parte de internautas no parecen estar marcadas por la necesidad de que el producto requiera ser enviado o no, ya que el 90,9% ha comprado algún producto que requiere envío. Respecto al año 2017, el aumento del número de compradores de productos que requieren envío ha aumentado del 79,3% al 90,9%.

	Nº DE COMPRAS AL AÑO	GASTO MEDIO ANUAL (€)	GASTO TOTAL (MILLONES DE €)	% SOBRE EL GASTO TOTAL
Productos físicos	5,2	158	18.383	44,3
Productos digitales	5,1	166	20.557	49,3
No determinados	5,2	233	2.570	6,2

Tabla 3- Frecuencia de compra, gasto medio y % sobre el gasto total de los productos comprados online en 2018

El gasto medio anual realizado en la compra de productos que requieren envío es de 158€, mientras que en otros que no requieren envío el gasto medio anual es ligeramente superior, alcanzando los 166€ de media anuales. Además el gasto total acumulado es mayor en productos digitales, superando los 20 millones de euros.

Esta diferencia entre productos puede deberse a que 3 de las 4 principales categorías que más compradores concentran en 2018, son categorías de compra de productos que no requieren envío (reserva de alojamiento y paquetes turísticos) tal y como hemos indicado al inicio de este análisis.

Según datos del año 2018, la inmensa mayoría de internautas de España se encarga personalmente de la recepción o recogida de paquetes relativos a compras realizadas a través de Internet, el 82,1%.

Este porcentaje es más de 10 puntos porcentuales superior al año 2017 (70,8%). El aumento puede deberse a la creciente flexibilidad en la entrega de pedidos por parte de las empresas, que ofrecen cada vez más facilidades para que los consumidores puedan recibir en persona sus pedidos.

Este dato también es bastante esperanzador para el servicio que estamos planteando ya que si la población general recogiese sus pedidos en puntos específicos de recogida el servicio perdería algo de interés a los consumidores.

### 3.3.3. Compradores

Por último, hay que analizar los motivos para comprar online de los compradores en línea, así como los diferentes aspectos que son satisfactorios al momento de realizar pedidos. En la encuesta realizada por parte del ONTSI se detectan tres razones principales por la que los compradores utilizan Internet en sus compras: los precios, la comodidad y el ahorro de tiempo.

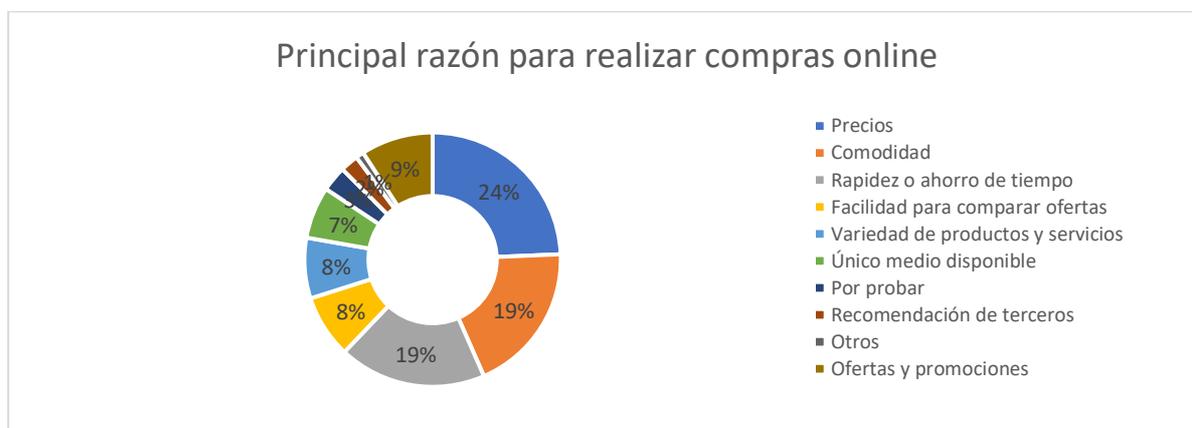


Figura 9-Razones principales para comprar online en 2018 en lugar de acudir a una tienda física Base: total internautas encuestados compradores online. Fuente de los datos: encuesta online realizada por ONTSI. Gráfico de elaboración propia.

Entre los tres principales motivos por los que los internautas usan internet para las compras, el 24,3% declara que el motivo principal para comprar online es el precio de los productos y servicios, siendo la principal razón con mayor peso a la hora de comprar por internet. Por otra parte, el 19,1% dice que el motivo más importante es la comodidad y el 18,6% por la rapidez o el ahorro de tiempo. Por tanto, estos datos reflejan el valor añadido al servicio propuesto de reparto de paquetería mediante UAVS ya que sus diferenciadores frente a las entregas tradicionales serían la rapidez y la comodidad a la hora de la entrega.

## 4. Normativa comunitaria UAS

### 4.1. Categorias operacionales

Según el Reglamento de Ejecución 2019/947, se establecen tres categorías operacionales diferentes atendiendo al nivel de riesgo de la operación en si misma. De este modo, la clasificación quedará de la siguiente manera: categoría abierta para operadores de bajo riesgo, categoría específica para riesgo medio y categoría certificada para vuelos que presenten un nivel de riesgo alto.

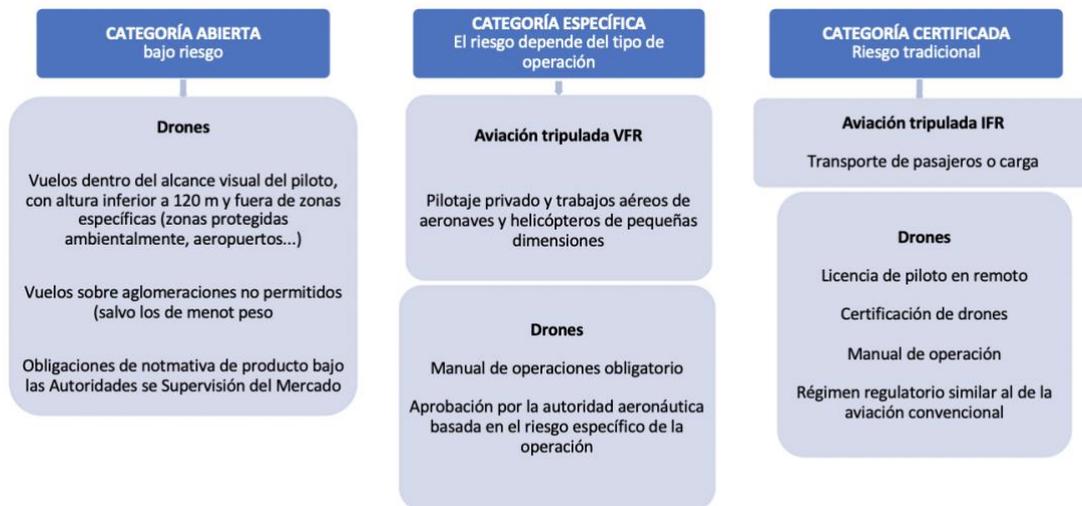
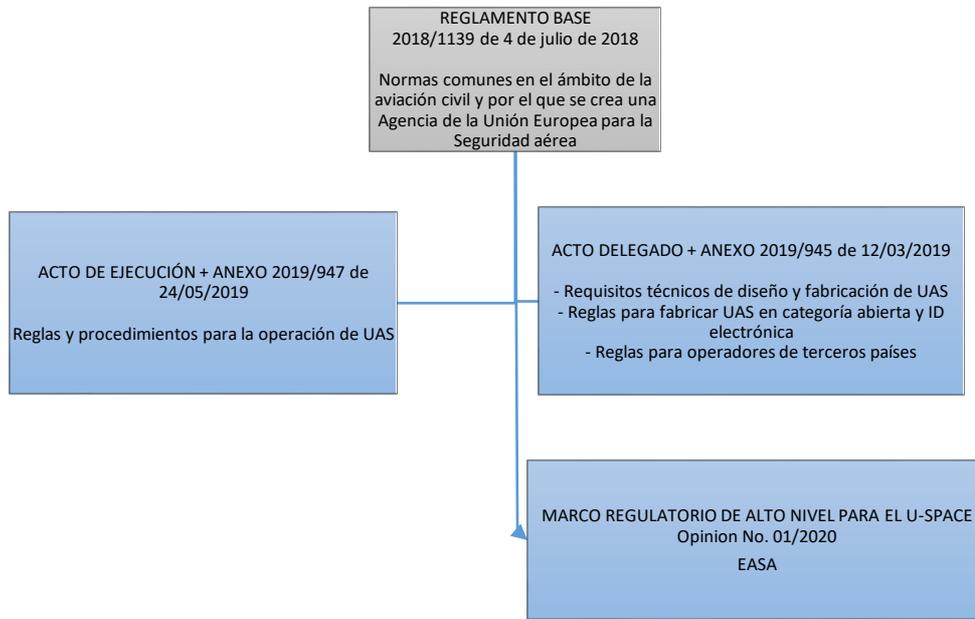


Figura 10- Descripción categorías operacionales. Fuente: elaboración propia a partir de datos de (Ministerio de fomento 2019).

## 4.2. Antecedentes normativos

Los antecedentes normativos parten de un reglamento base del cual surgen los siguientes reglamentos obteniendo el marco regulatorio de alto nivel para el U-space de la EASA.



- Se aplican a las aeronaves no tripuladas UAS, autónomas o remotamente pilotadas, independientemente de su masa o de su uso civil.
- No aplica a aeronaves, personal u organizaciones que lleven a cabo actividades o servicios militares, aduanas, policía, búsqueda y salvamento, lucha contra incendios, control fronterizo, vigilancia costera o similares, bajo el control y la responsabilidad de un Estado miembro, emprendidas en el interés general por un organismo investido de autoridad o en nombre de este.

Según la normativa mas reciente 01/2020 de la Agencia de la Unión Europea de Seguridad Aérea, el marco regulador de alto nivel tiene la intención de permitir la implementación inmediata del U-space después de la entrada en vigor del Reglamento. Este reglamento proporciona los medios necesarios para mitigar el riesgo de colisiones al requerir servicios adaptados y compartir información de tráfico esencial.

Hasta que no haya un mayor desarrollo de los sistemas de detección y evitación (DAA), la única forma de garantizar operaciones seguras en el U-space, en particular cuando UAS realiza operaciones BVLOS, es asegurarse de que los participantes del U-space sean cooperativos, es decir comparten información en tiempo real sobre su posición real en el U-space. Cuando esto no se pueda lograr, la única posibilidad para garantizar operaciones seguras es la segregación.

### 4.3. La necesidad de una normativa común

Debido al crecimiento del número de las operaciones de aeronaves no tripuladas (UAS) en el espacio aéreo europeo plantea problemas de seguridad y de integración espacial. Para garantizar la gestión segura del tráfico hay que desarrollar un marco regulatorio seguro. Como ya hemos comentado antes, es necesario complementar las Regulaciones europeas existentes para las operaciones de UAS con un marco regulatorio europeo que permita la implementación armonizada del U-Space y se adapte a la gestión segura del tráfico de UAS. (European Union Aviation Safety Agency s.f.)

En perspectiva del aumento previsto del tráfico aéreo tripulado en los años venideros y la proliferación de aeronaves no tripuladas, con ambos tipos de aeronaves que a veces comparten el mismo espacio aéreo el peligro aumentará si no se aborda mediante medidas de mitigación apropiadas. Es el establecimiento del U-space y las disposiciones para los servicios del U-space se consideran esenciales para responder a este crecimiento de las operaciones de UAS, especialmente en el espacio de bajo nivel, que se espera que supere el volumen visto anteriormente.

Debido a que el sistema actual de gestión del tránsito aéreo (ATM) ya está llegando a sus límites y dado que el tráfico UAS tiene unos niveles de automatización diferentes, ATM no puede ser visto como el único medio apropiado para administrar de manera segura y eficiente el tráfico de UAS. En consecuencia, existe la necesidad de complementar los Reglamentos europeos existentes para las operaciones de UAS en las categorías "abiertas" y "específicas" con un marco regulatorio que permita la implementación armonizada del U-space y se adapte a la gestión segura de UAS.

U-space es el habilitador para gestionar operaciones más complejas y de mayor distancia, y para garantizar que las operaciones tales como las operaciones BVLOS o la movilidad aérea urbana (UAM), que serán explicados más detalladamente a lo largo del trabajo, sean compatibles con servicios que mejoran la seguridad, privacidad y eficiencia de estas operaciones.

Dado el aumento del tráfico UAS y la complejidad del tráfico, se espera que la necesidad de espacio aéreo U-space y servicios U-space aumente y pueda cubrir todo el espacio aéreo en el que se llevan a cabo BVLOS y operaciones de UAS con mayor nivel de autonomía. El U-space y los servicios del U-space también son necesarios para garantizar un acceso justo de los operadores UAS al espacio aéreo de manera rentable a través de un mercado competitivo de servicios U-space

El enfoque europeo facilitará este modelo competitivo al proporcionar la base para protocolos comunes de intercambio de datos, estableciendo un entorno cooperativo donde toda la información necesaria esté disponible y se transmita a quienes la necesiten, a fin de garantizar un intercambio continuo de las posiciones de los

operadores de aeronaves y de los operadores de UAS intención, restricciones operativas y otros datos críticos para fines de seguridad.

La ausencia de un enfoque a nivel europeo podría resultar en una implementación no armonizada del U-space o en la aplicación de normas nacionales no interoperables, lo que podría tener un impacto potencial en la seguridad en la integración de las operaciones UAS en el espacio aéreo debido al uso de diferentes procedimientos operativos y soluciones técnicas. Además, un enfoque regulatorio europeo para el U-space puede proporcionar los medios de mitigación de riesgos de seguridad a través de un enfoque común para la implementación efectiva de la gestión del tráfico UAS al tener las mismas reglas y procedimientos para todos los operadores de UAS en la UE. (EASA 2020)

Por tanto, a partir de ahora toda la legislación que se presentará hace referencia a la Opinión No.01-2020 de EASA.



Figura 11- Representación proceso de legislación.

#### 4.4. Objetivos de la regulación

El objetivo de la regulación 01/2020 de la EASA es desarrollar el primer bloque de construcción de un marco regulatorio europeo que pueda garantizar que las operaciones de aeronaves no tripuladas operen en un entorno seguro, manejable y conectado, manteniendo todas las aeronaves seguras en el U-space. Este bloque de construcción complementaría al ATM existente y evolucionaría junto con la creciente densidad y complejidad del tráfico. (EASA 2020)

La Agencia de Seguridad Aérea de la Unión Europea (EASA) desarrolló el Dictamen 01/2020 en línea con el Reglamento (UE) 2018/1139<sup>1</sup> ("Reglamento Básico") y el Procedimiento de reglamentación<sup>2</sup>.

Esta actividad de reglamentación se incluye en el Plan europeo para la seguridad de la aviación (EPAS) 2020-2024 bajo la tarea de reglamentación (*Rulemaking task*) (RMT).0230. El alcance y los plazos de la tarea se definieron en el ToR<sup>3</sup> relacionado.

El borrador del dictamen ha sido desarrollado por EASA en discusiones con los servicios responsables de la Comisión Europea basado en la aportación de un grupo de trabajo compuesto por representantes de los Estados miembros, así como EUROCONTROL y la empresa SESAR. El texto final del Dictamen y el proyecto de reglamento han sido desarrollados por EASA en discusiones con los servicios responsables de la Comisión Europea basados en los comentarios recibidos.

Después de la aportación de los diferentes grupos de trabajo nos encontramos en una propuesta preparada para que su normativa sea aplicada e implementada. Para lograr operaciones de manera segura en el espacio aéreo (controlado y no controlado) es necesario contar con un servicio de información común (CIS) apropiado que permita el intercambio de información esencial entre los proveedores de servicios de U-Space (USSP), los operadores de UAS, los proveedores de servicios de navegación aérea (ANSP) y todos los otros participantes del espacio aéreo. La propuesta de la que estamos hablando contribuye a este objetivo, ya que contiene todos los bloques de construcción y capas de mitigación necesarios para administrar de manera segura las operaciones previstas de los próximos años.

---

<sup>1</sup> Regulación (EU) 2018/1139 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 4 de julio de 2018, sobre normas comunes en el ámbito de la aviación civil y por el que se crea una Agencia de Seguridad Aérea de la Unión Europea, y se modifican los Reglamentos No. 2111/2005, No. 1008/2008, No. 996/2010, No. 376/2014 y las Directivas 2014/30 y 2014/53 del Parlamento Europeo y del Consejo, y por el que se derogan los Reglamentos (CE) No. 552/2004 y (CE) No. 216/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo y el Reglamento (CEE) No. 3922/91 del Consejo (DO L 212 de 22.8.2018, p. 1). (Comisión Europea 2016)

<sup>2</sup> EASA está obligada a seguir un proceso estructurado de reglamentación como lo requerido en el Artículo 115(1) del Reglamento (UE) 2018/1139. (EASA 2015)

<sup>3</sup> (EASA 2018)

## 4.5. Estructura

### CAPÍTULO I - Principios y requerimientos generales

- Artículo 1 Objeto y alcance
- Artículo 2 Objetivos
- Artículo 3 Definiciones

### CAPÍTULO II - Establecimiento del U-Space

- Artículo 4 Designación del U-space
- Artículo 5 Servicios de información común

### CAPÍTULO III - Requisitos generales para operadores de aeronaves y proveedores de U-Space

- Artículo 6 Operadores de UAS
- Artículo 7 Obligaciones para los operadores de UAS que operan en el U-Space
- Artículo 8 Proveedores de servicios
- Artículo 9 Informe de sucesos

### CAPÍTULO IV - Servicios del U-Space

- Artículo 10 Servicio de identificación de red
- Artículo 11 Servicio de concienciación geográfica
- Artículo 12 Servicio de autorización de vuelo
- Artículo 13 Servicio de información de tráfico
- Artículo 14 Servicio de seguimiento de tráfico
- Artículo 15 Servicio de seguimiento
- Artículo 16 Servicio de monitoreo de conformidad

### CAPÍTULO V - Proveedores de CIS y certificación de proveedores de servicios U-Space

- Artículo 17 Solicitud de un proveedor de CIS y certificado de proveedor de servicios U-Space
- Artículo 18 Condiciones para obtener un certificado
- Artículo 19 Validez del certificado

### CAPÍTULO VI - Autoridades competentes

- Artículo 20 Autoridades competentes
- Artículo 21 Tareas de las autoridades competentes
- Artículo 22 Intercambio de información de seguridad y medidas de seguridad

### CAPÍTULO VII - Política de precios del CIS

- Artículo 23 Precio del servicio de información común

### CAPÍTULO VIII - Disposiciones finales

- Artículo 24 Modificaciones al Reglamento de Ejecución de la Comisión (UE)
- Artículo 25 Entrada en vigos y aplicabilidad

## 4.6. Contenido

Por lo tanto, EASA propone un primer conjunto que se consideran las reglas mínimas necesarias, que se complementarán más adelante con otras disposiciones que permitan un estado más maduro de integración del espacio aéreo. En este proyecto nos centraremos en los siguientes artículos: artículo 4, artículo 5 que se encuentran en el capítulo II- Establecimiento del U-space y el Capítulo IV- Servicios del U-space.

### 4.6.1. Artículo 4: designación del U-Space

Este artículo es el "punto de partida" para la gestión del tráfico aéreo, y por tanto, es importante definir los roles y responsabilidades de todas las organizaciones que participan.

Como el espacio aéreo U-Space puede establecerse en el espacio aéreo controlado o no controlado, es necesario tener en cuenta que ya existe una organización designada para proporcionar servicios ATS de forma exclusiva basada en la regulación del Cielo Único Europeo (SES) y las Normas y Prácticas Recomendadas (SARPS) de la OACI. Por tanto, los proveedores de servicios de tránsito aéreo (ATS) están designados para proporcionar servicios de control de tránsito aéreo (ATC) en el espacio aéreo controlado y los proveedores de servicios de alerta y FIS en muchas partes del espacio aéreo no controlado.

Finalmente, este artículo define los procedimientos de coordinación específicos entre los ANSP y los USSP. El principio es que los ANSP brindan servicios de navegación aérea (ANS) a aeronaves tripuladas, mientras que los USSP brindan servicios de U-space a los operadores de UAS. Tanto los ANSP como los USSP están certificados para proporcionar sus respectivos servicios de manera segura y continua.

Dentro del espacio aéreo controlado, el espacio aéreo U-space es designado por los Estados miembros y es gestionado dinámicamente por el ANSP. La seguridad de las operaciones está garantizada por el hecho de que el tráfico tripulado y no tripulado no se mezclará con cada otra, están segregadas dinámicamente y ANS y servicios del U-space no se proporcionan al mismo tiempo en el mismo volumen de espacio aéreo.

En el espacio aéreo no controlado, el espacio aéreo permanece sin control para los aviones tripulados. Pero cuando los Estados miembros designan un volumen de espacio aéreo como espacio aéreo del U-space, existe una restricción (por lo tanto, podría establecerse como un área restringida): para los operadores de UAS, utilizar los servicios del U-space para volar en ese espacio aéreo; y para operadores de aeronaves, para poner a disposición su posición a intervalos regulares para los USSP.

Este último puede proporcionar información de tráfico tripulado a aviones no tripulados o puede geo-cercar el tráfico no tripulado alrededor del tráfico tripulado. El operador de la aeronave tripulada también será informado sobre el espacio aéreo del U-space y el tráfico no tripulado, ya sea por el proveedor de FIS o por el USSP, dependiendo de la

implementación específica. Este principio también se aplicará al tráfico no controlado dentro del espacio aéreo controlado (tráfico VFR dentro de la clase E).

EASA considera que U-space y sus servicios pueden aportar un valor añadido en términos de seguridad también a las operaciones de aeronaves tripuladas que vuelan en espacio aéreo no controlado (y también para el tráfico no controlado dentro del espacio aéreo controlado), ya que habrá más intercambio de información de tráfico entre aeronaves tripuladas y no tripuladas y también entre operaciones de aeronaves tripuladas con el uso de dispositivos de visibilidad más asequibles y compartiendo la infraestructura terrestre existente. Por supuesto, la forma de garantizar que no haya conflicto entre ambas operaciones

#### **4.6.2. Artículo 5: Servicios de información común**

Este artículo contiene los requisitos relacionados con el suministro de la información necesaria para el funcionamiento del U-Space. El objetivo en este punto es garantizar que la información provenga de fuentes fiables y que sea de suficiente calidad, integridad y precisión, de modo que los USSP y otros usuarios como el ANSP puedan usar esta información con total confiabilidad.

Sobre la base de los comentarios que se realizaron en la consulta de la que hemos hablado antes, EASA ha reconsiderado si una organización debe ser certificada y designado por los Estados miembros como el proveedor de CIS para cada implementación del U-Space en el que prestarán el servicio.

El hecho de que los Estados miembros designen un proveedor de CIS no significa que haya un solo proveedor de CIS por Estado miembro; significa que solo hay un proveedor por espacio aéreo U-space. Podría haber tantos proveedores de CIS como espacios aéreos designados en el U-space.

La razón para tener un proveedor CIS por espacio aéreo en el U-space es asegurarse de que haya un único punto de contacto, un único punto de verdad que consolide toda la información necesaria para el funcionamiento del espacio aéreo U-space.

Este proveedor asegura que toda la información se pueda intercambiar entre las distintas organizaciones para cumplir con sus obligaciones. El CIS trabaja sobre la base de que el intercambio de información se garantiza mediante la aplicación de protocolos de comunicación (abiertos) que permiten a los USSP y ANSP para intercambiar información a través de la interfaz adecuada.

Los USSP utilizarán la información provista por el proveedor de CIS para proporcionar servicios de espacio U a los operadores de UAS. Este artículo también especifica que el proveedor de CIS no puede ser un USUS. Esto es necesario para garantizar que no haya conflicto de intereses cuando la información común se ponga a disposición de los

diferentes USSP y que exista una competencia leal en el mercado de servicios U-space. Esta disposición no se deriva necesariamente del punto de vista de seguridad sino más bien de la competencia y la perspectiva del mercado.

#### 4.6.3. Capítulo IV: Servicios del U-Space

Este capítulo propone cuatro servicios obligatorios del U-space: identificación de red, concienciación geográfica, información de tráfico y autorización de vuelo UAS. También describe los servicios de apoyo que pueden ser necesarios para proporcionar los obligatorios, de ellos no haremos mención ya que no tienen un peso tan relevante para nuestra investigación.

Como se menciona en el proyecto de Reglamento, es importante subrayar que los objetivos principales de los servicios U-space son:

- Evitar la colisión entre UAS y entre UAS y la aviación tripulada.
- Acelerar y mantener un flujo ordenado de UAS.
- Proporcionar información e instrucciones relevantes para la conducción segura y eficiente de las operaciones de UAS.
- Notificar a las organizaciones apropiadas con respecto a situaciones de emergencia o anormales con el UAS que puedan poner en peligro a personas y mercancías en tierra o aviación tripulada.
- Garantizar que los requisitos ambientales, de seguridad y privacidad, se cumplen en los Estados miembros.

La propuesta de obligar a esos servicios U-space no solo respalda la seguridad sino que también garantiza la competitividad del mercado, ya que los operadores de UAS podrán recibir los mismos servicios y, por lo tanto, tener las mismas interfaces con los USSP para operar en todos los espacios aéreos del espacio U en toda la UE.

#### **Artículo 10: Servicio de identificación de red**

Este artículo aclara que el servicio de identificación propuesto en el marco del U-space se basa en los requisitos para la identificación remota para evitar la necesidad de equipos o capacidades de UAS adicionales.

- Debe asegurarse, en tiempo real durante la duración del vuelo, una emisión directa y periódica desde el UA, usando un determinado protocolo de:
  - Número de registro del operador
  - Número de serie del emisor remoto
  - Posición geográfica y altura sobre la superficie o sobre el punto de despegue de UA
  - Dirección y velocidad del UA
  - Posición geográfica del piloto o del punto de despegue

- Debe comercializarse con un manual de usuario para instalarlo y cargar el número de registro del operador para instalarlo y cargar el número de registro del operador (11 caracteres alfanuméricos, los tres primeros correspondientes al país de registro, y los ocho siguientes asignados al operador).
- Deberán registrarse todos los UAS cuyo diseño está sujeto a certificación, en base al anexo 7 de OACI y los operadores deberán también registrarlos sea en categoría específica o certificada.

### Artículo 11: Servicio de concienciación geográfica

Este artículo contiene los requisitos de servicio cuando los USSP brindan un servicio de reconocimiento geográfico a los operadores de UAS.

El conocimiento geográfico contenido en el reglamento de la Unión Europea 2019/945 está relacionado con las capacidades de UAS y los requisitos para los Estados miembros cuando decidan establecer zonas geográficas o para que los operadores de UAS sigan y cumplan con la especificación de estas zonas.

### Artículo 12: Servicio de autorización de vuelo

Este artículo proporciona la descripción del servicio de autorización de vuelo que es obligatorio tanto en el espacio aéreo controlado como el no controlado y se aplica solamente a los operadores de UAS, no a las aeronaves no tripuladas. El motivo de que sea obligatorio también en el espacio aéreo no controlado es la necesidad de que exista una consciencia situacional de los USSP de todo el tráfico UAS que tiene la intención de operar en el U-space.

Esto permite a los USSP aplicar las reglas de priorización antes de proporcionar la autorización, permite también administrar el tráfico de forma pre-táctica. Con la información sobre el tipo de operaciones y su resistencia, así sobre el rendimiento de algunas aeronaves relacionadas. Los USSP deberían poder descartar los vuelos parcialmente conflictivos antes de que tengan lugar. Para hacerlo, cuando hay mas de un USSP que brinda servicios de U-space, todos los están obligados a compartir las solicitudes de autorización de vuelo entre ellos. La plataforma prevista para los que prestan servicios en un determinado momento de implementación se mencionó en el borrador anterior al documento de referencia como "Plataforma USSP".

### Artículo 13: Servicio de información de tráfico

Este artículo contiene los requisitos para el suministro de información del tráfico aéreo conocida relevante para el vuelo del operador de UAS. Para proporcionar este servicio, el USSP puede usar la información sobre otro tráfico disponible para ellos a través del sistema de identificación de red o por otros medios técnicos (por ejemplo, desde aeronaves tripuladas ADS-B<sup>4</sup>) implementados en el U-space. El objetivo principal de este servicio es alertar y ayudar al operador de UAS a evitar una colisión.

Este servicio proporciona las alertas, la situación aérea y el tráfico conocido o previsto al operador de UAS. La información detallada y precisa sobre la posición de otras aeronaves no tripuladas y la frecuencia de actualización de información deberán identificarse y ser evaluado durante el proceso de certificación USSP para la implementación específica del U-space.

---

<sup>4</sup> El sistema de Vigilancia Dependiente Automática-Difusión es una tecnología de vigilancia cooperativa en la que un avión determina su posición a través de la navegación por satélite y la emite periódicamente, lo que permite realizar su seguimiento. (Wikipedia 2019)

## 5. La gestión del tráfico de drones: U-Space

Dentro de los conceptos que se desarrollan actualmente en el ámbito de los drones, uno de los más relevantes es el futuro sistema de gestión del tráfico aéreo de baja altura, denominado U-Space, dado que va a permitir la gestión eficiente del gran volumen de aeronaves no tripuladas civiles que se estima que podrán hacer uso del espacio aéreo a medio-largo plazo.

Los servicios del U-space se introducirán en cuatro fases a medida que la tecnología y la preparación operativa lo permitan. Estos servicios se relacionan con diferentes aspectos de los requisitos para la integración de drones con la gestión del tráfico aéreo y otros usuarios del espacio aéreo.

Entre las funciones más importantes del sistema U-Space se encuentran:

- La operación segura de drones, proporcionando un sistema de gestión de espacio aéreo y definiendo las posibles limitaciones físicas de intrusión.
- La gestión de la congestión del espacio aéreo de baja cota.
- La separación de obstáculos y la previsión de meteorología adversa para la operación de los drones.
- El seguimiento continuo de los vuelos, identificando las operaciones no autorizadas.

El sistema será el complemento perfecto del sistema de gestión de tráfico aéreo tradicional y se coordinarán ambos para garantizar la seguridad entre las operaciones de aeronaves tripuladas y no tripuladas.

El funcionamiento del sistema se basa en una gestión centralizada de planes de vuelos. De esta manera, previamente a la ejecución del vuelo el operador habilitado habrá de emitir el plan de vuelo que pretende realizar al sistema de gestión de tráfico de drones (UTM), donde se analizará y se contrastará con otros planes de vuelo registrados. El propio sistema, como resultado del análisis podrá proponer de forma automática cualquier modificación al plan de vuelo solicitado.

Durante la ejecución del vuelo, la aeronave se monitorizará por la unidad de gestión del tráfico aéreo, con el fin de verificar el cumplimiento del plan de vuelo y proporcionar información en tiempo real sobre aspectos no planificados que puedan interferir en la operación.

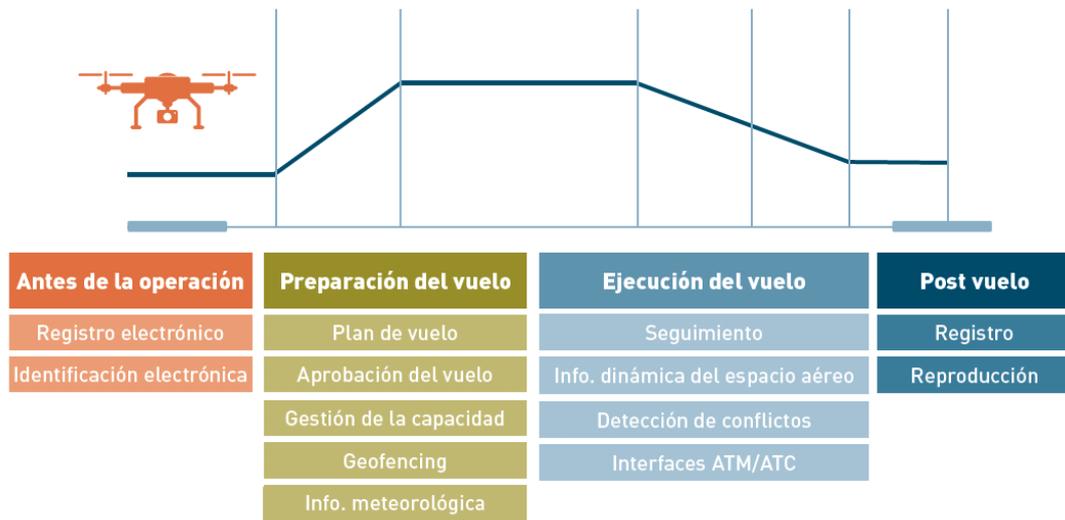


Figura 12- Descripción de las funciones del U-Space. Fuente: (Ministerio de fomento 2019).

## 5.1. Servicios del U-space

El sistema U-Space está basado en 4 tipos de servicios que se implementarán de manera secuencial, en función de la disponibilidad de los bloques de servicios y tecnologías:

- **Servicios fundacionales (U1):** serán la base del U-space y estarán integrados por los servicios de registro electrónico, identificación electrónica y geofencing<sup>5</sup>.
- **Servicios iniciales (U2):** estos servicios proporcionarán soporte para la gestión de las operaciones de drones, permitiendo la planificación, aprobación y seguimiento del vuelo, y proporcionando información en tiempo real y las interfaces necesarias con las unidades de control del tráfico aéreo.
- **Servicios avanzados (U3):** estas tipologías de servicios proporcionarán soporte a las operaciones más complejas que se desarrollen en zonas de gran congestión de tráfico, pudiendo llegar a gestionar la capacidad del espacio aéreo y proporcionar asistencia para la detección temprana de conflictos.
- **Servicios completos (U4):** estos servicios requerirán de un gran nivel de automatización, conectividad y digitalización tanto de las propias plataformas como del propio sistema U-Space, con el fin de obtener la completa integración de los drones dentro del espacio aéreo.

<sup>5</sup> Servicio basado en la ubicación en el que una aplicación u otro software utiliza GPS, RFID, Wi-Fi o datos móviles para activar una acción pre-programada cuando un dispositivo móvil o etiqueta RFID ingresa o sale de un límite virtual configurado en un entorno geográfico ubicación, conocida como *geofence*.

Actualmente, la fase de servicios fundacionales (U1) es la que está mas desarrollada, el resto de los servicios integrados en las siguientes fases se encuentran en definición y desarrollo.

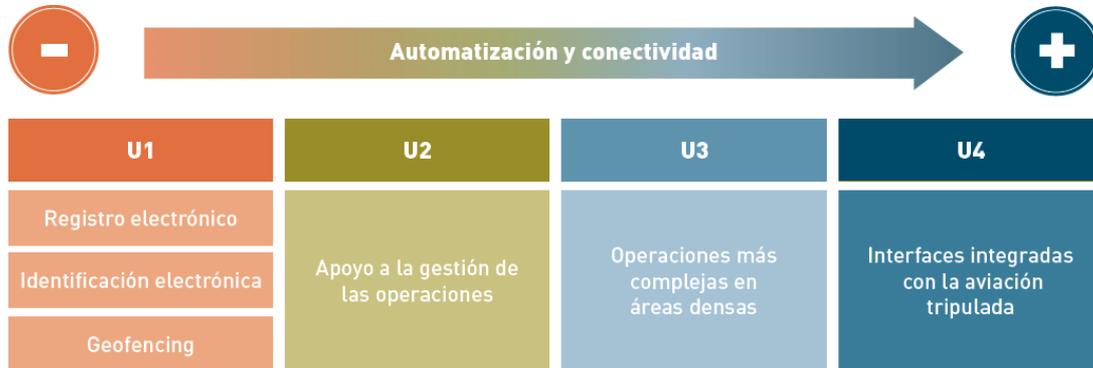


Figura 13- Fases de implementación del U-Space. Fuente: (Ministerio de fomento 2019)

Ahora que hemos visto una imagen general de los cuatro servicios que se incluyen en el U-space procederemos a estudiarlos con mas detalle.

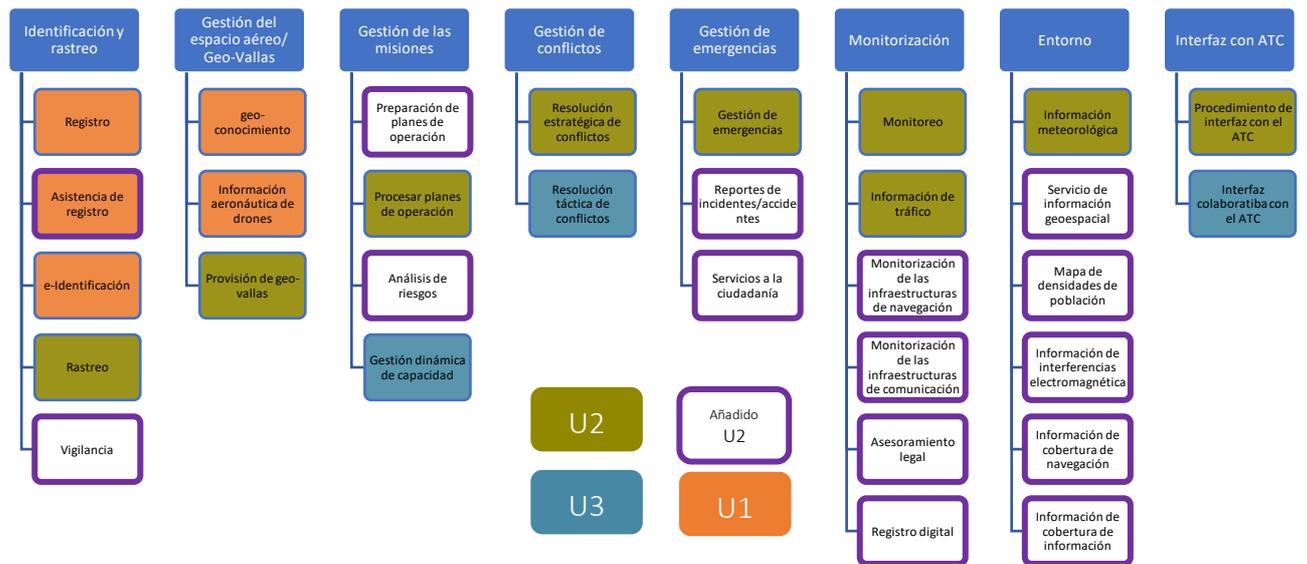


Figura 14- Esquema servicios del U-space .Fuente: (Koen Williame, Unifly 30 de Septiembre, 2019)

## 5.2. Descripción de los servicios del U-space

A continuación, veremos algunas descripciones de los diferentes servicios que se proporcionan:

Registro	Interacción con el registrador para permitir los registros del dron, su propietario, su operador y su piloto. Diferentes clases de usuarios pueden consultar datos, o mantener o cancelar sus propios datos, de acuerdo con los permisos definidos.
Asistencia de registro	Proporciona asistencia a las personas que realizan el registro.
e-Identificación	La identificación de proceso permite que la información sobre el dron y otra información relevante se verifique sin acceso físico a la aeronave no tripulada.
Geo-conocimiento	Esto proporciona información de restricción de vuelo y geo-vallas a los pilotos y operadores de drones para su consulta hasta el momento de quitarse. Incluye información aeronáutica existente, como: <ul style="list-style-type: none"> <li>• áreas restringidas, áreas de peligro, CTR, etc.</li> <li>• información extraída de NOTAMS y legislación</li> <li>• restricciones temporales de la autoridad nacional del espacio aéreo; para producir una imagen general de dónde pueden operar los drones.</li> </ul>
Seguimiento e informes de posición	Recibe informes de ubicación, fusiona múltiples fuentes y proporciona información de seguimiento sobre movimientos de drones Intercambios de datos de vigilancia Intercambia datos entre el servicio de seguimiento y otras fuentes o consumidores de pistas: radar, otros rastreadores de drones, etc.
Servicio de gestión de la información aeronáutica	Este servicio mantiene el mapa de los espacios aéreos X, Y y Z, y los cambios permanentes y temporales en él. Este servicio proporciona información a los servicios de geovallado, así como al servicio de preparación de planificación operativa.
Geo-vallas	na mejora de la concienciación geográfica que permite enviar cambios de geovallas a los drones de inmediato. El dron debe tener la capacidad de solicitar, recibir y usar datos de geo-cercado.
Preparación del plan/ optimización	Brinda asistencia al operador en la presentación de un plan de operación. Este servicio funciona como la interfaz entre el operador de drones y el servicio de procesamiento del plan de operación
Procesamiento del plan de operación	Un servicio de acceso crítico y de seguridad controlado que administra los planes de operación en vivo presentados a través del servicio de preparación del plan de operación y los compara con otros servicios.
Resolución Estratégica de Conflictos	Comprueba posibles conflictos en un plan de operación específico, y propone soluciones, durante el procesamiento del plan operativo.
Gestión de Emergencias	Brinda asistencia a un piloto de drones que experimenta una emergencia con su dron, y comunica información emergente a las partes interesadas.
Informes de accidentes / incidentes	Un sistema seguro y de acceso restringido que permite a los operadores de drones y a otros informar incidentes y accidentes, manteniendo informes durante todo su ciclo de vida.
Monitoreo	Proporciona alertas de monitoreo (preferiblemente audibles) sobre el progreso de un vuelo (por ejemplo, monitoreo de conformidad, monitoreo de cumplimiento

	del clima, monitoreo de cumplimiento de riesgo de tierra, monitoreo electromagnético).
Monitoreo de la infraestructura de navegación	Proporciona información sobre el estado de la infraestructura de navegación durante las operaciones. Este servicio debe dar advertencias sobre la pérdida de precisión de navegación.
Monitoreo de Infraestructura de Comunicación	Proporciona información de estado sobre la infraestructura de comunicación durante las operaciones. El servicio debe dar advertencias sobre la degradación de la infraestructura de comunicación.
Digital <i>Logbook</i>	Produce informes para un usuario en función de su información de registro legal.
Grabación legal	Un servicio de acceso restringido para apoyar la investigación de accidentes e incidentes al registrar todas las entradas al espacio U y dar El estado completo del sistema en cualquier momento. Una fuente de información para la investigación y la capacitación.
Información meteorológica	Recoge y presenta información meteorológica relevante para la operación de drones, incluida información meteorológica hiperfocal cuando esté disponible / requerido. precisión -para la operación del dron.
Mapa de densidad de población	Recoge y presenta un mapa de densidad de población para el dron operado para evaluar el riesgo del suelo. Estos podrían ser datos proxy, p. densidad del teléfono móvil.
Información de interferencia electromagnética	Recoge y presenta información relevante de interferencia electromagnética para la operación del dron.
Información de cobertura de navegación	Proporciona información sobre la cobertura de navegación para misiones que dependerán de ella. Esta información puede especializarse dependiendo de la infraestructura de navegación disponible (por ejemplo, terrestre o satelital).
Interfaz de procedimiento con mecanismo ATC	Mecanismo ATC invocado por el servicio de procesamiento del plan de operación para coordinar la entrada de un vuelo en el espacio aéreo controlado antes del vuelo. A través de esto, el ATC puede aceptar o rechazar el vuelo y puede describir los requisitos y el proceso a seguir por el vuelo.
Gestión de capacidad dinámica	Responsable de equilibrar la demanda de tráfico y las limitaciones de capacidad durante el procesamiento del plan operativo.
Resolución de conflictos tácticos	Controla posibles conflictos en tiempo real y emite instrucciones a la aeronave para cambiar su velocidad, nivel o rumbo según sea necesario.
La interfaz colaborativa con ATC	ofrece comunicación verbal o textual entre el piloto remoto y el ATC cuando un avión no tripulado está en un área controlada. Este servicio reemplaza las soluciones ad-hoc anteriores y permite a los vuelos recibir instrucciones y autorizaciones de manera estándar y eficiente

### 5.3. Estructura del U-Space

El U-Space divide el espacio aéreo VLL en diferentes volúmenes, estos volúmenes difieren de dos maneras: el tipo de espacio aéreo que relaciona los servicios que se ofrecen y la forma de volar y también, los requisitos de acceso y entrada en el espacio aéreo. Existen diferentes criterios para clasificar el espacio aéreo según los servicios que se ofrecen y los medios de operación que se esperan. Se identifican tres tipos de espacios aéreos que se les conoce como X, Y y Z. La diferencia más significativa está en la prestación de servicios de separación, también conocido como servicios de resolución de conflictos.



- X: No se ofrece ningún servicio de resolución o separación de conflictos.
- Y: La resolución de conflictos solo se ofrece previa al vuelo
- Z: Se ofrecen servicios de resolución de conflictos previos al vuelo y servicios de separación durante el vuelo.

Figura 15.- Volúmenes X, Y, Z del U-space. Fuente: (Corus 2019)

#### 5.3.1. Volúmenes X

El acceso a los volúmenes X es fácil, solamente existen algunos requerimientos básicos al operador, el piloto y el dron. En el espacio aéreo X, el piloto es responsable de la separación en todo momento. Los vuelos VL0S y EVLOS son posibles, otros modos de vuelo requerirán atención para mitigar los riesgos.

### 5.3.2. Volúmenes Y

El acceso a los volúmenes Y requieren un plan de vuelo aprobado además de:

- Un piloto entrenado en operaciones en espacio Y.
- Una estación de pilotaje remota conectada al U-space.
- Que la aeronave no tripulada y la estación de pilotaje remota sean capaces de enviar informes de posición.
- Los espacios aéreos pueden tener requisitos técnicos específicos adjuntos, comprobarlos forma parte del proceso de aprobación del plan de vuelo.

El espacio aéreo Y aparece en el servicio U2 y las facilidades para los vuelos de tipo VLO, EVLO y BVLO. El espacio aéreo Y es mas adecuado para otros modos de vuelo diferentes que el espacio X, ya que en este espacio se proporcionan herramientas para la mitigación del riesgo. Los conflictos entre los vuelos se resuelven antes del despegue ya que no se ofrece ningún servicio de separación táctica (durante el vuelo) lo que provocará que las aeronaves vayan muy espaciadas.

### 5.3.3. Volúmenes Z

El espacio aéreo Z necesita tanto un plan de vuelo aprobado como un piloto capacitado para la operación en el espacio Z (o un dron automático conectado compatible), también se requiere de un dron con una estación de pilotaje remota que sea capaz de informar de la posición en todo momento. Hay que tener en cuenta que los espacios aéreos de tipo Z pueden tener requisitos técnicos específicos adjuntos, lo que demostrar que se cumplen es parte del proceso de aprobación del plan de operación.

El espacio aéreo Z facilita los vuelos BVLOS y el vuelo automático de aviones no tripulados y permite VLOS y EVLOS. Tal y como vemos el espacio aéreo Z es más susceptible a otros modos de vuelo que Y ya que se proporcionan más mitigaciones de riesgo y además permite operaciones de mayor densidad.

## 6. Separación y gestión de conflictos

### 6.1. Separación

La separación es un concepto para mantener las aeronaves a una distancia mínima entre sí para reducir el riesgo de colisión. En el espacio aéreo controlado, el ATC es responsable de mantener una separación mínima entre las aeronaves tripuladas, dependiendo de las reglas de vuelo a las que se adhiera la aeronave y las clases de espacio aéreo. En el espacio aéreo no controlado, y para las aeronaves en el espacio aéreo controlado para el cual el ATC no proporciona separación, las aeronaves aseguran la auto-separación con la regla de Permanecer bien despejado (RWC).

En ambos casos, la separación mínima se mantiene a través de reglas de procedimiento y/o un método de vigilancia situacional (como el radar primario). (EUROCONTROL 2019)

Cada estándar de separación generalmente se basa en las capacidades del servicio que lo ofrece (por ejemplo, la resolución del radar) o las capacidades de todas las aeronaves involucradas (por ejemplo, mantener una precisión vertical del nivel de vuelo de al menos +/-011 pies). Con la aparición de pequeños sistemas de localización y localización posicional de alta precisión, las distancias mínimas para la separación segura de las aeronaves ahora pueden depender del rendimiento del sistema general de navegación y vigilancia. La OACI define la navegación basada en rendimiento (PBN) en términos de precisión, integridad, disponibilidad, continuidad y funcionalidad.

- Precisión: el volumen del espacio de los drones será reducido.
- Integridad: medida de corrección de los datos de navegación proporcionados.
- Disponibilidad: la proporción de tiempo que la información de navegación es veraz y está disponible.
- Continuidad: la capacidad de proporcionar información de navegación ininterrumpida.
- Funcionalidad: requisitos funcionales.

Para la aviación tripulada, PBN se ha implementado mediante ejemplos tales como la especificación de rendimiento de navegación requerida (RNP) de monitoreo y alerta a bordo, o la especificación de navegación de área (RNAV) que se basa en balizas de navegación. Ambos métodos de especificación definen una distancia de separación basada en los criterios anteriores.

El despliegue seguro de una especificación de separación PBN puede definirse como:

*Separación = Función(Precisión, Integridad, Disponibilidad, Continuidad, Funcionalidad)*

Las condiciones climáticas prevaecientes también pueden afectar a los drones pequeños de varias maneras y también debe tenerse en cuenta al definir la separación requerida entre dos aviones.

Para definir las separaciones entre las aeronaves, distinguiremos: VLOS, BVLOS y EVLOS.

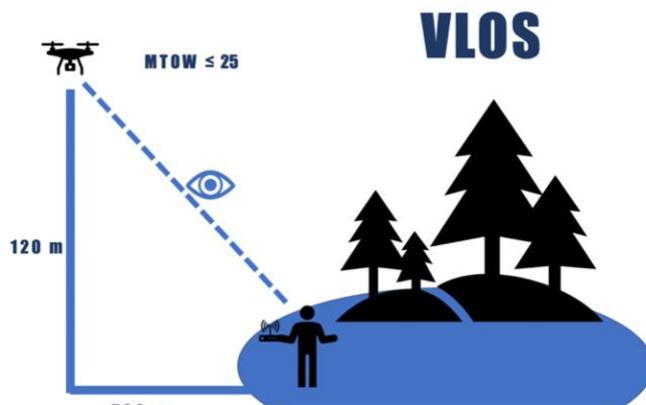


Figura 16- Representación gráfica de VLOS. Elaboración propia.

VLOS son las siglas en inglés de *Visual Line of Sight*, lo que conocemos como dentro del alcance visual del piloto. Las operaciones dentro del alcance del piloto son aquellas en las que el piloto mantiene contacto visual directo con el dron, sin la ayuda de dispositivos ópticos o electrónicos. Estos vuelos con drones, que son los más comunes, no requieren ninguna autorización especial de AESA, con excepción de las obligatorias para realizar operaciones profesionales, comerciales y experimentales.

El Real Decreto 1036/2017, que regula la utilización civil de las aeronaves pilotadas por control remoto, establece el alcance visual del piloto en 500 metros, como máximo y una altura máxima de 120 metros desde el obstáculo más cercano al suelo. (Rodríguez s.f.)

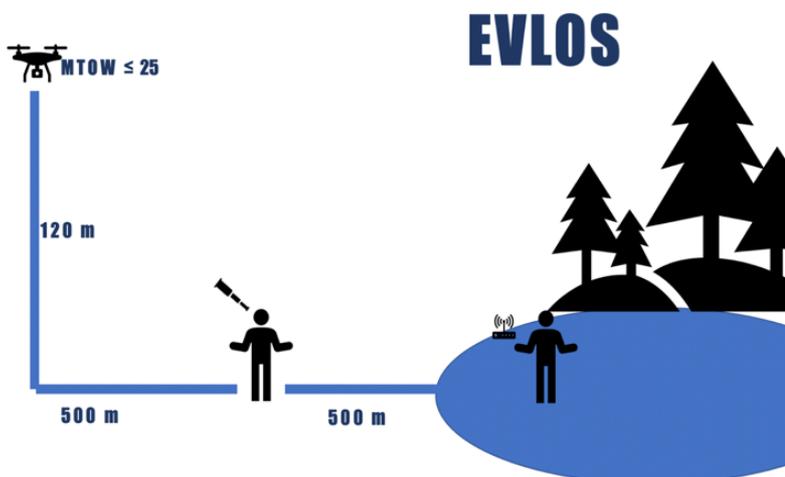


Figura 17- Representación gráfica EVLOS. Elaboración propia.

Los vuelos con drones dentro del alcance visual aumentado o EVLOS (*Extended Visual Line of Sight*) son las operaciones en las que el contacto directo con la aeronave se realiza con la ayuda de observadores que se mantienen en contacto permanente por radio con el piloto. Los observadores deberán estar en posesión de la licencia de piloto profesional, aunque no es obligatorio tener una habilitación práctica del dron. Es decir, las personas de apoyo u observadores tendrán los conocimientos teóricos exigidos por AESA para realizar operaciones profesionales (curso de piloto de drones avanzado).

En cuanto a las limitaciones de distancia de los vuelos EVLOS con drones, son iguales que para los VLOS. En este caso, el alcance visual lo tendrá que cumplir el observador, que se comunicará en todo momento por radio con el piloto (que se encontrará en otro punto y no visualizará directamente el dron). (Rodríguez s.f.)



Figura 18- Representación gráfica BVLOS. Elaboración propia.

BVLOS son las siglas en inglés de *Beyond Visual Line of Sight*, es decir, más allá del alcance visual del piloto. En estas operaciones, el piloto no tiene contacto visual directo con el dron, ni se ayuda de un observador. Realiza el pilotaje gracias a la emisión de la estación de pilotaje remoto, que permite el enlace con el mando para un control efectivo. Para este tipo de vuelos con drones es necesario que el RPA cuente con sistemas que permitan a su piloto detectar y evitar a otros usuarios del espacio aéreo. (Rodríguez s.f.)

### Entre VLOS y VLOS

El piloto remoto que vuela el dron el VLOS es responsable de evitar colisiones, a pesar de la dificultad de juzgar con precisión la altura y la distancia a simple vista. Sin embargo, si se proporcionan servicios de desconfianza estratégica y táctica, no se necesita un mínimo de separación particular entre VLOS, al igual que no hay ninguno entre dos VFR en la clase G. (EUROCONTROL 2019)

## Entre VLOS y BVLOS

Cuando se envía un plan de operación de drones, el sistema U-Space puede considerar la separación mínima antes de validar el plan. Incluso el vuelo VLOS apoya la orientación de colisión, los mínimos de separación deben definirse entre BVLOS y VLOS, para proporcionar seguridad para el vuelo BVLOS. (EUROCONTROL 2019)

## Entre BVLOS y BVLOS

Los mínimos deben tener en cuenta la precisión de navegación y la velocidad a la que puede desplazarse la aeronave. Por ejemplo, en las vías aéreas dedicadas a vuelos de alta velocidad y larga distancia, estos mínimos deberían ser más altos que los de las áreas de alta densidad, lo que debería ser una función de la velocidad operativa máxima. (EUROCONTROL 2019)

## Entre aeronaves no tripuladas y aeronaves tripuladas

De acuerdo con las regulaciones de EASA, los aviones no tripulados deben volar por debajo de 021 m para la categoría abierta y en el escenario estándar para la categoría específica. Las regulaciones nacionales en muchos países europeos determinan que deben volar lejos de la actividad de aviación tripulada. Pero incluso cuando vuela por debajo de 021 muy lejos de la actividad de aviación tripulada, un encuentro con una aeronave tripulada está lejos de ser raro. VFR e IFR deberían evitar el espacio aéreo tipo X.

BVLOS puede ingresar al espacio aéreo tipo X solo si se mitiga el riesgo aéreo. Sin embargo, si se planea volar un avión VFR en dicho espacio aéreo a una altitud conocida, la mitigación podría implicar limitar la altitud del dron a una altura segura por debajo del vuelo VFR mediante una NDZ táctica. En el espacio aéreo de los tipos Y y Z, U-Space conocerá todas las operaciones y podrá llamar la atención de un piloto de aeronaves tripuladas antes de que despeguen.

Las aeronaves tripuladas que operan en este tipo de espacio aéreo podrían solicitar una "zona de no dron" permanente o ad-hoc (por ejemplo, hospital o edificio con helipuerto) en función de la actividad de drones. También se podría prever una capa dedicada a aviones tripulados (por ejemplo, helicópteros de policía, movilidad urbana) por encima de 011 m / 0111 pies sobre áreas urbanas, donde se justifique. (EUROCONTROL 2019)

## Geo-fences

Las Geo-fences, también denominadas cercas geográficas son un nuevo mecanismo que proporciona un nuevo medio para mitigar el riesgo. Se utilizan para proporcionar barreras para evitar que los drones no autorizados entren y salgan de un volumen designado.

Las cercas geográficas tienen las siguientes propiedades:

- Obedecer las cercas geográficas es obligatorio, per se pueden otorgar excepciones, que tendrán una implementación técnica estándar.
- Mientras que la mayoría de las cercas geográficas excluyen aeronaves de áreas restringidas o controladas, un dron puede estar restringido a permanecer dentro de una cerca geográfica.
- Las cercas geográficas pueden ser temporales
- Las cercas geográficas pueden tener tiempos de operación
- Las cercas geográficas pueden cercarse con efecto inmediato

## 6.2. Gestión de conflictos

ESTRATÉGICA (PRE-TÁCTICA)	SEPARACIÓN TÁCTICA	ELUSIÓN DE COLISIONES
La capacidad de planificar un vuelo que no entre en conflicto con otros usuarios, antes de la salida. Esto implica que los operadores compartan planes de operación con las partes relevantes y reduzcan cualquier pérdida potencial de separación, ya sea por una separación de procedimiento acordada o por la planificación de rutas que evites otras aeronaves.	La capacidad de mantener la conciencia situacional, visualmente o con instrumentos. ATC usa la radio para predecir las trayectorias de las aeronaves y las autorizaciones de emisión para resolver posibles conflictos. De manera similar, VFR define las acciones tácticas necesarias para gestionar la pérdida potencial de separación entre dos aeronaves en espacio aéreo no controlado.	La capacidad de prevenir una colisión como parte de un último curso de acción, si los planes y disposiciones de separación anteriores fallan.

Tabla 4- Cuadro resumen gestión de conflictos

### Estratégico vs táctico

En los sistemas implementados del ATC actuales, el componente ATCD (Detección de conflictos a medio plazo) se basa en lo que se supone que debe hacer la aeronave. Las intenciones del operador se declaran en forma de planes de vuelo y esto es lo que se conoce como la vista estratégica: el plan de vuelo se puede usar para asignar ranuras y asegurarnos que se respetan las capacidades de los sectores cruzados.

En realidad, los planes de vuelo rara vez se ejecutan perfectamente y es por eso que la visión estratégica puede ser remplazada por una vista táctica. La vista táctica integra la vista estratégica inicial y enriquece el plan de vuelo con observaciones como por ejemplo, la desviación en el tiempo, la distancia y el nivel de vuelo.

### 6.3. Mitigación del riesgo de colisión en el U-space

Tal y como se ha visto en el punto anterior, para tener seguridad de separación en el U-space hay diversas etapas que tienen como objetivo asegurar operaciones seguras y minimizar los riesgos. Desde el punto de vista del concepto de U-space la seguridad también está relacionada con los 4 servicios que ofrece el U-space:

- Planificación en el U-space
  - Desde un inicio: cercas geográficas
  - Desde el servicio U2: resolución estratégica de conflictos
  - Desde el servicio U3: gestión de capacidad dinámica
- Operaciones en U-space
  - Desde un inicio: VLOS y EVLOS
  - Desde U2: información del tráfico
  - Desde U3: resolución táctica de conflictos
- Redes de seguridad en el U-space
  - Desde U3: detección y evitación cooperativa

La resolución estratégica de conflictos se limita al riesgo de interacción entre dos posibles trayectorias de drones, incluye dos partes: identificar el riesgo y reducirlo.

#### 6.3.1. Identificación del riesgo

El U-space tiene intención de crear trayectorias 4D de probabilidad, teniendo en cuenta la incertidumbre esperada (rangos de tiempo de despegue en el plan de vuelo por ejemplo). Y es que, para cualquier punto en cualquier momento existe la probabilidad de que un dron esté presente, por eso, la trayectoria en 4D probabilística se basa tanto en condiciones como en incertidumbres. (EUROCONTROL & Andres Van Swalm Junio 2018)

Para comprender mejor este sistema veremos el siguiente ejemplo, donde el color azul muestra los datos que provienen de la herramienta de planificación y el naranja es generado por el UTM, teniendo en cuenta las incertidumbres:

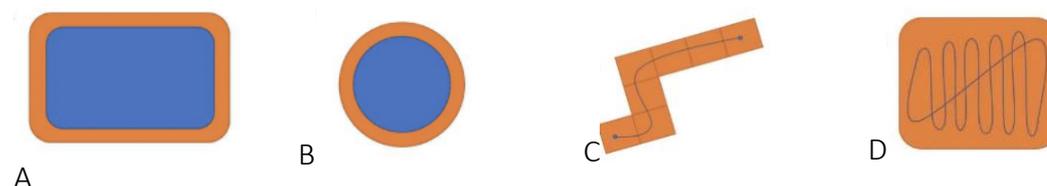


Figura 19- Ejemplo de identificación del riesgo con trayectorias e incertidumbres. Fuente: (EUROCONTROL & Andres Van Swalm Junio 2018)

Los ejemplos de la Figura 19 muestran en azul una trayectoria de vuelo y en naranja una zona de operación probable. Los ejemplos son bidimensionales por motivos ilustrativos, pero el proceso será 4D incluidas las incertidumbres tanto de altura como de tiempo.

Los dos primeros ejemplos (A y B), son planes para operaciones VLOS, son volúmenes de operación en lugar de trayectorias lineales. El C es un patrón de exploración típico de una operación pre-programada y el modelo D sería por ejemplo una exploración lineal, quizás del tipo BVLO.

### 6.3.2. Resolución estratégica de los riesgos

La resolución estratégica de los riesgos compara la trayectoria de la aeronave con cualquier otra trayectoria que el sistema reconozca, al compararla, detecta cualquier tipo de probabilidad de que dos o mas aeronaves se encuentren en una distancia demasiado pequeña. Se podría reducir la probabilidad de encontrarnos con un conflicto mediante la aplicación de soluciones estándar. Estas soluciones identifican el riesgo y proponen al operador cualquier cambio que reduzca el riesgo a un nivel aceptable. La pregunta que se formula llegados a este punto es la decisión frente a un riesgo alto que se debería hacer, rechazar la operación o proporcionar mas información desde el UTM.

Se supone que existe un límite de la densidad del número de aeronaves que el TCR puede admitir, es por eso por lo que la gestión dinámica de capacidad implementa el límite de la densidad. También por cualquier otra razón, como por ejemplo, limitación en el ruido. Los planes de vuelos podrán sufrir diferentes medidas en el momento de alcanzar la capacidad del espacio. Todo eso, no es posible sin la gestión de los planes de vuelo, es por eso que vamos a analizar a continuación que debe contener un plan de vuelo, que se podría resumir en las cuatro W del inglés *Who, What, Where* y *When* (Quién, Qué, Dónde y Cuándo).

WHO	WHAT	WHERE & WHEN
Pilotos (que dispongan de licencia del registro electrónico)	Drones (que cumplan las especificaciones técnicas)	En la fecha y hora estimadas de despegue (+ el margen de incertidumbre)
Operadores que contengan el registro electrónico	Que tengan las capacidades técnicas significativas o sistemas técnicos instalados en el dron	VLOS: ubicación de despegue y altura sobre el suelo BVLOS: ruta de vuelo
	Que usen los servicios del U-space durante el vuelo para reducir riesgos	Ubicación planificada de aterrizaje y despegue Ubicaciones alternativas de aterrizaje

Tabla 5- Resumen del contenido de un plan de vuelo

### 6.3.3. Resolución táctica de los conflictos

En el momento en el que se presenta el plan de vuelo y este es analizado y comparado con los planes de vuelo ya registrados puede que surja un conflicto, es por eso que debemos de tener herramientas para mitigarlos.

Las técnicas de resolución de conflictos que desde Eurocontrol se contemplan son las siguientes:

- Uso de planes de vuelos para rastrear los datos.
- Aplicación de un conjunto de reglas
- El servicio envía consejos para la resolución de conflictos a los pilotos de drones directamente interesados (por ejemplo, gire, descienda, reduzca la velocidad...)

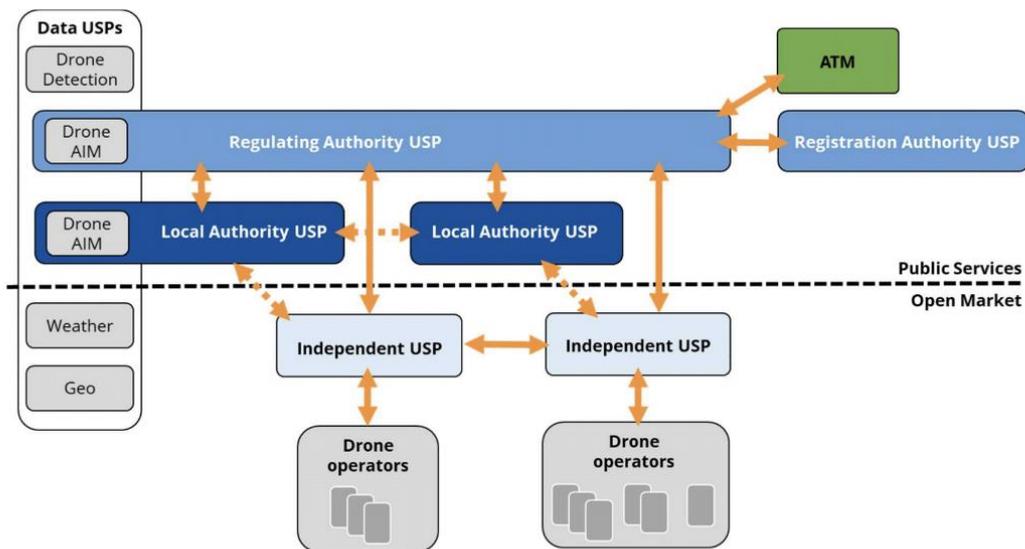


Figura 20- Esquema de la resolución táctica de conflictos. Fuente: (EUROCONTROL & Andres Van Swalm Junio 2018)

Tal y como se muestra en Figura 20, la resolución de conflictos de forma táctica es un proceso dónde los diferentes USP (proveedores de servicios no tripulados) comparten a las autoridades locales y a las autoridades regulatorias los datos de los planes de vuelos. Estos datos se monitorearán para analizar los posibles conflictos y responderán con las indicaciones pertinentes al piloto de drones.

#### 6.3.4. Detectar y evitar de forma colaborativa

Anteriormente hemos visto los diferentes servicios que proporciona el U-space, ahora nos centraremos en algunas características propias de cada servicio para la seguridad de las operaciones.

##### Detección de forma colaborativa en U3

Para ello, cada dron emite señales que los demás pueden detectar. Cada dron detecta las señales emitidas por otros y se siguen procesos estandarizados cuando se necesita evitar. Por ejemplo, el sistema ACAS-Xu, para usarlo y que sea útil, este sistema debe ajustarse a todos los drones o también puede ser de utilidad el uso de una red de seguridad, que no podrá ser considerado como el único medio de separación ya que en algunos casos no funciona, aunque por lo general, reducirá la cantidad de colisiones.

##### Interoperación segura con VFR en U4

El servicio U4 incluye la interoperación segura con reglas de vuelo visuales. Para ello, partimos de que los drones pequeños son difíciles de ver por los pilotos que vuelan según las reglas de vuelo visuales, para ello existen dos métodos: el método cooperativo y el no cooperativo.

En el método cooperativo se incluye en los pequeños drones diferentes elementos que los hacen más "visibles" por los demás y en el no cooperativo los drones llevan consigo herramientas que los hace capaces de "ver" a los drones que vuelan según las reglas visuales. Según CORUS no tiene muy claro cual de los dos métodos es más favorable pero si que detecta una pequeña ventaja en el modo no cooperativo y es que las herramientas que les permiten detectar otros drones también pueden ser de utilidad para evitar otros objetos.

#### 6.4. Deconflictos antes del vuelo en operaciones de UAS

Para lograr un uso seguro de nuestro espacio aéreo debemos aplicar un conjunto de herramientas para poder gestionar los vuelos con algunas reglas simples de deconflicto antes del vuelo.

### 6.4.1. Deconflicto por caminos geométricos

Para esta técnica de deconflicto se sirve de los planes de vuelo de las misiones. En los momentos antes de la salida del vuelo esta herramienta comprueba todos los demás vuelos que espera que estarán en el aire y, en base a su predicción de las posiciones modificará la ruta horizontal del nuevo plan para evitar así cualquier otro conflicto de tráfico.

El servicio estratégico realiza la eliminación de conflictos horizontales a medida que recibe los planes de vuelo gracias a una tecnología de planificación de caminos geométricos para realizar la deconflicción. (Peter Sachs 2018)

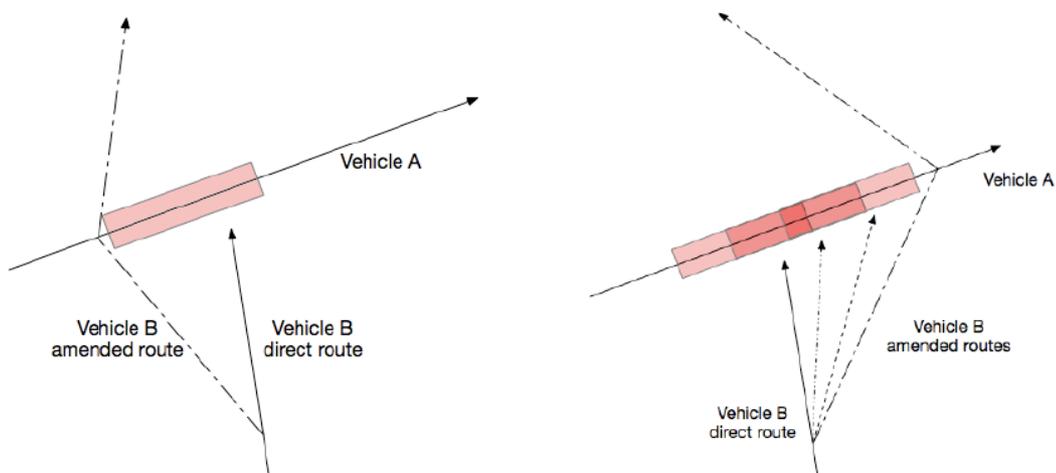


Figura 21 - Solución de conflictos previa al vuelo. Fuente: (Peter Sachs 2018)

Tal y como se muestra en la Figura 21, la solución de conflictos previos al vuelo trata la ubicación de un conflicto entre dos vehículos como una zona de "exclusión aérea" para el segundo vehículo. El tamaño del área a evitar es una función de separación mínima que el planificador ha recibido instrucciones de mantener, más una zona de amortiguación (rojo claro). A la izquierda, una resolución que hace que el vehículo B pase por detrás del A.

El planificador comprueba la ruta en busca de conflictos en el tiempo continuo en función de los planes de vuelo y rutas que ya ha aprobado. Cuando se detecta un conflicto entre ellos se intenta ajustar la ruta del vehículo que aún no está en el aire. Para ello, se agregará un segmento de ruta a la izquierda o a la derecha de la región según convenga en la que se espera que vuele el primer vehículo.

Como resultado, puede elegir la solución menos óptima de girar para volar por delante del primer vehículo. Sin embargo, no hay garantía de una ruta libre de conflictos, especialmente en casos con muchos vehículos en vuelo entre sí o encuentros difíciles de resolver en ángulos de convergencia poco profundos.

#### 6.4.2. Deconflicto estratégico por variación en la ventana de tiempo de despegue

La herramienta estratégica de solución de conflictos basada en el desarrollo hecho en PARTATE (*cooPerative depArtuRes for a competitive ATM network sErvice*) y EuroDRONE (CEF-SESAR-2018-1) se utiliza durante la fase de planificación de la misión, estudiar y mitigar cualquier conflicto potencial con otros usuarios del espacio aéreo. PATAKE se basa en una base de datos que contiene todos los datos de las misiones aprobadas por UAV, junto con NOTAM, zonas temporales en las que no se puede volar y RBT<sup>6</sup> de aeronaves. Cada vez que una nueva misión está en fase de planificación y se inserta en PARTAKE su trayectoria es mapeada y analizada para detectar posibles conflictos con otros UAV, aviones RBT o áreas con vuelo no permitido.

Si se detecta un conflicto, un módulo de mitigación estudia sugerir un turno de salida, dentro de un intervalo de tiempo predefinido (*Launch Window*). Con ello se asegura una ventana libre de conflicto. La misión se deniega cuando se encuentra con un interbloqueo (ningún cambio de hora en la salida de la misión puede resolver el conflicto con otras misiones ya aprobadas). Hay que tener en cuenta que en la resolución estratégica de conflictos el servicio interactúa con el servicio de planificación de la misión en dos instantes de tiempo definidos.

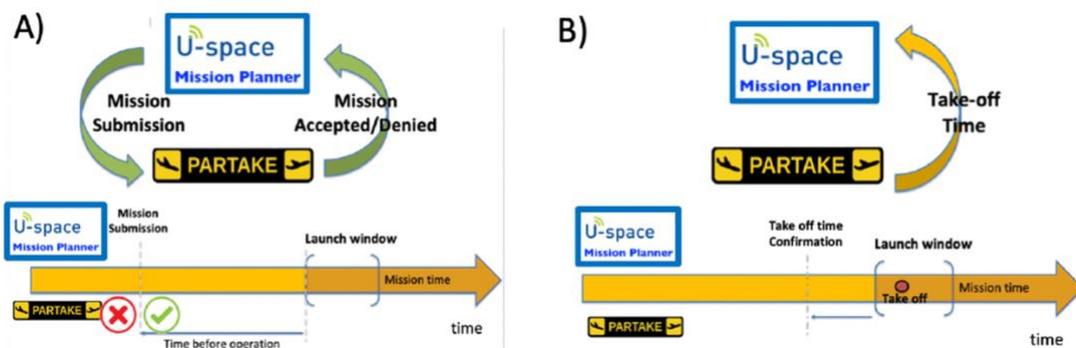


Figura 22- Interacciones entre el planificador de la misión y la línea de tiempo PARTAKE

Fuente: (JL Muñoz-Gamarrá s.f.)

La Figura 22 muestra este proceso que se ha explicado: un tiempo antes de la ejecución de la misión el planificador presenta la misión para ser realizada.

Puede estar comprueba por una descripción de área o coordenadas junto con su intervalo de tiempo. Además, también especifica un intervalo de tiempo (ventana de tiempo de lanzamiento), junto con una hora de inicio solicitada, en la que la misión pretende empezar.

<sup>6</sup> RBT: *Reference Business Trajectory*.

El servicio PARTAKE comprueba si hay conflicto con otras misiones, y si es necesario se verifica si es posible garantizar la misión libre de conflictos en el tiempo previsto o dentro de la ventana de lanzamiento.

Se pueden asignar prioridades a ciertas misiones o UAV (emergencias hospitalarias, policiales...) dándoles ventaja cuando se entra en conflicto con otras misiones. Si la misión no tiene ningún conflicto o se puede solucionar cambiando el turno de salida se aceptará. En cambio, si hay un punto muerto se denegará la misión (Figura 22 A). Antes del inicio de la misión (Figura 22B) PARTAKE asigna y notifica al usuario del espacio aéreo el tiempo de despegue asignado dentro de la ventana de lanzamiento de la misión.

Al mismo tiempo, el servicio PARTAKE integrado también permite que el administrador del espacio aéreo configure los mínimos de separación y el mínimo de envío, confirmación y lanzamiento, proporcionando al administrador la capacidad para estudiar la compensación entre capacidad, flexibilidad del sistema y seguridad tal y como se representa en la tabla inferior. (JL Muñoz-Gamarrá s.f.)

Parámetro	Restricciones del usuario final	Niveles de ocupación
Aumento tiempo mínimo de envío	Aumenta	Aumenta
Aumento del tiempo de confirmación	Disminuye	Disminuye
Aumento tiempo de ventana de lanzamiento	Aumenta	Aumenta

Tabla 6- Impacto del parámetro de tiempo de deconflicto estratégico en la capacidad y la flexibilidad del sistema.  
Fuente: (JL Muñoz-Gamarrá s.f.)

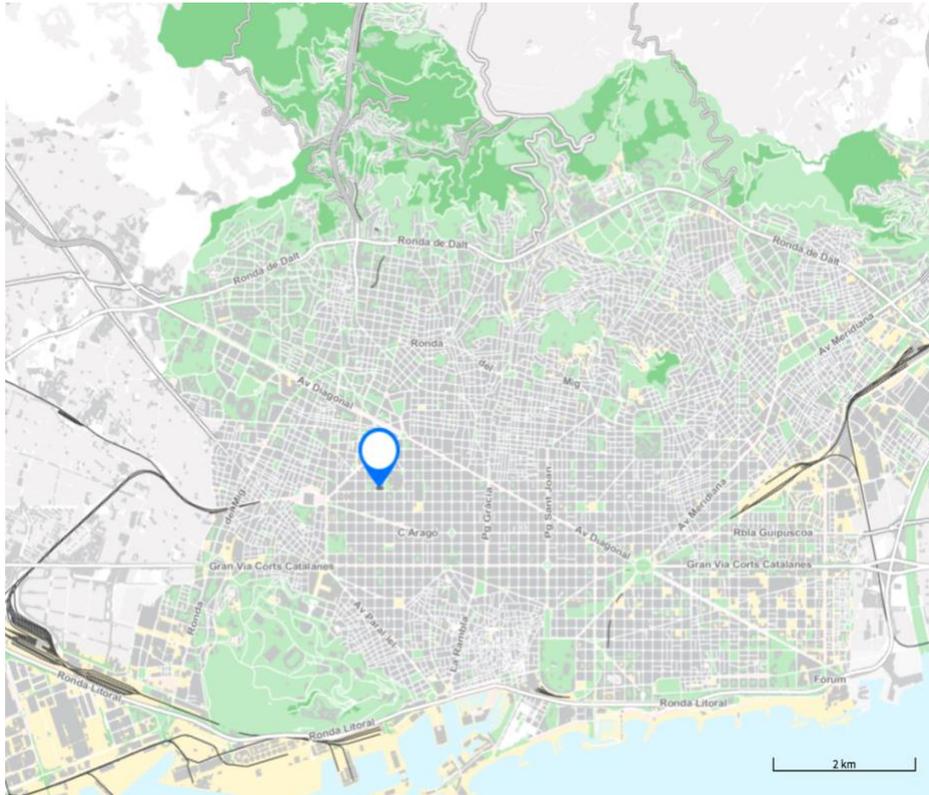
Para poder verificar la evolución y el estado del espacio aéreo en los diferentes escenarios se emplea un visualizador en el que se puede observar:

- Evolución táctica: número real de UAV bajo operaciones con los detalles de su misión planificada.
- Evolución estratégica: misión enviada a PARTAKE y su estado de validación

Esta función de deconflicto será la táctica que se empleará en las simulaciones para analizar la distancia mínima y la mayor densidad posible con unos valores de seguridad aceptables.

## 7. Caracterización del escenario

Nos encontramos en la ciudad de Barcelona, concretamente en la calle Rosselló número 89, en una antigua sede editorial histórica del Eixample de Barcelona donde la compañía de comercio electrónico Amazon instala un almacén subterráneo para su servicio de entregas en una hora. (Berengueras 2016)



### COORDENADAS DEL CENTRO DE LAS MISIONES

#### Coordenadas GD

Latitud  
41,3864661

Longitud  
2,1469988

#### Coordenadas GMS

Latitud:  
41° 23' 11,278" N

Longitud:  
2° 8' 49,195" E

Figura 23- Plano de Barcelona. Fuente: (www.barcelona.cat s.f.)

La ubicación señalada en la Figura 23 será el punto de partida de nuestras misiones, que recorrerán las calles de la ciudad Condal para entregar los paquetes en menos de dos horas a los clientes, pero no puede ser la única de las ubicaciones de salida de las misiones, dado que debido al elevado número de misiones crearíamos un efecto de cuello botella. Para resolver este conflicto se habilitarán 5 puntos de partida adicionales en centros de paquetería de correos distribuidos por toda la ciudad, tal y como se observa en la imagen inferior.

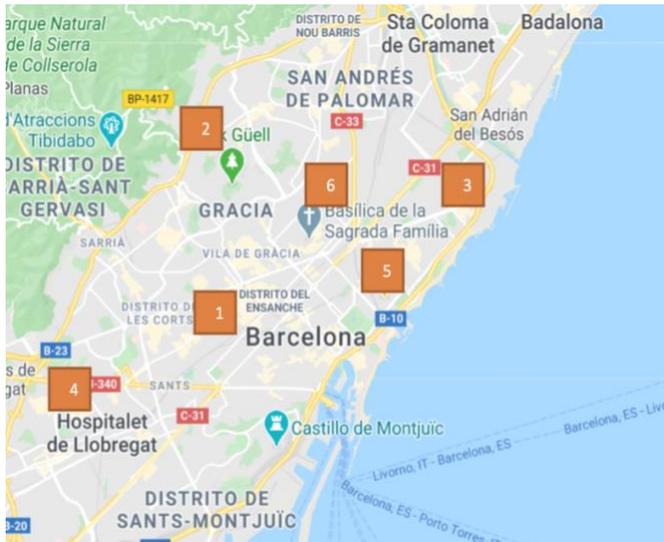


Figura 24- Plano de Barcelona

### COORDENADAS DE LOS CENTROS DE LAS MISIONES

	COORDENADAS GD	COORDENADAS GMS
1	Latitud 41,3864661 Longitud 2,1469988	Latitud: 41° 23' 11,278'' N Longitud: 2° 8' 49,195'' E
2	Latitud 41,4219005 Longitud 2,1414916	Latitud: 41° 25' 18,842'' N Longitud: 2° 8' 29,369'' E
3	Latitud 41,4101085 Longitud 2,2172596	Latitud: 41° 24' 36,391'' N Longitud: 2° 13' 2,134'' E
4	Latitud 41,3724631 Longitud 2,1099037	Latitud: 41° 22' 20,867'' N Longitud: 2° 6' 35,653'' E
5	Latitud 41,4029771 Longitud 2,2029056	Latitud: 41° 24' 10,718'' N Longitud: 2° 12' 10,46'' E
6	Latitud 41,4067456 Longitud 2,11847536	Latitud: 41° 24' 24,284'' N Longitud: 2° 11' 5,112'' E

Tabla 7- Coordenadas de los centros de las misiones en Barcelona

Tal y como podemos ver en la Figura 24 el mapa muestra la densidad de los distintos barrios de Barcelona. Es fácil ver que las zonas con más población por edificio son el Raval, el Poble Sec o la Dreta de l'Eixample. En cambio, la densidad cae en zonas igualmente céntricas pero que se dedican principalmente al comercio y los negocios como por ejemplo Passeig de Gràcia. En el escenario en el que realizaremos el estudio hay que determinar también el destino de nuestras misiones, para ello nos guiaremos según la densidad de la población, que mediante un cálculo de probabilidad determinará aleatoriamente el destino de cada misión.

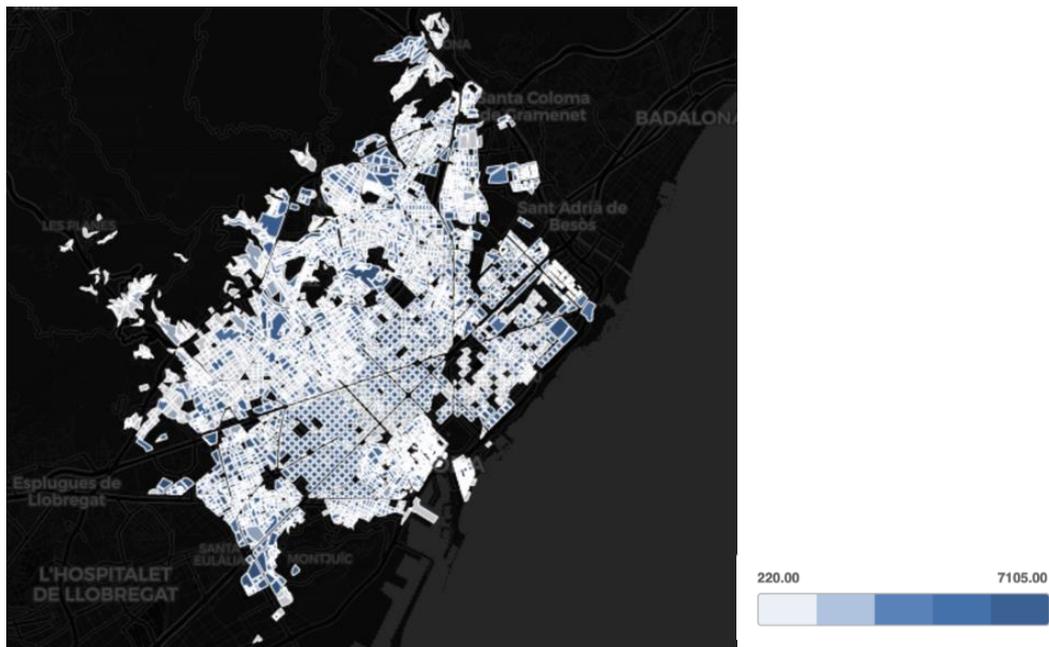


Figura 25 - Mapa de la densidad de población de Barcelona. Fuente: (CARTO 2015).

La ciudad de Barcelona se divide en distritos y dentro de cada distrito hay diferentes barrios. En total nos encontramos con diez distritos y 73 barrios. A continuación encontramos una tabla donde se describe cada uno de los distritos, barrios y la densidad habitante/km<sup>2</sup>.

Distritos	Imagen	Barrios	Superficie km <sup>2</sup>	Población 2019	Densidad hab/km <sup>2</sup>
Ciutat Vella		El Raval - Barri Gòtic - La Barceloneta - Sant Pere, Santa - Caterina i la Ribera	4,11	103.429	25.159,09
Eixample		El Fort Pienc - Sagrada Família - Dreta de l'Eixample - L'antiga Esquerra de l'Eixample - La Nova Esquerra de l'Eixample - Sant Antoni	7,46	265.910	35.625,67
Sants - Montjuïc		Poble Sec - La Marina del Prat Vermell - La Marina del Port - La Font de Guatlla - Hostafrancs - La Bordeta - Sants-Badal - Sants - Zona Franca - Montjuïc	22,68	184.091	8.118,32
Les corts		Les Corts - La Maternitat - Pedralbes	6,02	81.974	13.607,11
Sarrià - Sant Gervasi		Vallvidrera - Sarrià - Les Tres Torres - Sant Gervasi - Bonanova - Sant Gervasi - Galvany - El Putget i Farró	19,91	149.260	7.497,11
Gràcia		Vallcarca i els Penitents - El Coll - La Salut - Vila de Gràcia - Camp d'en Grassot i Gràcia Nova	4,19	121.798	29.082,62
Horta - Guinardó		Baix Guinardó - Can Baró - El Guinardó - La Font d'en Fargues - El Carmel - La Teixonera - Sant Genís dels Agudells - Montbau - Vall d'Hebrón - La Clota - Horta	11,96	171.495	11.342,64
Nou Barris		Vilapicina i la Torre Llobeta - Porta - Turó de la Peira - Can Peguera - La Guineueta - Canyelles - Les Roquetes - Verdún - La Prosperitat - La Trinitat Nova - Torre Baró - Ciutat Meridiana - Vallbona	8,05	170.669	21.198,48
Sant Andreu		La Trinitat Vella - Baró de Viver - El Bon Pastor - Sant Andreu - La Sagrera - Congrés i els Indians - Navas	6,59	149.821	22.724,25
Sant Martí		El Camp de l'Arpa del Clot - El Clot - El Parc i la Llacuna del Poblenou - La Vila Olímpica del Poblenou - Poble Nou - Diagonal Mar - El Besós i el Maresme - Provençals del Poblenou - Sant Martí de Provençals - La Verneda i la Pau	10,39	238.315	22.943,58

Tabla 8- Datos, distritos, barrios y datos de la población de Barcelona 2019. Fuente: (Wikipedia 2020)

## 8. Caracterización del tipo de aeronave

Las características técnicas de un dron varían dependiendo del uso que se le vaya a dar, por eso existen drones de todo tipo, desde los de uso recreativo hasta los militares, pasando por usos de seguridad, audiovisual... Por eso, cada aeronave no tripulada tendrá unas especificaciones técnicas específicas para realizar diferentes actividades.

En el caso de estudio que nos ocupa tendremos muchas restricciones que la aeronave debe cumplir para garantizar el correcto funcionamiento del servicio. Para ello, hemos realizado una selección previa de distintos tipos de UAV que a priori, pueden cumplir con los requisitos que demandamos y a partir de ellos realizaremos la selección.

Nombre del modelo	Autonomía (tiempo)	Velocidad máxima de vuelo	Carga efectiva máxima	Altitud de vuelo	Autonomía (distancia)
GAIA 160MP	45 min	10 m/s	30 kg	500 m	27 km
Yuneec Typhoon H3	25 min	20 m/s	2 kg	500 m	30 km
OnyxStar FOX XT	37 min	12,5 m/s	5 kg	5.000 m	27,75 km
Vulcan UAV Airlift	30 min	13,89 m/s	30 kg	1.000 m	25,002 km
Sniper	120 min	19,44 m/s	17 kg	3.000 m	139,97 km
X-PROP	40 min	5,56 m/s	6 kg	900 m	13,34 km
NM & M400	52 min	12,5 m/s	4,2 kg	2.500 m	39 km
Indra Pelícano	240 min	36,11 m/s	200 kg	3.500 m	519,98 km
INTA HADA	200 min	33,33 m/s	50 kg	3.100 m	399,96 km
QuadCopter UX-401	40 min	4,167 m/s	7 kg	250 m	10 km

Tabla 9- Comparativa entre diferentes modelos de UAV. Fuente: (AVIA PRO 2019)

Según la naturaleza del proyecto no sería descabellado la posibilidad de innovación y desarrollo del propio UAV por parte de la empresa, tal y como Amazon ha prototipado y fabricado sus propias aeronaves para tal tarea. De todos modos, en nuestro caso nos ceñiremos en modelos que ya se encuentran en el mercado para tener un punto de vista mas realista.

Los valores que tienen un peso importante en nuestra elección serán la autonomía y la carga efectiva máxima ya que siendo un proyecto novedoso no se requiere velocidad mínima para la misión.

## 8.1. Autonomía

La autonomía es la distancia que se puede recorrer sin recargar la batería. Debido a que el consumo varía en función del recorrido y de la velocidad, la autonomía varía también. Un depósito de más capacidad permitiría una autonomía mayor, pero implicaría un peso mayor y, por tanto, una capacidad de carga menor; por ello, la capacidad del depósito es un compromiso entre distintas exigencias (MotorGiga s.f.).

### 8.1.1. Autonomía necesaria para las misiones

Para determinar la autonomía que necesitaremos en nuestras misiones realizaremos el cálculo de la distancia máxima que deberá recorrer el UAV partiendo del punto de inicio de las misiones. Para realizar este cálculo usaremos la herramienta de medición que integra la aplicación de Google Earth.



Figura 26- Mapa de Barcelona dónde la línea amarilla marca la distancia máxima que hay que recorrer. Fuente: (Google s.f.).

La distancia que se muestra en el mapa es de 7.434,65 m, por tanto, la autonomía de las aeronaves tendrá que ser de como mínimo de 14.869,3 m para que las aeronaves puedan ir desde el punto de inicio de la misión al punto de entrega ida y vuelta.

### 8.1.2. UAV's que cumplen el criterio de autonomía

Nombre del modelo	Autonomía (tiempo)	Velocidad máxima de vuelo	Carga efectiva máxima	Altitud de vuelo	Autonomía (distancia)
GAIA 160MP	45 min	10 m/s	30 kg	500 m	27 km
Yuneec Typhoon H3	25 min	20 m/s	2 kg	500 m	30 km
OnyxStar FOX XT	37 min	12,5 m/s	5 kg	5.000 m	27,75 km
Vulcan UAV Airlift	30 min	13,89 m/s	30 kg	1.000 m	25,002 km
Sniper	120 min	19,44 m/s	17 kg	3.000 m	139,97 km
X-PROP	40 min	5,56 m/s	6 kg	900 m	13,34 km
NM & M400	52 min	12,5 m/s	4,2 kg	2.500 m	39 km
Indra Pelícano	240 min	36,11 m/s	200 kg	3.500 m	519,98 km
INTA HADA	200 min	33,33 m/s	50 kg	3.100 m	399,96 km
QuadCopter UX-401	40 min	4,167 m/s	7 kg	250 m	10 km

Tabla 10- en azul los UAV's que cumplen el criterio de autonomía

### 8.2.Carga máxima efectiva

Para seleccionar la aeronave mas adecuada debemos tener en cuenta el peso máximo al despegue de la aeronave (MTOW por sus siglas en inglés), en la tabla inferior incluimos una clasificación que va desde 0 para aeronaves menores o iguales a 25kg de MTOW hasta 3 para las que superan los 2.000 kg

Clase	MTOW	Categoría del alcance	Altitud máxima (pies)
0	<=25	Mínimo alcance	1.000
1	25-500	Corto alcance	15.000
2	501-2000	Medio alcance	30.000
3	>2000	Gran alcance	Mas de 30.000

Tabla 11- Clasificación basada en el MTOW. Fuente: (Santana 2017)

### 8.2.1. Carga máxima necesaria para las misiones

Tal y como reflejan en su página web, la empresa Amazon divide sus productos en tres grupos diferentes según su tamaño:



#### Tamaño estándar

Se define como una unidad embalada que pesa 12 kg o menos y cuyo lado más grande mide 45 cm o menos.



#### Tamaño pequeño

Los productos que pesen menos o igual a 250 g y tengan dimensiones inferiores o iguales a 33 cm x 23 cm x 2,5 cm.



#### Tamaño grande

Los productos que superen las medidas del producto estándar se considerarán de tamaño grande.

(Amazon 2020)

Los productos disponibles en el servicio que se estudia realizar serán aquellos de tamaño pequeño y estándar, por tanto el MTOW de el UAV debe ser 12 kg mas el peso de el propio aparato con la batería cargada.

### 8.2.2. Modelos que cumplen el criterio de carga

Nombre del modelo	Autonomía (tiempo)	Velocidad máxima de vuelo	Carga efectiva máxima	Altitud de vuelo	Autonomía (distancia)
GAIA 160MP	45 min	10 m/s	30 kg	500 m	27 km
Yuneec Typhoon H3	25 min	20 m/s	2 kg	500 m	30 km
OnyxStar FOX XT	37 min	12,5 m/s	5 kg	5.000 m	27,75 km
Vulcan UAV Airlift	30 min	13,89 m/s	30 kg	1.000 m	25,002 km
Sniper	120 min	19,44 m/s	17 kg	3.000 m	139,97 km
X-PROP	40 min	5,56 m/s	6 kg	900 m	13,34 km
NM & M400	52 min	12,5 m/s	4,2 kg	2.500 m	39 km
Indra Pelícano	240 min	36,11 m/s	200 kg	3.500 m	519,98 km
INTA HADA	200 min	33,33 m/s	50 kg	3.100 m	399,96 km
QuadCopter UX-401	40 min	4,167 m/s	7 kg	250 m	10 km

Tabla 12- En azul los modelos que cumplen el criterio de carga y de autonomía

Tal y como podemos observar en la Tabla 12 , la carga que puede soportar cada aparato es muy distinta y encontramos valores muy distintos. Para nuestro propósito hemos establecido un peso de 12 kg (teniendo en cuenta el peso del producto mas el peso del embalaje).

### 8.3. Elección final del tipo de aeronave

Nombre del modelo	Autonomía (tiempo)	Velocidad máxima de vuelo	Carga efectiva máxima	Altitud de vuelo	Autonomía (distancia)
GAIA 160MP	45 min	10 m/s	30 kg	500 m	27 km
Vulcan UAV Airlift	30 min	13,89 m/s	30 kg	1.000 m	25,002 km
Sniper	120 min	19,44 m/s	17 kg	3.000 m	139,97 km
Indra Pelicano	240 min	36,11 m/s	200 kg	3.500 m	519,98 km
INTA HADA	200 min	33,33 m/s	50 kg	3.100 m	399,96 km

Tabla 13- Selección final de modelos que cumplen los criterios

Una vez hemos descartado aquellos modelos que no cumplen los requisitos de autonomía y carga efectiva máxima que requieren nuestras misiones nos han quedado cinco modelos que podrían encajar.

Todos ellos serían aceptables según las premisas que hemos predefinido, pero no todos serán adecuados. Hay que tener en cuenta que sería realmente difícil considerar tener el cielo de Barcelona repleto de aeronaves enormes y ruidosas, así que una vez garantizamos que cumplen los requisitos para las misiones habrá que seleccionar aquel aparato que no sea ni muy grande ni muy ruidoso. Para eso, repasaremos uno a uno los modelos que hemos preseleccionado y los analizaremos en detalle.

Nombre del modelo	Autonomía (tiempo)	Velocidad máxima de vuelo	Carga efectiva máxima	Altitud de vuelo	Autonomía (distancia)	Dimensiones	Despegue vertical rotor (*)	Imagen
GAIA 160MP	45 min	10 m/s	30 kg	500 m	27 km	Altura: 80 cm Base: 65x72 cm		
Vulcan UAV Airlift	30 min	13,89 m/s	30 kg	1.000 m	25,002 km	Diámetro: 11,50 cm		
Sniper	120 min	19,44 m/s	17 kg	3.000 m	139,97 km	Altura: 78 cm Base: 148x148 cm		
Indra Pelícano	240 min	36,11 m/s	200 kg	3.500 m	519,98 km	Altura: 1,2 m Base: 4m		
INTA HADA	200 min	33,33 m/s	50 kg	3.100 m	399,96 km	Altura: 0,48 m Base: 2,2 m		

Tabla 14- Tabla final de selección de UAV's

Despegue vertical rotor: es la capacidad de despegar y aterrizar en vertical, por tanto, no son necesarias pistas de aterrizaje.

Finalmente, los tres modelos que cumplen todas las características indispensables para la realización de las misiones son: GAIA 160MP, Vulcan UAV Airlift y el modelo Sniper. En cuanto a la altura máxima que pueden volar no hay ninguno que no supere la altura de los edificios mas altos de la ciudad que son las Torre Mapfre y Hotel Arts con una altura de 154 metros.

El modelo elegido para las misiones será el modelo Vulcan UAV Airlift que cumple todas las especificaciones requeridas, tiene un tamaño relativamente pequeño para el peso que es capaz de transportar y además ha sido testeado en diversos países entre ellos Reino Unido o Alemania.

## 9. Caracterización del espacio aéreo

En los comienzos de la aviación no era necesario la gestión del espacio aéreo, con el aumento del número de aeronaves surgió la necesidad de organizar este espacio y los tráfico que circulaban en él para evitar colisiones y proporcionar una mayor fluidez.

El espacio aéreo tiene divisiones y subdivisiones. La OACI divide el mundo en nueve regiones de información de vuelo o FIR<sup>7</sup>.

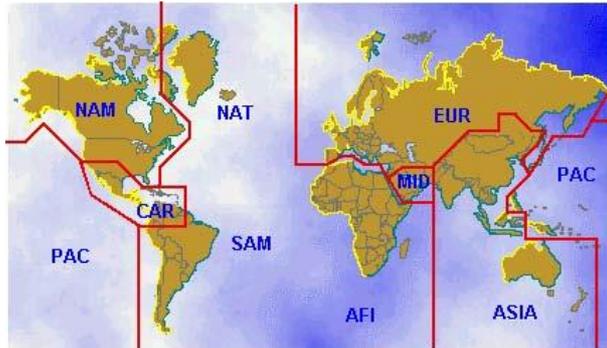


Figura 27- Regiones de información de vuelo en el mundo.

PAC (Pacific)  
NAM (North America)  
CAR (Central America)  
SAM (South America)  
NAT (North Atlantic)  
EUR (Europe)  
AFI (Africa)  
MID (Middle East)  
ASIA (Asia)

Cada una de ellas está a su vez dividida en otras regiones FIR. En el caso de España tenemos 3 FIR. FIR Madrid, FIR Barcelona y FIR Canarias, también existe FIR Sevilla, pero no es una FIR propia si no que es una delegación de la FIR Madrid. La división del FIR se encuentra a su vez dividida verticalmente en 2 divisiones del FIR. El FIR se extiende desde el suelo hasta el nivel de vuelo FL245 y la región superior UIR<sup>8</sup> va desde el nivel superior del FIR hasta FL460.

Dentro de las FIR se encuentran también las Áreas de Control CTA<sup>9</sup>. En España este volumen empieza a una altura superior a 300 metros sobre el terreno y es por esto por lo que en ese espacio se pueden operar aeronaves bajo condiciones VFR<sup>10</sup>.

Encontramos también zonas TMA<sup>11</sup>, son áreas controladas que se establecen generalmente en puntos donde encontramos aeropuertos donde confluyen diversas aerovías con rutas de aproximación y salida con el objetivo de controlar el tráfico IFR<sup>12</sup> que entra y sale de los mismos.

---

<sup>7</sup> Región de Información de Vuelos, *Flight Information Region*.

<sup>8</sup> Región de Información superior, *Upper Information Region*.

<sup>9</sup> Área de Control, *Controlled Traffic Area*.

<sup>10</sup> Reglas de Vuelo Visual, *Visual Flight Rules*.

<sup>11</sup> Área de Control Terminal, *Terminal Manoeuvring Area*.

<sup>12</sup> Reglas de Vuelo Instrumentales, *Instrumental Flight Rules*.

En las zonas FIR e UIR el servicio de control de tránsito aéreo que se proporciona está limitado al espacio aéreo comprendido entre FL150 y FL460 salvo áreas TMA, CTR<sup>13</sup>, AWY<sup>14</sup>... en las que se proporciona control de tránsito a niveles inferiores también.

Estas zonas pueden causar un poco de confusión pero en la ilustración inferior se muestra para aclarar un poco estos conceptos.

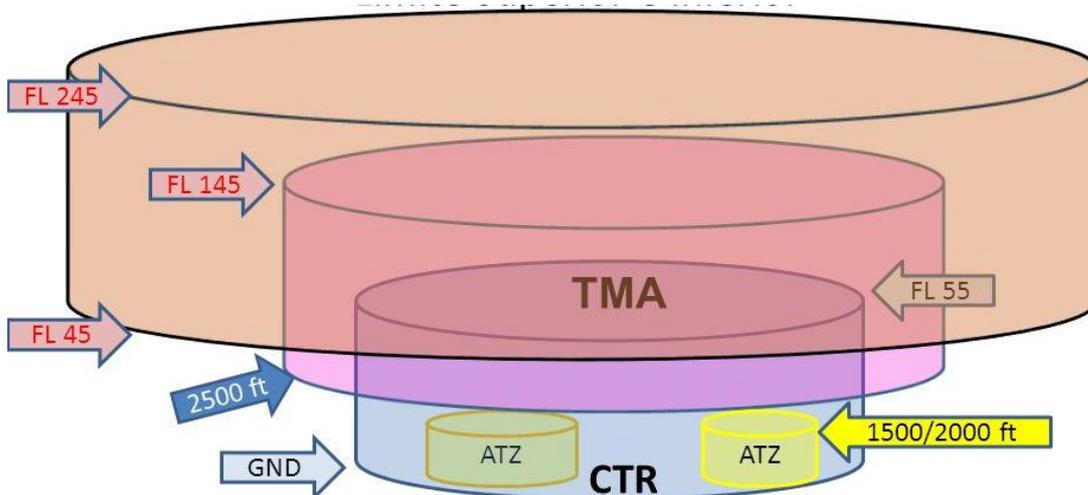


Figura 28- Esquematación de la estructura del espacio aéreo. Fuente: (Bozzo 2009).

CTR: es un espacio asociado a un aeródromo, normalmente sus límites laterales se circunscriben a un cilindro de 5 millas náuticas a partir del centro del aeropuerto. El límite inferior es el terreno y el superior es como mínimo el nivel inferior del CTA o un valor superior a este.

ATZ: es la zona de tránsito de aeródromo, corresponde al movimiento de aeronaves en las proximidades del aeropuerto. Esta normalmente asociado a una torre de control y su máxima extensión lateral en España se circunscribe a un cilindro de 8 kilómetros y una altura de 900 metros desde el suelo. (ToB 2013)

Estos serían los elementos básicos en los que se divide el espacio aéreo en general, en nuestro caso no es diferente. Cataluña también divide así sus espacios aéreos.

<sup>13</sup> Zona de Control, *Controlled Traffic Region*.

<sup>14</sup> Aerovía

## 9.1. El espacio aéreo de Cataluña

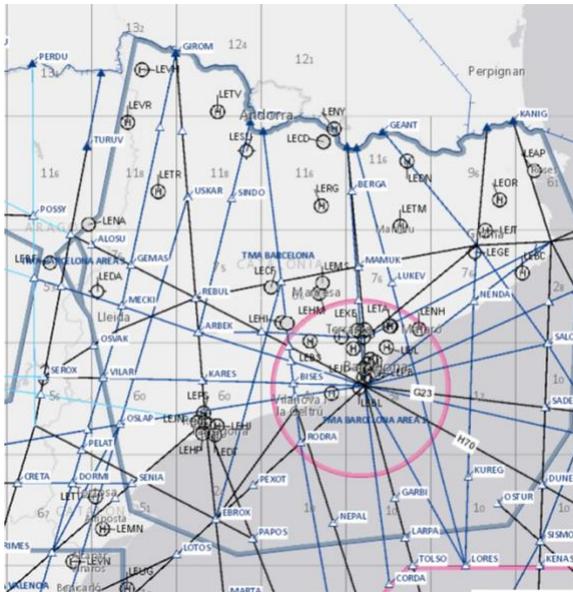


Figura 29- Espacio aéreo de Cataluña. Fuente: (ENAIRES 2020).

La Figura 29 es una captura de pantalla de la herramienta que Enaire pone a disposición del usuario para poder ver las cartas aeronáuticas de forma digital. En ella podemos ver que las líneas azules que atraviesan el espacio aéreo son las aerovías que circulan por el cielo de Cataluña. En nuestro caso, nos centraremos más concretamente en la zona de la ciudad de Barcelona.

Tal y como se puede observar en la Figura 30, Barcelona no está atravesada por ninguna aerovía, y de ser así no sería realmente importante ya que a la altitud a la que vuelan las aeronaves no afectaría a nuestras misiones. La que vuela a un nivel más bajo es denominada LERA y su nivel de vuelo mínimo es FL95.

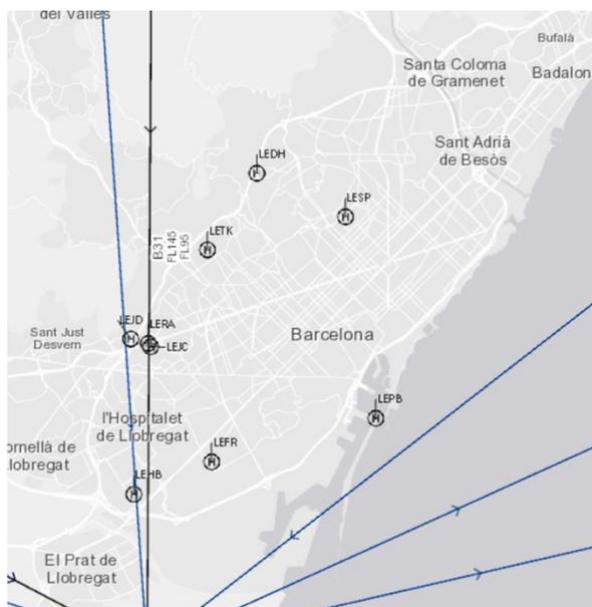


Figura 30- Espacio aéreo de Barcelona. Fuente: (ENAIRES 2020).

En Barcelona no solamente vuelan aviones, también avionetas, helicópteros... Es por eso que en el escenario que estamos planteando es un escenario hipotético y habría variables que no se estudiarán pero necesitarían de un profundo análisis antes de llevar el proyecto a la práctica.

## 10. Simulación

Con el aumento de drones sobrevolando nuestro espacio aéreo y la predicción al alza de cielos saturados con diversidad de misiones el sistema ATC automatizado del U-space estará a cargo de mantener el tráfico separado asegurando al mismo tiempo la eficiencia. La separación mínima es la distancia mínima que hay que mantener entre dos aeronaves para garantizar la seguridad tanto la separación mínima vertical, lateral y longitudinal.

En el espacio aéreo convencional, los controladores aéreos son los responsables de mantener una separación mínima entre dos aeronaves, sin este servicio es la propia aeronave que debe mantener la separación entre otras aeronaves o obstáculos. Los parámetros que definen los estándares de separación han ido cambiando a medida que la tecnología y la densidad del tráfico aumentan.

En el futuro escenario que de seguro se planteará hay una serie de cuestiones que se están discutiendo y tratando de resolver: ¿Qué densidad de tráfico es posible gestionar?, ¿Cuáles son las distancias mínimas que hay que mantener?, ¿todas las aeronaves deberán mantener la misma distancia?, ¿De que tecnologías deberán disponer?...

La separación mínima que se establezca influirá muy directamente en la capacidad del espacio aéreo, pero ¿cómo se va a gestionar? En el U-space basado en servicios está previsto que la separación sea proporcionada por uno de esos servicios. Estos servicios como deconflicto estratégico, equilibrio de demanda, capacidad táctica deberá ser conectada y compartir información entre ellos. (JL Muñoz-Gamarra s.f.)

### 10.1. Descripción del simulador

Para la realización del presente trabajo se ha utilizado el simulador U-space, DronAs, desarrollado por Aslogic (spin-off de la UAB). Dicho simulador fue desarrollado dentro del marco del proyecto CEF-SESAR (<https://www.sesarju.eu/U-space>) EuroDRONE, en el que se desarrollaron actividades de demostración de servicios U-space a través de la bahía de Mesolongi, Grecia. Posteriormente, la solución fue dotada de nuevas funcionalidades, como la creación de escenarios, y actualmente se encuentra operativa El Centro de Investigación Aeroportada de Rozas (CIAR) está situado en Castro de Rei (Lugo).

El simulador permite crear tráfico de diferentes densidades, fijando la configuración del espacio aéreo a través de un HJSON customizable, con la capacidad de generar zonas de *free routing* o escenarios basados en corredores.

Una vez definida la probabilidad de que una misión se inicie o finalice en una región determinada, la solución genera escenarios aleatorios (tiempo de inicio/final y localización dentro de la región definida) atendiendo a las restricciones de espacio aéreo fijadas.

Por otro lado, la solución lleva integrada un servicio U-space de *strategic deconflicting* (basado en otro proyecto SESAR, PARTAKE <https://www.sesarju.eu/projects/partake> ) que permite la detección de conflictos potenciales durante la fase de planificación, y su mitigación, gracias a una modificación del tiempo de inicio de misión (véase Deconflicto estratégico por variación en la ventana de tiempo de despegue).

Además los parámetros espaciales (separación mínima vertical y horizontal) y temporales (tiempo mínimo de sumisión y confirmación, entre otros) de este servicio estratégico son parametrizables permitiendo analizar el impacto que tiene en la seguridad y capacidad del espacio aéreo diferentes valores de estos. El software expuesto será la base del estudio que presentamos a continuación:

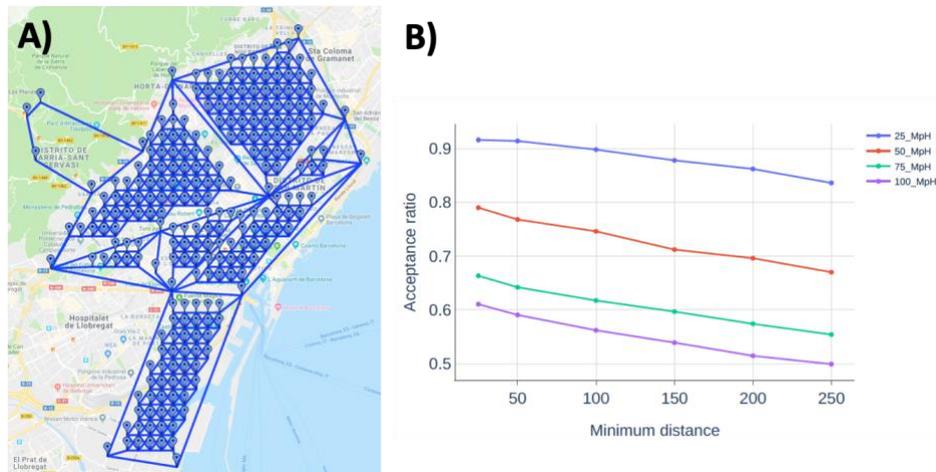


Figura 31.- A) Ejemplo de un escenario creado en DronAs representando una futura configuración del espacio aéreo U-space sobre la ciudad de Barcelona. B) Ejemplo estudio del impacto de la separación horizontal en el número de misiones aceptadas por el servicio es

Las simulaciones se realizaron a través de una API DronAs en la que a través de una llamada se define la configuración a simular (a través de un HJSON) junto con los parámetros espaciales y temporales del servicio de *deconflicting* estratégico. Como resultado de la simulación se devuelven:

- ratios de *acceptance* de los escenarios creados
- *mean shift* aplicado al inicio de las misiones
- archivo de visualización del escenario con la misiones (*waypoints* y *timestamps*) de las misiones generadas y aceptadas.

## 10.2. Parámetros del simulador

Parámetros de entrada al simulador	Parámetros de salida del Simulador
Duración	Ratio de aceptación
Densidad	Significado cambiado ( <i>Means shifted</i> )
Ventana de sumisión	Misiones enviadas
Ventana de confirmación	Misiones rechazadas
Ventana de despegue	Misiones rechazadas frente a otras misiones
Separación mínima horizontal	Misiones reguladas frente tráfico regulado
Separación mínima vertical	Conflictos con misiones
Tolerancia	Conflictos con el tráfico regulado
Probabilidad tráfico común	
Probabilidad tráfico de correos	

Tabla 15- Parámetros del simulador y salidas del simulador

### Parámetros de entrada al simulador

- Duración: duración del escenario.
- Densidad: número de misiones por hora.
- Ventana de sumisión (*submission window*): intervalo de tiempo en el que se envía una misión al sistema.
- Ventana de confirmación (*confirmation window*): intervalo de tiempo en el que se acepta o rechaza una misión.
- Ventana de despegue (*launch window*): turno de salida dentro de un intervalo de tiempo predefinido.
- Separación mínima horizontal: separación entre UAV's horizontalmente.
- Separación mínima vertical: separación entre UAV's verticalmente.
- Tolerancia: tiempo que se da al operador para iniciar la misión.
- Probabilidad tráfico común: probabilidad de que una de las misiones del número de misiones por hora definido salga desde un sitio aleatorio de la ciudad de Barcelona.
- Probabilidad tráfico de correos: probabilidad de que una de las misiones del número de misiones por hora definido salga desde uno de los puntos de correos.

## Parámetros de salida del simulador

- Ratio de aceptación: número de misiones aceptadas/ número de misiones solicitadas.
- Significado de cambio (*Mean shift*): valor medio de las desviaciones en tiempo que sufren las misiones.
- Misiones enviadas: número de misiones que solicitan realizar una misión.
- Misiones rechazadas: número de misiones que se solicitan para ejecutarse y no se aceptan debido a posible conflicto con otro plan de vuelo presentado anteriormente.
- Conflicto con misiones: número de conflictos encontrados antes de la mitigación por la pérdida en las separaciones mínimas entre diferentes UAV's durante la ejecución de las misiones.

### 10.3. Objetivos de las simulaciones

Tal y como se ha ido explicando a lo largo de este trabajo hay muchas incógnitas en el futuro del cielo con la implementación del U-space, algunas de ellas se irán resolviendo a lo largo de la implantación y a medida que surjan nuevas necesidades. De igual manera, este proyecto tiene desde su inicio unos objetivos claros, a los cuales se dará respuesta gracias a las simulaciones.

O1: Demostración de la necesidad de un servicio de deconflicto estratégico.

O2: Búsqueda de las condiciones del servicio estratégico que permiten la máxima densidad, con un mayor ratio de aceptación, sin comprometer la seguridad de las misiones.

O3: Demostración y búsqueda de los valores óptimos de como los valores de separación afectan a la capacidad del cielo.

O4: Demostración y búsqueda de los valores óptimos de las ventanas de tiempo afectan a la aceptación o rechazo de las misiones.

O6: Búsqueda del mayor porcentaje de misiones de correos aceptables en el espacio aéreo de Barcelona.

Una vez hayamos podido dar respuesta a los objetivos anteriores, usando los valores que resulten óptimos/aceptables, sin dividir en altura el espacio aéreo, se realizará un estudio con una configuración del cielo dividida en dos niveles de vuelo. El inferior, reservado para misiones de servicios de emergencias o otro tipo de servicios y el superior, con servicio de paquetería o transporte de mercancías.

O7: Análisis de la influencia en la separación de los dos niveles de vuelo en el ratio de aceptación.

Una vez las simulaciones se realicen tanto para un nivel de vuelo como para dos niveles se efectuará un estudio comparativo entre ellos dos, intentando describir como la creación y separación del espacio aéreo en dos niveles aumenta o no la capacidad del cielo en la ciudad de Barcelona como escenario.

## 11. Experimentos

Todas las simulaciones se realizarán bajo los mismos supuestos, es decir, solamente se variarán las variables indicadas y las demás se mantendrán constantes. Eso es para que los resultados de las simulaciones no se vean afectados por los cambios de otros parámetros.

Primeramente se realizarán las pruebas con un nivel de vuelo en el que el tráfico regular y el destinado a paquetería realizarán las simulaciones compartiendo ese espacio. Posteriormente, con los valores óptimos que se encuentren en la primera fase se realizará el estudio de que impacto en la capacidad aérea con la segregación del tráfico en dos niveles de vuelo reservado para diferentes usos.

Antes de eso, es conveniente reflejar la necesidad y la efectividad de la técnica de deconflicto que se empleará en estas próximas simulaciones. Para ello se establece la relación de posibles conflictos según la densidad de misiones por hora que se realicen.



Figura 32- Número de conflictos vs densidad de tráfico (misiones/hora) sin el servicio de deconflicto estratégico.

La Figura 32 muestra el número de conflictos que se detectan en el espacio aéreo, que son detectados por el sistema antes de su resolución. Tal y como se puede observar el número de conflictos aumenta a medida que se realizan más misiones y es un claro reflejo de la necesidad de este servicio para cielos potencialmente densos.

Hay que tener en cuenta que en este escenario no se contemplan otras medidas de seguridad que se podrían aplicar como por ejemplo sistemas activos para evitar colisiones. Estos sistemas también reducirían el riesgo a que se produzca un accidente pero es el sistema de deconflicto que estamos estudiando el que tiene la capacidad de prevenir estos acontecimientos.

### 11.1. Simulaciones con un nivel de vuelo

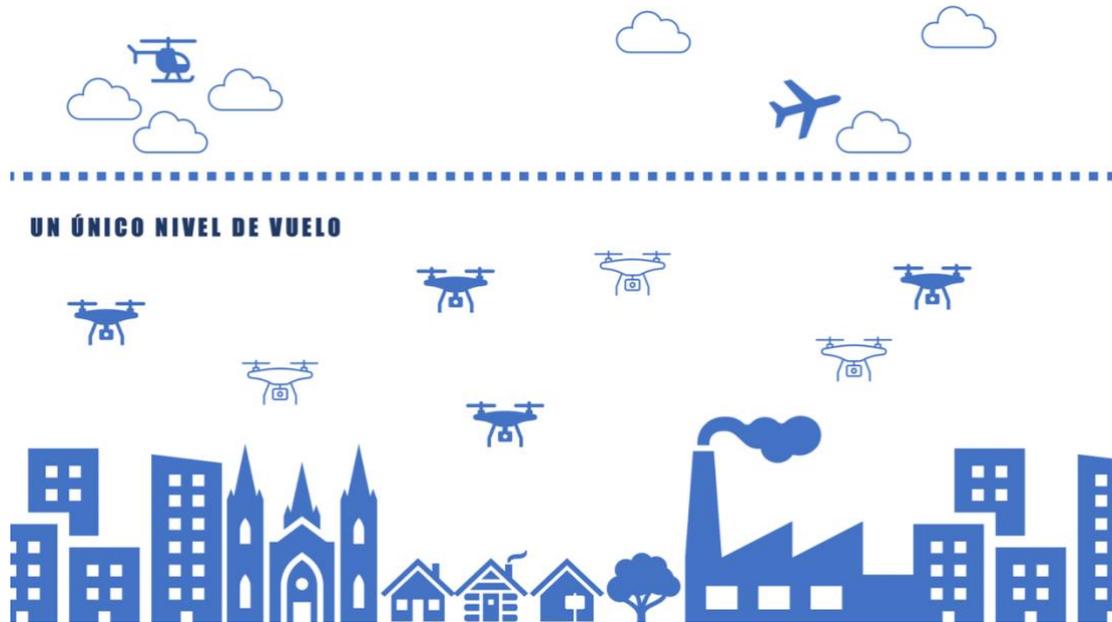


Figura 33- Representación gráfica de la configuración aérea con un único nivel de vuelo. Elaboración propia.

Para poder estudiar como la creación de dos niveles de vuelo diferenciados según su uso puede afectar a la capacidad del cielo primero buscaremos cuáles son los valores óptimos en un solo nivel de vuelo.

#### 11.1.1. Influencia de la densidad en la aceptación de las misiones

Cuando hablamos de densidad nos referimos a la cantidad de misiones que se ejecutan en el mismo espacio de tiempo. Es decir, una densidad de misiones alta es un escenario donde varias aeronaves se encuentran volando en la misma franja de tiempo en el mismo espacio aéreo.

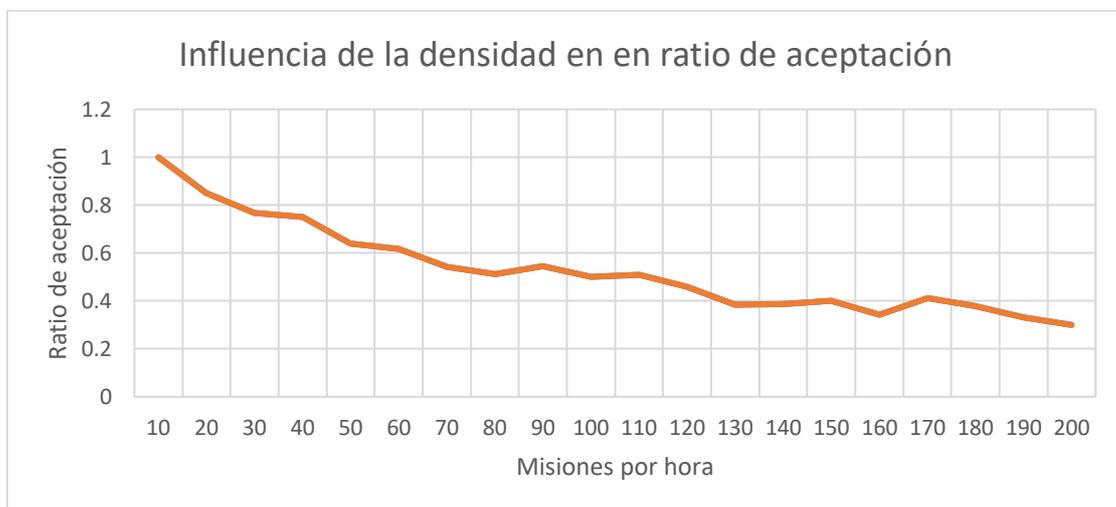


Figura 34- Ratio de aceptación según el número de misiones por hora.

En este escenario se han simulado diferentes densidades de tráfico a la hora, y como se puede observar la tendencia del ratio de aceptaciones es a la baja. Es decir, el número de misiones aceptadas disminuyen a medida que aumentan las peticiones de misión. Este efecto ocurre porque el sistema detecta que habrá muchas misiones que coincidirán en la trayectoria y modificando los parámetros de las ventanas de tiempo no es posible aceptar mas.

Por tanto, un espacio aéreo muy saturado implicaría en un aumento potencial del riesgo y los parámetros en las ventanas de tiempo pueden tener un papel clave en la capacidad de la red de aeronaves planteada.

### 11.1.2. Influencia de los parámetros de separación en la capacidad aérea

Los valores de separación consideran la distancia que se establece como distancia límite en el que dos aeronaves pueden encontrarse sin provocar una situación de riesgo. Hay dos tipos de distancia entre las aeronaves: la vertical y la horizontal.

La distancia horizontal se refiere a la distancia longitudinal entre dos aeronaves en el mismo plano.



Figura 35- Representación gráfica del concepto de distancia horizontal y distancia vertical. Elaboración propia

La distancia vertical es la que se refiere a la distancia vertical que hay entre dos aeronaves en el espacio aéreo.

En la aviación estas distancias utilizan diferentes unidades de medidas, en el plano vertical se usa la unidad de pies y en la distancia horizontal se usa la unidad de millas náuticas. En nuestro caso usaremos metros tanto para referirnos a la distancia horizontal como para la distancia vertical, que es la medida aceptada por el Sistema Internacional.

Tal y como hemos comentado, los parámetros de distancia entre las aeronaves es un valor que afecta directamente a la seguridad en la que se podrán realizar las misiones. Siempre que se habla de seguridad en el sector aeroespacial es un tema realmente importante, por no decir el más importante, y es por ello por lo que los valores que en este trabajo se considerarán óptimos no siempre serán directamente seleccionados por

proporcionar un ratio de aceptación elevado ya que en temas de seguridad hay que ser conservador en esos aspectos.

De todas formas, cabe destacar que la distancia vertical no requiere tanta separación ya que una vez las aeronaves se encuentran en distintos planos si se garantiza que se pueden mantener en ese nivel de vuelo no habría posibilidad de conflicto entre ellas. Esto se debe a que los parámetros establecidos de velocidad son mayores para la velocidad vertical (9m/s) que para la velocidad horizontal (7m/s).

Tal y como se puede observar en Figura 36 la influencia que hay en el ratio de aceptación al variar la separación vertical entre aeronaves no genera cambios especialmente significativos en los resultados. Las variaciones en ese ratio es muy probable que se deban a la aleatoriedad que afecta a todas las simulaciones.

La variación que si muestra un gran efecto en el número de misiones aceptadas es el valor de la separación horizontal. Se puede observar como al aumentar estos requerimientos de separación el ratio de aceptación disminuye considerablemente llegando a disminuir más de un 20% el ratio de aceptación.

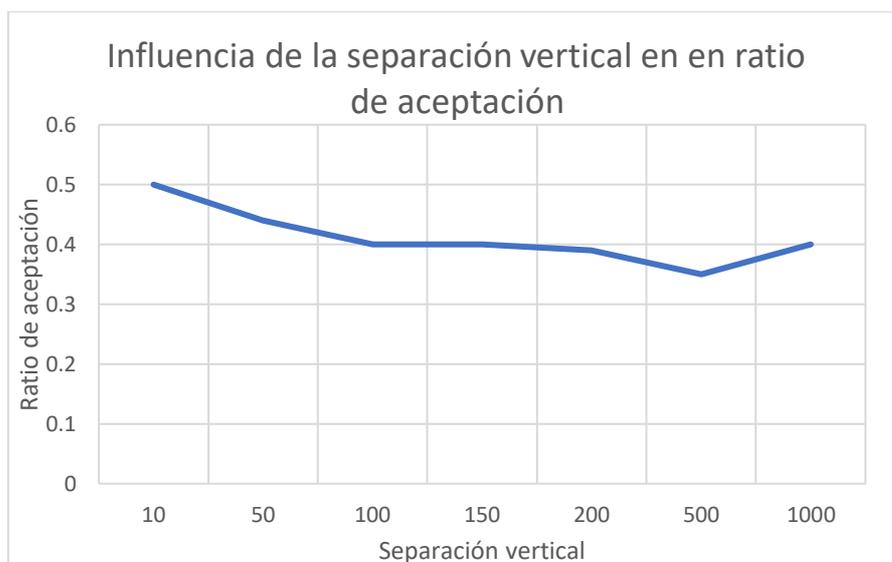


Figura 36 - Influencia de la separación vertical entre aeronaves en el ratio de aceptación de las misiones.

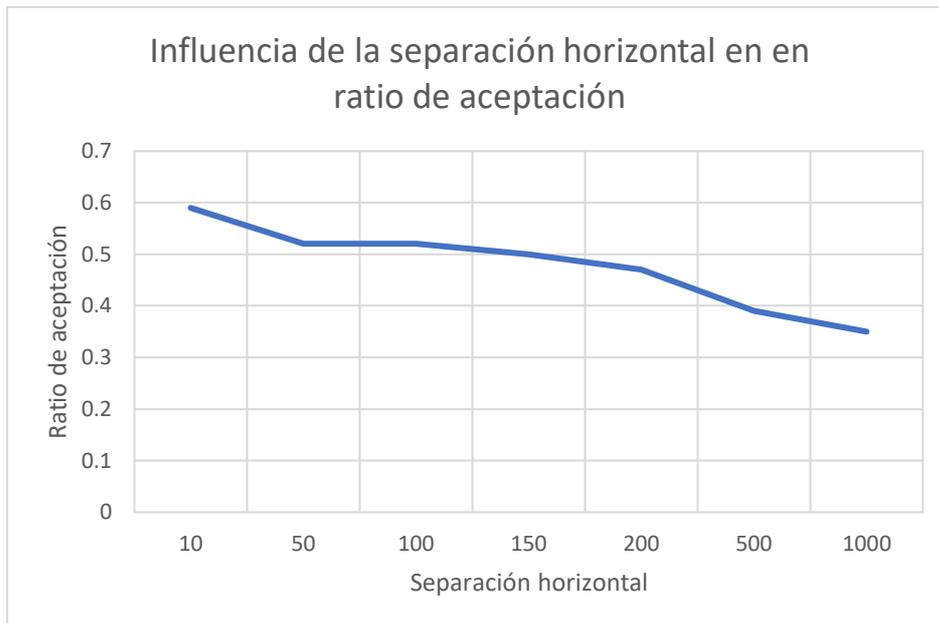


Figura 37 - Influencia de la separación horizontal entre aeronaves en el ratio de aceptación de las misiones.

Tal y como se puede observar en la Figura 37 al aumentar 40 metros la distancia (de 10 metros a 50 metros) entre aeronaves el ratio de aceptación disminuye un 10%, que es una disminución considerable, de todas formas, y aunque se vea resentido el ratio de misiones aceptadas no se puede aceptar un valor de separación entre aeronaves de 10 metros entre ellas. Esta distancia es muy pequeña y en un caso de vuelo con una ocupación alta del espacio aéreo podría causar algún tipo de accidente.

Hay que tener en cuenta que estamos hablando de aeronaves no tripuladas y de bajo peso, eso significa que una racha fuerte de viento podría afectar en su trayectoria y teniendo eso en mente hay que tomar un valor mas conservador que de tiempo de reacción en ese caso.

Los criterios para seleccionar las distancias que se encuentren entre la ejecución de operaciones seguras y el mayor ratio de aceptación son muy variables y discutidos. En el mundo de la aviación comercial, un sector que lleva muchos años en desarrollo son muchas las discusiones que ha habido sobre estos parámetros y es que una disminución de estas separaciones implicaría un aumento de la capacidad de nuestros cielos. En Septiembre de 2011 se recortaron las distancias entre aeronaves a casi la mitad, lo que supuso un incremento de la capacidad aérea. (ONU 2003)

Esta disminución en la distancia entre aeronaves fue fruto de cinco años de trabajo en el que se introdujeron nuevas tecnologías para aplicar la medida, es por eso que en nuestra selección de distancias apropiadas habrá que ser conservador ya que nos encontramos en un sector en desarrollo y estas distancias se disminuirán a ritmo que las tecnologías lo permitan. (Paris 2011)

Por eso, encontramos lógico seleccionar el valor de 150 metros en la separación horizontal entre aeronaves ya que es un valor conservador y se encuentra en un punto medio entre el intervalo de valores [50,200] en el que siendo precavido el ratio es relativamente alto, un 10% menos del valor máximo.

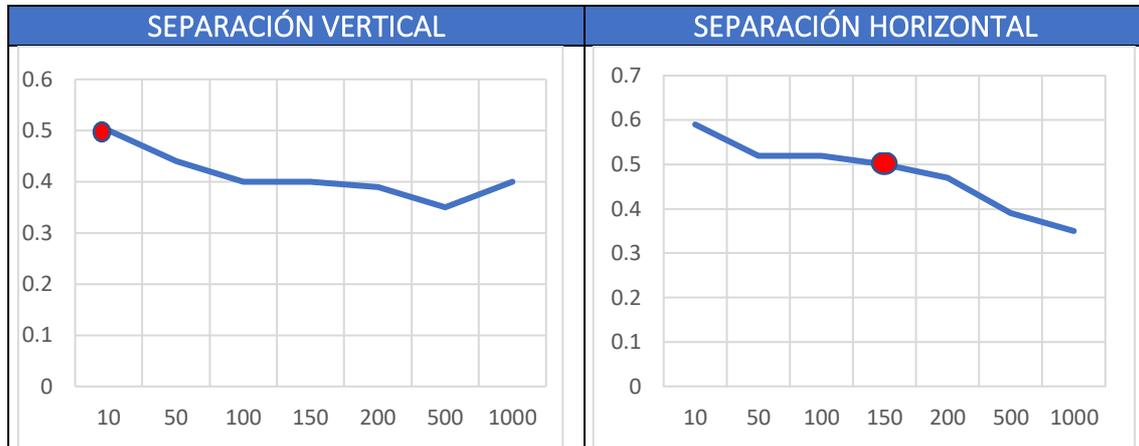


Tabla 16.- Valores de separación entre aeronaves seleccionados como óptimos.

Y en lo que refiere a la separación vertical el valor que se considera óptimo es de 10 metros. Tal y como se ha ilustrado en los gráficos anteriores es un parámetro que ofrece el ratio de aceptación de las misiones de valor máximo.

Estos dos parámetros que hemos seleccionado como óptimos son los que se emplearán en las siguientes simulaciones para determinar otros de los valores de estudio para dar respuesta a los objetivos que se han planteado.

### 11.1.3. Influencia de la variación en las ventanas de tiempo en la capacidad aérea

Tal y como hemos comentado en los capítulos sobre la técnica que se emplea en estas simulaciones, los parámetros de ventanas de tiempo son una herramienta fundamental que se intuye que afectarán a la capacidad aérea del cielo de Barcelona y por tanto, en la cantidad de misiones que se podrán realizar en un periodo determinado de tiempo.

### Ventana de lanzamiento (*lanuch window*)

La ventana de lanzamiento es un parámetro que indica el tiempo del que dispone el operador para realizar la misión

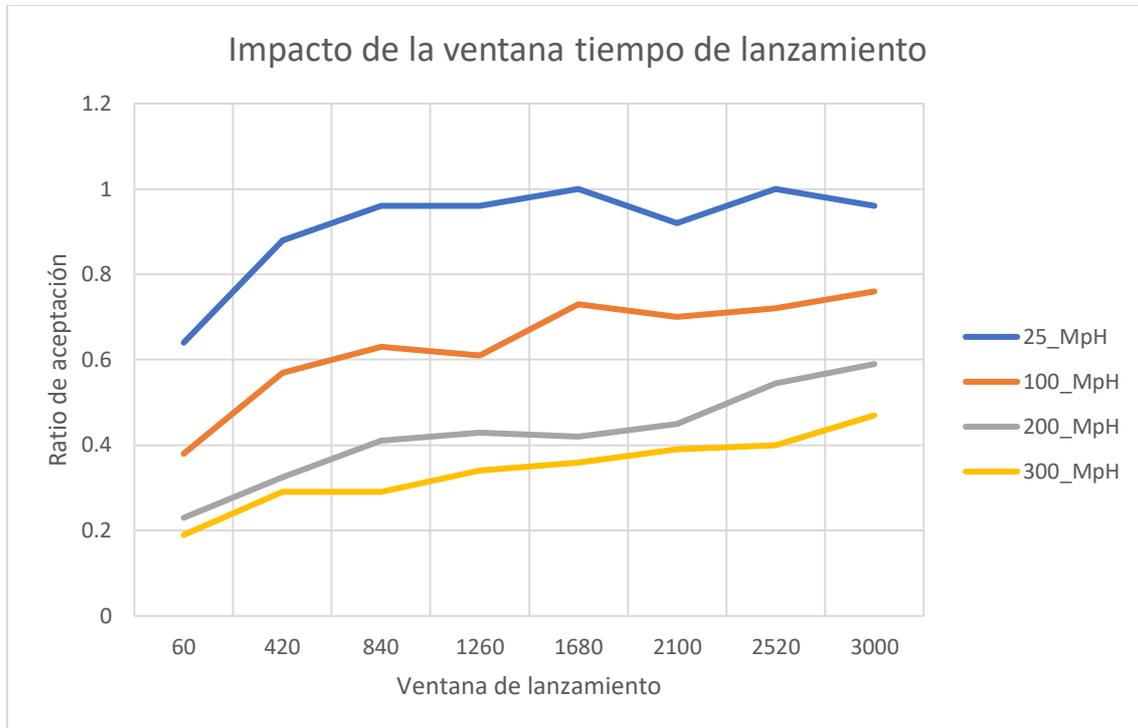


Figura 38 - Impacto de la ventana de tiempo de lanzamiento en el ratio de aceptación de las misiones.

La Figura 38 muestra como aumenta el ratio de aceptación cuando hay mayor flexibilidad por parte del operador a la hora de mandar las misiones con mayor antelación. En un escenario poco denso el ratio de misiones aceptadas con un minuto de tiempo entre el tiempo pedido por el operador y el tiempo que el sistema de deconflicto otorga es bastante alto (64%) pero con una amplia ventana de tiempo de lanzamiento (42-50 minutos) el ratio incluso alcanza el 100%.

El impacto de la ventana de lanzamiento a nivel real implica unas grandes modificaciones para los operadores, es decir, un valor alto en ese tiempo implica grandes modificaciones en los planes de los operadores, por tanto, deberían ser permisivos en ese aspecto, permitiendo modificaciones en sus horas de salida pero obteniendo a cambio una mayor aceptación de las misiones.

Se puede observar como el ratio de aceptación aumenta tanto en los escenarios con una densidad de misiones bajas como escenarios de alta densidad. En el escenario con 25 y 100 misiones por hora el ratio de misiones aceptadas aumenta un 40%. En el escenario donde se realizan 200 misiones por hora el aumento es del 50% y en el escenario mas denso, 300 misiones por hora aumenta un 30% ese ratio de aceptación.

En estos aumentos del ratio de aceptación el mayor incremento se refleja al alcanzar los 1680 segundos (28 minutos), donde en la mayoría de los escenarios se incrementa un 40% en el escenario menos denso y un 20% en los mas densos.

VENTANA DE LANZAMIENTO (segundos)	RATIO DE ACEPTACIÓN			
	25_MpH	100_MpH	200_MpH	300_MpH
60	64%	38%	19%	19%
1680	100%	73%	42%	36%
3000	96%	76%	69%	69%

Tabla 17.- Ratio de aceptación de tres tiempos diferentes de ventana de lanzamiento.

VENTANA DE LANZAMIENTO (segundos)	RATIO DE ACEPTACIÓN			
	25_MpH	100_MpH	200_MpH	300_MpH
60	64%	38%	19%	19%
1.680	100%	73%	42%	36%
Aumento % ratio de aceptación	36%	35%	23%	17%
60	64%	38%	19%	19%
3.000	96%	76%	69%	69%
Aumento % ratio de aceptación	32%	36%	50%	50%

Tabla 18.- Ratio de aceptación de tres tiempos diferentes en la ventana de lanzamiento y aumento porcentual en el ratio de aceptación.

En Tabla 18 se pueden observar los cambios porcentuales que hay entre el mínimo de tiempo de la ventana de lanzamiento (60 segundos) y el máximo (3.000 segundos). También el cambio que hay entre el mínimo de tiempo (60 segundos) y el valor seleccionado como óptimo (1.680 segundos). En este caso se puede comprobar que en la ventana de lanzamiento de 3.000 segundos (50 minutos) como máximo incrementa un 32% en la aceptación de las misiones. Es por eso, que el valor de 1680 segundos (28 minutos) se considera el valor óptimo en este campo. Ya que sin tener que llegar a los 3.000 segundos y manteniéndonos en 1.680 segundos el ratio de aceptación incluso incrementa un 4% (varía de 32% al 36%).

### Ventana de sumisión y confirmación

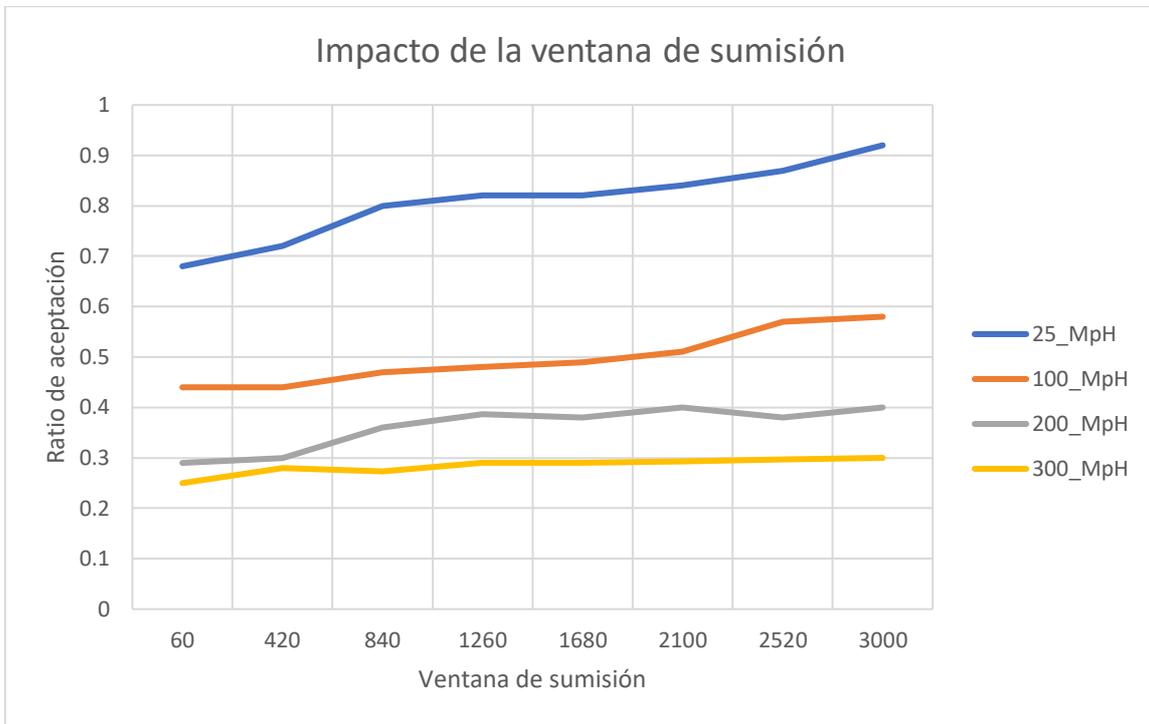


Figura 39- Impacto de la ventana de sumisión en el ratio de aceptación de las misiones.

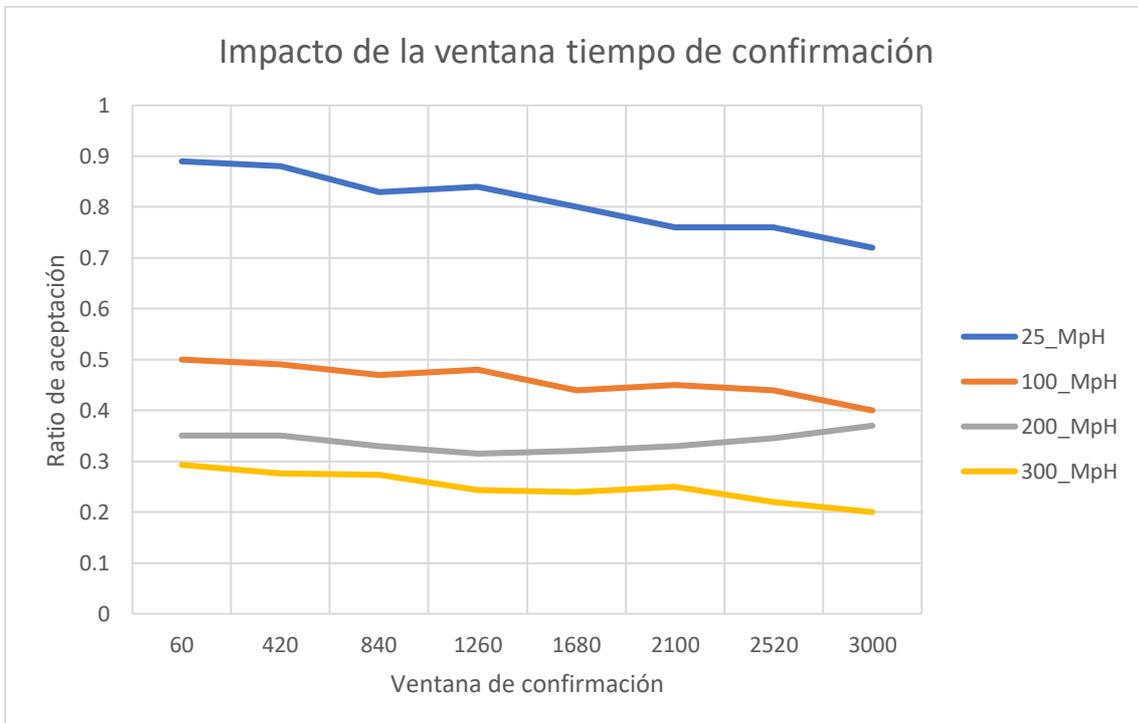


Figura 40- Impacto de la ventana de tiempo de confirmación en el ratio de aceptación de las misiones.

Tal y como se muestra en la Figura 39 y la Figura 40, estos dos parámetros que aquí se estudian (tiempo de confirmación y tiempo de sumisión) no muestran un comportamiento creciente para el caso de ventana de sumisión (*submission window*) y decreciente para el caso de la ventana de confirmación (*confirmation window*). Se puede ver como este comportamiento se ve interrumpido en algunos puntos, debido al componente aleatorio que afecta a las simulaciones.

En ambos casos la variación entre valores máximos y mínimos ronda aproximadamente un 10% en el impacto en el ratio de aceptación en las misiones. Por eso, no se consideran factores determinantes que tengan una relevancia importante en lo que a efectos de la capacidad aérea se refiere. Sin embargo es necesario fijar aquellos valores que se consideran óptimos para mantener en el transcurso de las simulaciones unos valores estándar que verifiquen que las simulaciones se realizan siempre bajo los mismos supuestos y que solo las variables estudiadas son la causa de la modificación en los resultados.

Para estos dos parámetros se establecerán como óptimos los siguientes:

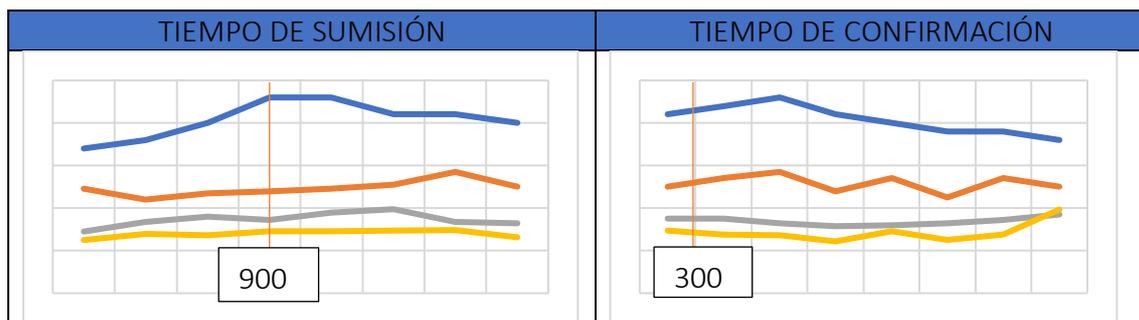


Tabla 19.- Representación gráfica de los valores seleccionados para las ventanas de tiempo de sumisión (izquierda) y ventana de tiempo de confirmación (derecha).

Se puede observar que son valores conservadores, intentando seleccionar aquellos que den mayor flexibilidad a la hora de realizar estas misiones y que sea más fácil para los operadores de los vuelos. Se establecen, por tanto, 900 segundos (15 minutos) para el tiempo de sumisión y 300 segundos (5 minutos) para el tiempo de confirmación de las misiones.

#### 11.1.4. Máxima capacidad del cielo para misiones de correos

En este proyecto, se está intentando realizar una red de reparto de paquetería a domicilio en la ciudad de Barcelona, por tanto, en el espacio aéreo de la ciudad nos encontraremos con diferentes aeronaves que tendrán misiones con diferentes objetivos.

Ambas operaciones se efectúan en el mismo espacio pero su naturaleza hace que cada una de ellas condicione la capacidad del cielo de distinta manera. Las misiones de reparto de paquetería tal y como se comentó en el punto de "Caracterización del escenario" tienen diferentes puntos de salida repartidos por toda la ciudad y por tanto, hay diversos puntos del espacio aéreo que estarán especialmente concurridos ya que las misiones de paquetería se inicializaran y finalizaran en alguno de esos puntos.

Estas misiones de reparto se ha establecido que viajarán a lo largo del espacio aéreo de Barcelona con destinos aleatorios que se basan en la densidad de población de los barrios pero sea cual sea su destino siempre saldrán y regresarán a un punto de partida determinado.

El espacio no contará solamente con este tipo de misiones si no que puede haber otras con naturalezas muy diversas, el uso de drones como ya se ha comentado está al alza y actualmente operan en Barcelona servicios de las Fuerzas de Seguridad como por ejemplo los Mossos d'Esquadra para servicios de seguridad, empresas de producción audiovisual... Algunos proyectos están estudiando también la creación de una red de drones para el traslado de material sanitario entre hospitales. Sabiendo las posibilidades que ofrece este espacio es lógico pensar que dentro de un tiempo estará relativamente concurrido este espacio, por ello es importante establecer que cantidad de misiones de paquetería se podría sostener en este espacio.

Para determinar este porcentaje de misiones de paquetería se ha usado el simulador, modificando los parámetros de cantidad de misiones de ambos tipos y buscando el valor del ratio de aceptación de éstas.

PARÁMETROS	VALORES
SEPARACIÓN HORIZONTAL	150 m
SEPARACIÓN VERTICAL	10 m
VENTANA DE SUMISIÓN	900 s
VENTANA DE CONFIRMACIÓN	300 s
VENTANA DE LANZAMIENTO	1680 s

Tabla 20- Parámetros introducidos en el sistema para realizar la simulación.

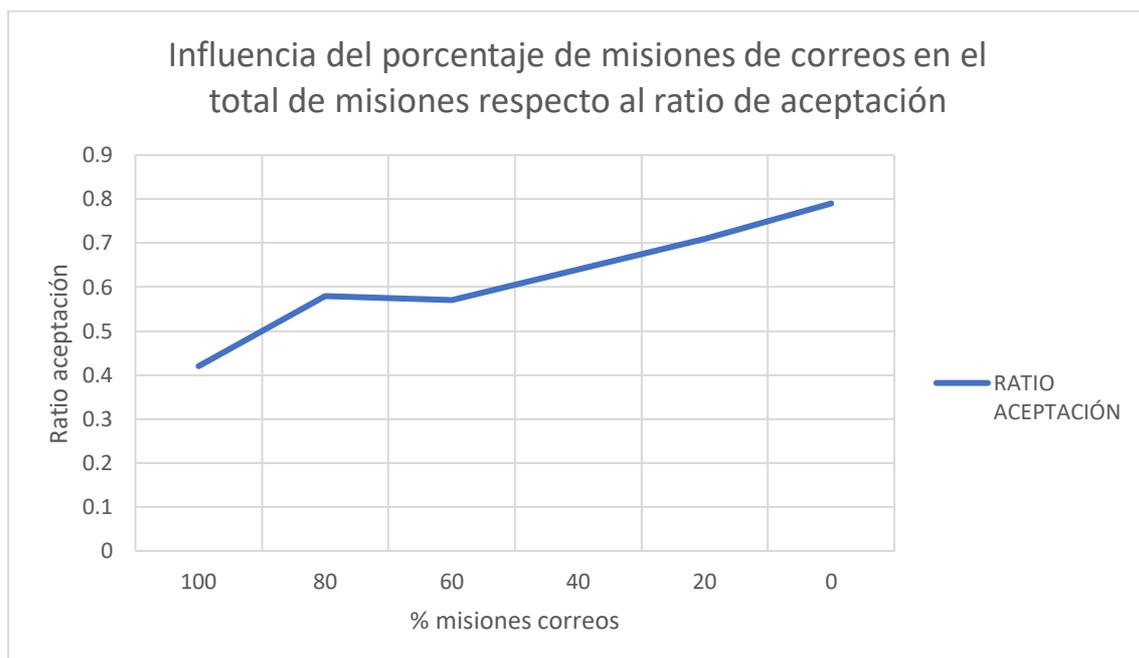


Figura 41-Relación que se establece según en porcentaje de misiones con objeto de correos o con otro propósito.

La Figura 41 muestra como la tendencia de la aceptación de las misiones aumenta a medida que disminuyen las misiones de paquetería. Este efecto puede estar relacionado con lo anteriormente comentado, y es que al tener misiones que despegan y aterrizan siempre en los mismos puntos pueden crear un efecto de "cuello de botella".

En la Figura 42 se ejemplifica este efecto. Tal y como se observa se ha representado un espacio de la ciudad donde se pueden observar dos puntos de salida de paquetería A y B. Los drones azules representan aquellos que tienen una misión de paquetería y en blanco aquellos que tienen otras funciones. Si lo observamos se puede apreciar que al haber un flujo constante de misiones que salen o aterrizan de un mismo punto las otras aeronaves que pasan por esa "aerovía" ven como las distancias de separación entre ellas se recortan y creando en esos puntos una "estrechez" ya que muchas de las misiones se incorporan en el mismo punto.



Figura 42- Ejemplificación gráfica del efecto "cuello de botella".

Es por este efecto que en la búsqueda de la mayor capacidad del espacio aéreo se plantea la creación de un nuevo nivel de vuelo. Este nuevo nivel de vuelo se usaría específicamente para las misiones con objetivos de reparto de mercancías y el nivel inferior quedaría reservado para otros usos. Teóricamente parece una idea que si pueda aumentar el número de misiones con drones en el espacio aéreo pero es con los valores óptimos que ya hemos encontrado y gracias a la herramienta de simulación y deconflito con lo que se podrá estudiar la viabilidad de este nuevo enfoque y el aumento que conllevaría en términos de capacidad aérea.

## 11.2. Parámetros óptimos seleccionados en las simulaciones

En la Tabla 21 se resumen los parámetros en los que se realizarán las siguientes simulaciones con dos niveles de vuelo para que todas las simulaciones se realicen bajo los mismos supuestos.

PARÁMETROS	VALORES
SEPARACIÓN HORIZONTAL	150 m
SEPARACIÓN VERTICAL	10 m
VENTANA DE SUMISIÓN	900 s
VENTANA DE CONFIRMACIÓN	300 s
VENTANA DE LANZAMIENTO	1680 s

Tabla 21.- Cuadro resumen de los valores óptimos para los parámetros estudiados en el escenario con 1FL.

## 11.3. Simulaciones con dos niveles de vuelo

Tal y como se ha comentado, la creación de dos niveles de vuelo independientes podría ser una posible solución para poder aumentar la capacidad del espacio aéreo y aumentar el número de misiones y aceptación de las mismas. Para ello se deberá determinar cuál es la distribución más apropiada para que se aumenten estos ratios.

En los resultados de las simulaciones que encontraremos a continuación el nivel de vuelo indica para los casos con dos niveles de vuelo que en las misiones estándar la distancia es de X metros desde el suelo hasta ese nivel y para el tráfico de paquetería indica que el nivel de vuelo es de X metros a partir de la finalización del anterior. Para los casos en que hay un solo nivel de vuelo esa distancia sigue siendo la misma (X+X metros) pero las aeronaves vuelan por ese espacio indistintamente de la misión que desarrollen.

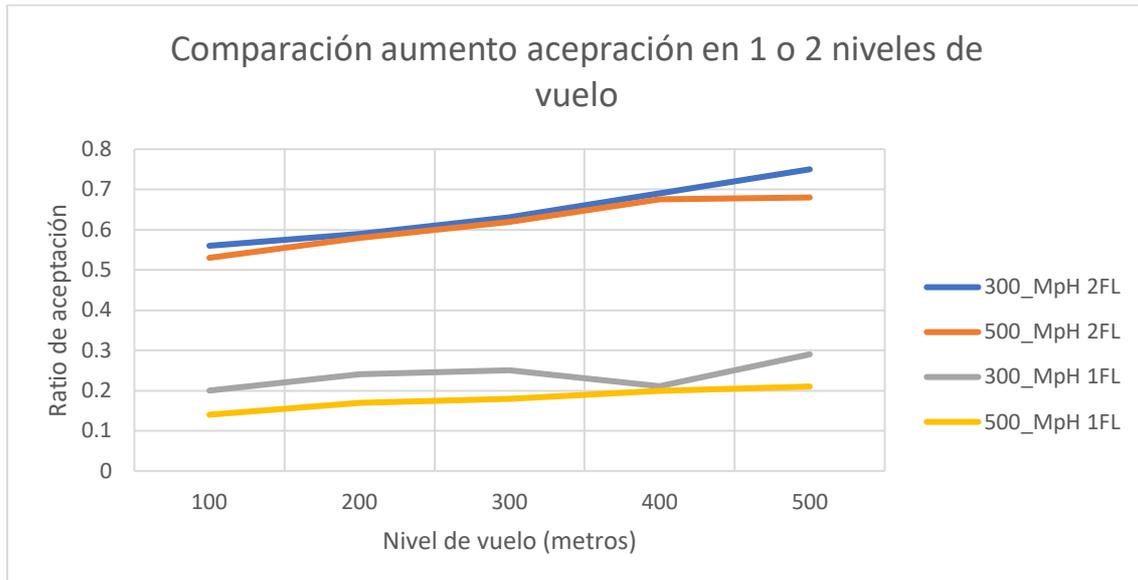


Figura 43 - Evolución del ratio de aceptación de las misiones en un nivel de vuelo y en dos niveles de vuelo con una densidad de 300 y 500 misiones por hora.

Tal y como se puede observar hay una relación directa en el ratio de aceptación entre la creación de un nuevo nivel de vuelo. Se observa como en un escenario de dimensiones relativamente "pequeñas", 200 metros a partir del nivel del suelo, el hecho de separarlo en 100 metros para misiones estándar y 100 metros más arriba para misiones de paquetería hace que el ratio de aceptación aumente de 0,2 a 0,58 en caso de 300 misiones por hora, y de 0,14 a 0,53 en caso de 500 misiones por hora. Este aumento significa un aumento de casi el 40% en ambas densidades. Este aumento del 40% se incrementa en el momento en el que aumentamos el volumen del espacio de operación. En el máximo estudiado (1.000 metros) se consigue que la separación implique un aumento del 47% del ratio de aceptación en escenarios con 500 misiones a la hora y un aumento del 46% en el caso de 300 misiones a la hora.

Estos datos son claros indicadores de que el hecho de separar el tráfico nos proporciona un mayor ratio de misiones aceptadas/misiones enviadas lo que se traduce en un incremento de la capacidad de gestionar y realizar las misiones.

No solamente hay que estudiar como la separación del tráfico según su objetivo afecta al número de misiones aceptadas si no en como influye el aumento del volumen de espacio para operaciones y si el hecho de tener mas espacio disponible hace que se aumente de igual forma la cantidad de misiones aceptadas frente a las presentadas al sistema.

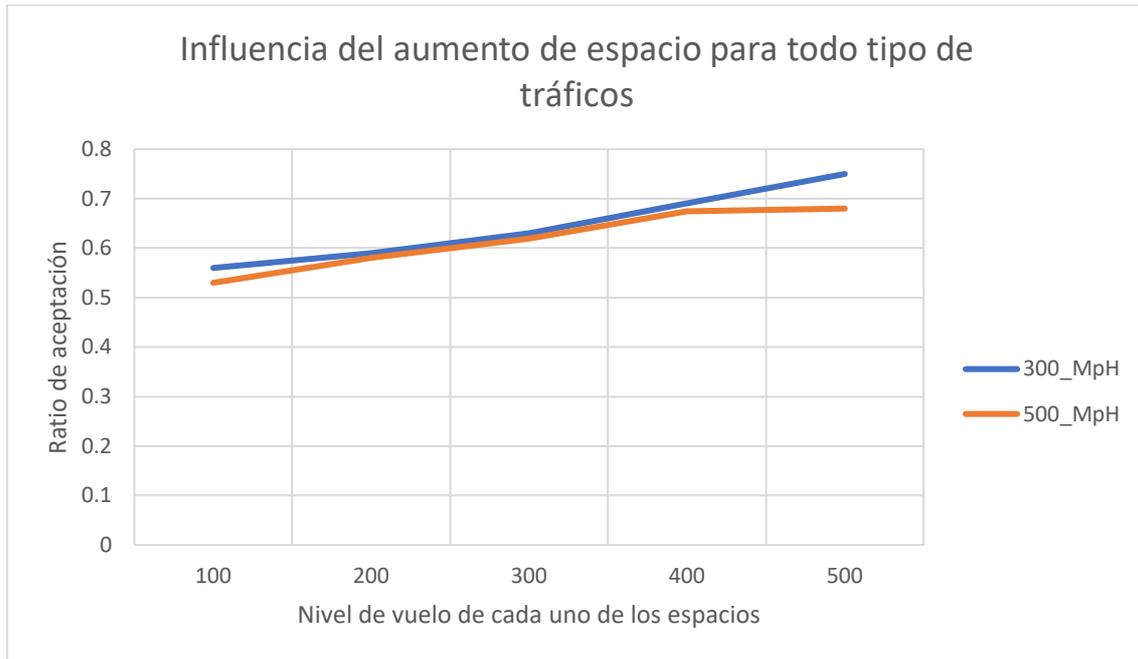


Figura 44 - Aumento del espacio aéreo para los dos tipos de vuelos. El aumento es el mismo para ambos casos, es decir, si el nivel de vuelo para misiones de tipo estándar es X el nivel de vuelo para correos es X metros a partir del anterior.

La Figura 44 es una representación de como influye el aumento del espacio en la aceptación de las misiones. El nivel de vuelo se refiere a los metros que hay desde el nivel del suelo hasta la finalización del primer sector (misiones comunes) y el siguiente nivel se extiende a partir de este la misma distancia en vertical.

Vemos como en un espacio de 100 metros de altura en cada sector (200 metros en total) el ratio de aceptación se aproxima a 0,545<sup>15</sup> y este ratio crece de una manera casi lineal hasta alcanzar en máximo valor (0,71) a los 500 metros de altura en cada sector (1.000 metros en total). Este valor máximo significaría que se aceptarían aproximadamente el 71% de las misiones enviadas.

En un escenario donde las aeronaves tienen 500 metros de altura para cada propósito se llegaría a alcanzar un valor de 375<sup>16</sup> misiones a la hora. El volumen de misiones ha alcanzado unos niveles muy altos en comparación a los ratios de aceptación que se obtenían en escenarios con un solo nivel de vuelo y con una altura mucho más pequeña. Esto nos indica que no solo el aumento del espacio disponible sino la separación de los tráfico según su propósito tiene un gran efecto sobre los niveles de misiones que se podrían realizar simultáneamente.

<sup>15</sup> Valor medio del ratio de aceptación para las dos densidades de tráfico diferentes.

<sup>16</sup> Cálculo del ratio de aceptación del 71% en un escenario con 500 misiones enviadas.

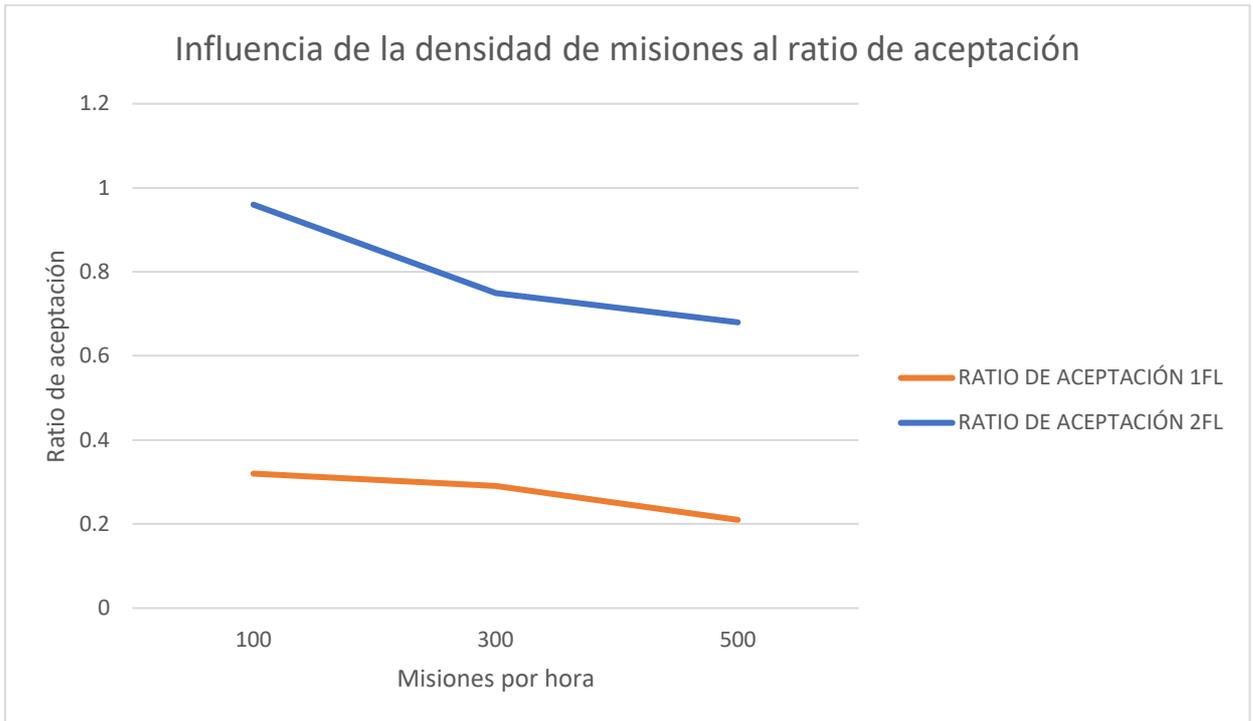


Figura 45- Influencia de la densidad de misiones al ratio de aceptación. Flight Level: Flight Level 1: 0-100m; Flight Level 2 100-200m.

Tal y como muestra la Figura 45 un aumento en el número de misiones por hora (densidad de tráfico) implica un menor ratio de aceptación. También destaca el aumento del ratio de aceptación gracias a la creación de dos niveles de vuelo. Con el mismo número de misiones por hora en ambos casos, el ratio de aceptación es un 47% mayor en el escenario de más densidad (500 misiones por hora).

## 12. Conclusiones y resultados de la investigación

### 12.1. Objetivos alcanzados

En el inicio de este estudio se fijaron siete objetivos principales a los cuales se les ha ido dando respuesta a lo largo del desarrollo de las simulaciones. Partíamos de un escenario desestructurado, donde las misiones tenían un nivel de conflictos relativamente altos. Con el avance del estudio se han obtenido aquellos parámetros que, al aplicarlos a los entornos de simulación se generan unos resultados positivos y se obtienen valores de aceptación mucho mas altos que los iniciales.

PARÁMETROS	VALORES
SEPARACIÓN HORIZONTAL	150 m
SEPARACIÓN VERTICAL	10 m
VENTANA DE SUMISIÓN	900 s
VENTANA DE CONFIRMACIÓN	300 s
VENTANA DE LANZAMIENTO	1680 s

Los parámetros que resultan como valores óptimos se ven resumidos en la Tabla 22, en ella se muestran los parámetros que se han estudiado en las diferentes simulaciones.

Tabla 22- Cuadro resumen de los valores de los parámetros óptimos.

A lo largo de las simulaciones esos parámetros (separación vertical, horizontal, ventana de sumisión, ventana de confirmación y ventana de lanzamiento) se han podido estudiar separadamente y siempre en entornos con las demás variables controladas, al aplicar estos parámetros (separación horizontal de 150 metros, separación vertical de 10 metros, ventana de sumisión de 900 segundos, ventana de confirmación de 300 segundos y ventana de lanzamiento de 1.680 segundos), óptimos conjuntamente se aumentó la capacidad en un 10%. Este aumento fue conseguido simplemente con la modificación de aspectos relativos a la separación entre aeronaves, la modificación en las ventanas de sumisión ... Eso es indicativo que en caso de convertir esta idea en una realidad, el poder estudiar estos pequeños detalles hay posibilidad de incrementar la capacidad del espacio aéreo estudiado.

Cabe destacar que en la fase de estudio de las variables se ha podido demostrar la influencia que tienen en relación al ratio de aceptación de las misiones. Es de notable interés la influencia de la ventana de lanzamiento, que es el parámetro que se ha observado como el más limitante. Eso es indicativo que para un futura, los operadores de drones deberían tener en cuenta que con una mayor flexibilidad a la hora de realizar las misiones podrían obtener unos ratios de aceptación de sus misiones mucho mayores.

Una vez se han obtenido los valores óptimos en la realización de las misiones se consideró como objetivo demostrar del impacto que provocaría la creación de dos niveles de vuelo separados según el objetivo de cada misión. Este objetivo se vio demostrado y además proporcionó unos resultados muy prometedores. Se corroboró que podría implicar cambios entorno al 40% de misiones aceptadas. Este incremento es verdaderamente significativo ya que en un entorno de alta densidad, el incremento en el 40% de misiones podría implicar un grandísimo número de aeronaves simultáneas en el espacio.

## 12.2. Conclusiones

A lo largo del proyecto se ha demostrado individualmente la influencia y la importancia de la selección de valores óptimos espaciales y temporales en futuras misiones; en perspectiva ha quedado demostrado la viabilidad de un espacio aéreo urbano altamente ocupado.

Cabe destacar que como ya se ha ido anticipando a lo largo del proyecto, nos encontramos en un escenario completamente nuevo. Esta novedad implica que queda mucho camino por recorrer; desde un ámbito legislativo hasta un ámbito tecnológico hay que continuar estudiando como implementar para obtener un rendimiento mucho mayor e ir disminuyendo los valores de riesgo en este tipo de operaciones.

Análogamente con el sector aeroespacial, el cual lleva muchas décadas en continua transformación y sufriendo cambios y redistribuciones para poder aumentar la capacidad del cielo, el sector de los drones también sufrirá de estas transformaciones. Con el progresivo aumento de las tecnologías a bordo de estas aeronaves, sistemas de alerta y control más perfeccionados se podrá obtener una densidad de tráfico mucho mayor, ya que el hecho de contar con mayores medidas de seguridad implicará también reducción en aspectos como separación entre aeronaves o velocidad.

Habría que añadir a todo esto, que aún no se han establecido umbrales de seguridad, es decir, no se ha llegado a estudiar y consensuar por parte de los organismos responsables cuáles son las distancias de seguridad que se encuentran dentro de unos parámetros aceptables entre aeronaves y obstáculos y por lo tanto, los límites de peligrosidad o riesgo que se puede asumir.

El estudio realizado demuestra como es posible aumentar la capacidad del tráfico aéreo y como la herramienta de deconflicto aumenta el número de misiones aceptadas asegurando la creación de un espacio aéreo seguro. En conclusión, este estudio demuestra la influencia de la división y segmentación del espacio aéreo en el ratio de misiones aceptadas y el efecto de los valores de los parámetros en el aumento de la capacidad aérea.

### 12.3. Futuras implementaciones

Este estudio es una aproximación a los valores máximos de la capacidad del espacio aéreo de la ciudad de Barcelona, aunque estos podrían extrapolarse a otras ubicaciones. Tal y como se ha ido explicando a lo largo del proyecto se espera un gran crecimiento de este sector en los próximos años y una alta demanda de este tipo de servicios, este incremento de la demanda de operaciones de aeronaves no tripuladas derivará en la necesidad de aumentar la capacidad aérea y aquí se han arrojado algunos factores que pueden ser clave en este aumento del tráfico.

Este estudio se ha contextualizado en el servicio de entrega de paquetería, pero no es simplemente esa su única función ya que una red de drones podría dar respuesta a muchas otras necesidades: desde la repartición de medicamentos, transporte de órganos entre hospitales, detección de atascos en las carreteras, uso de drones como sistemas de vigilancia radar en las carreteras, salvamento marítimo, medición de la temperatura corporal para casos de emergencia médica como la actual pandemia de la COVID-19... Estas son solamente algunas ideas y para llevarlas a la realidad es el cielo su espacio de actuación y por tanto, es esencial su estudio.

Por último comentar que gracias a las nuevas tecnologías que se desarrollan día a día es muy probable que los límites aquí establecidos se superen y estas operaciones se conviertan en realidad algún día proporcionando a los ciudadanos nuevas comodidades y aparezcan muchas otras aplicaciones de esta nueva tecnología que aquí se ha presentado.

## 13. Listado de figuras

Figura 1- Evolución y posibles aplicaciones del uso compartido del espacio aéreo Fuente: (Ministerio de fomento 2019).....	8
Figura 2- Evolución del sector de drones 2006-2016. Fuente de los datos: (UVS International s.f.) . Gráfico de elaboración propia .....	10
Figura 3- Volumen de negocio del comercio electrónico en España. Evolución 2008 al 2018. Fuente de los datos: encuesta online realizada por ONTSI. Gráfico de elaboración propia.....	11
Figura 4- Categorías de compra online de forma general en España en 2018. Fuente de los datos: (Observatorio nacional de las telecomunicaciones y de la SI 2019). Gráfico de elaboración propia.....	12
Figura 5- En amarillo, las categorías de productos que podrían repartirse en una red de drones. Fuente de los datos: (Observatorio nacional de las telecomunicaciones y de la SI 2019). Gráfico de elaboración propia .....	13
Figura 6- número de compradores de producto dentro de cada categoría considerada apta para el transporte mediante RPAS. Fuente de los datos: (Observatorio nacional de las telecomunicaciones y de la SI 2019). Gráfico de elaboración propia. ....	13
Figura 7- En las barras, representación del gasto medio según las categorías de productos y en la línea el número medio de compras que realizan los usuarios según las categorías consideradas aptas para el transporte mediante RPAS .....	14
<i>Figura 8- Gasto en millones de euros en total de cada una de las categorías de productos considerados aptos para el transporte mediante RPAS. Fuente de los datos: (Observatorio nacional de las telecomunicaciones y de la SI 2019). Gráfico de elaboración propia. ....</i>	<i>15</i>
Figura 9-Razones principales para comprar online en 2018 en lugar de acudir a una tienda física Base: total internautas encuestados compradores online. Fuente de los datos: encuesta online realizada por ONTSI. Gráfico de elaboración propia.....	16
Figura 10- Descripción categorías operacionales. Fuente: elaboración propia a partir de datos de (Ministerio de fomento 2019).....	18
Figura 11- Representación proceso de legislación.....	21
Figura 12- Descripción de las funciones del U-Space. Fuente: (Ministerio de fomento 2019).....	30
Figura 13- Fases de implementación del U-Space. Fuente: (Ministerio de fomento 2019) .....	31
Figura 14- Esquema servicios del U-space .Fuente: (Koen Williame, Unifly 30 de Septiembre, 2019) .....	31
Figura 15.- Volúmenes X, Y, Z del U-space. Fuente: (Corus 2019) .....	34
Figura 16- Representación gráfica de VLOS. Elaboración propia. ....	37
Figura 17- Representación gráfica EVLOS. Elaboración propia. ....	37
Figura 18- Representación gráfica BVLOS. Elaboración propia.....	38
Figura 19- Ejemplo de identificación del riesgo con trayectorias e incertidumbres. Fuente: (EUROCONTROL & Andres Van Swalm Junio 2018) .....	41
Figura 20- Esquema de la resolución táctica de conflictos. Fuente: (EUROCONTROL & Andres Van Swalm Junio 2018) .....	43
Figura 21 - Solución de conflictos previa al vuelo. Fuente: (Peter Sachs 2018) .....	45

Figura 22- Interacciones entre el planificador de la misión y la línea de tiempo PARTAKE .....	46
Figura 23- Plano de Barcelona. Fuente: (www.barcelona.cat s.f.) .....	48
Figura 24- Plano de Barcelona .....	49
Figura 25 - Mapa de la densidad de población de Barcelona. Fuente: (CARTO 2015)...	49
Figura 26- Mapa de Barcelona dónde la línea amarilla marca la distancia máxima que hay que recorrer. Fuente: (Google s.f.). .....	52
Figura 27- Regiones de información de vuelo en el mundo.....	58
Figura 28- Esquematación de la estructura del espacio aéreo. Fuente: (Bozzo 2009). 59	
Figura 29- Espacio aéreo de Cataluña. Fuente: (ENAIRE 2020).....	60
Figura 30- Espacio aéreo de Barcelona. Fuente: (ENAIRE 2020).....	60
Figura 31.- A) Ejemplo de un escenario creado en DronAs representando una futura configuración del espacio aéreo U-space sobre la ciudad de Barcelona. B) Ejemplo estudio del impacto de la separación horizontal en el número de misiones aceptadas por el servicio es.....	62
Figura 32- Número de conflictos vs densidad de tráfico (misiones/hora) sin el servicio de deconflicto estratégico. ....	65
Figura 33- Representación gráfica de la configuración aérea con un único nivel de vuelo. Elaboración propia. ....	66
Figura 34- Ratio de aceptación según el número de misiones por hora.....	66
Figura 35- Representación gráfica del concepto de distancia horizontal y distancia vertical. Elaboración propia .....	67
Figura 36 - Influencia de la separación vertical entre aeronaves en el ratio de aceptación de las misiones.....	68
Figura 37 - Influencia de la separación horizontal entre aeronaves en el ratio de aceptación de las misiones. ....	69
Figura 38 - Impacto de la ventana de tiempo de lanzamiento en el ratio de aceptación de las misiones.....	71
Figura 39- Impacto de la ventana de sumisión en el ratio de aceptación de las misiones. ....	73
Figura 40 -Impacto de la ventana de tiempo de confirmación en el ratio de aceptación de las misiones.....	73
Figura 41-Relación que se establece según en porcentaje de misiones con objeto de correos o con otro propósito. ....	75
Figura 42- Ejemplificación gráfica del efecto "cuello de botella".....	76
Figura 43 - Evolución del ratio de aceptación de las misiones en un nivel de vuelo y en dos niveles de vuelo con una densidad de 300 y 500 misiones por hora.....	78
Figura 44 - Aumento del espacio aéreo para los dos tipos de vuelos. El aumento es el mismo para ambos casos, es decir, si el nivel de vuelo para misiones de tipo estándar es X el nivel de vuelo para correos es X metros a partir del anterior. ....	79
Figura 45- Influencia de la densidad de misiones al ratio de aceptación. Flight Level: Flight Level 1: 0-100m; Flight Level 2 100-200m. ....	80

## 14. Listado de tablas

Tabla 1.- Términos y acrónimos con su correspondiente explicación.....	5
Tabla 2.- Internautas compradores, por tipo de productos comprados (% de compradores y número absoluto de compradores). Base: total internautas compradores online Fuente de los datos: encuesta online a internautas (Observatorio nacional de las telecomunicaciones).....	15
Tabla 3- Frecuencia de compra, gasto medio y % sobre el gasto total de los productos comprados online en 2018 .....	15
Tabla 4- Cuadro resumen gestión de conflictos.....	40
Tabla 5- Resumen del contenido de un plan de vuelo .....	42
Tabla 6- Impacto del parámetro de tiempo de deconflicto estratégico en la capacidad y la flexibilidad del sistema. Fuente: (JL Muñoz-Gamarra s.f.) .....	47
Tabla 7- Coordenadas de los centros de las misiones en Barcelona.....	49
Tabla 8- Datos, distritos, barrios y datos de la población de Barcelona 2019. Fuente: (Wikipedia 2020).....	50
Tabla 9- Comparativa entre diferentes modelos de UAV. Fuente: (AVIA PRO 2019).....	51
Tabla 10- en azul los UAV's que cumplen el criterio de autonomía .....	53
Tabla 11- Clasificación basada en el MTOW. Fuente: (Santana 2017) .....	53
Tabla 12- En azul los modelos que cumplen el criterio de carga y de autonomía .....	54
Tabla 13- Selección final de modelos que cumplen los criterios .....	55
Tabla 14- Tabla final de selección de UAV's .....	56
Tabla 15- Parámetros del simulador y salidas del simulador .....	63
Tabla 16.- Valores de separación entre aeronaves seleccionados como óptimos.....	70
Tabla 17.- Ratio de aceptación de tres tiempos diferentes de ventana de lanzamiento. 72	
Tabla 18.- Ratio de aceptación de tres tiempos diferentes en la ventana de lanzamiento y aumento porcentual en el ratio de aceptación. ....	72
Tabla 19.- Representación gráfica de los valores seleccionados para las ventanas de tiempo de sumisión (izquierda) y ventana de tiempo de confirmación (derecha).....	74
Tabla 20- Parámetros introducidos en el sistema para realizar la simulación. ....	75
Tabla 21.- Cuadro resumen de los valores óptimos para los parámetros estudiados en el escenario con 1FL.....	77
Tabla 22- Cuadro resumen de los valores de los parámetros óptimos.....	81

## 15. Bibliografía

- Amazon. 2020. *Amazon*. <https://services.amazon.es/servicios/logistica-de-amazon/precios.html>.
- AVIA PRO. 2019. *Encyclopedia*. <http://avia-pro.net/>.
- Bajjou, Daniel. 2020. *The Drone Community*. 17 de Agosto. <https://yopilodrones.com/diferencias-dron-rpa-rpas-uav-uas/>.
- Berengueras, Josep M. 2016. «Amazon tendrá un espacio físico en el Eixample de Barcelona.» *El periódico*. 13 de 01. <https://www.elperiodico.com/es/>.
- Bozzo, Marcelo. 2009. *Espacio aéreo de la República Argentina*. Mayo. 2015. *CARTO*. [https://ccarrasco.carto.com/viz/ed158f20-b921-11e4-8418-0e4fddd5de28/public\\_map](https://ccarrasco.carto.com/viz/ed158f20-b921-11e4-8418-0e4fddd5de28/public_map).
- Comisión Europea. 2016. «COMUNICACIÓN DE LA COMISIÓN AL PARLAMENTO EUROPEO, AL CONSEJO, AL COMITÉ ECONÓMICO Y SOCIAL EUROPEO Y AL COMITÉ DE LAS REGIONES.» Bruselas.
- Corus. 2019. *U-space Concept of Operations*. SESAR Joint Undertaking.
- EASA. 2015. «EASA.» *Management Board Decision DECISION N° 18-2015*. 15 de Diciembre. <https://www.easa.europa.eu/the-agency/management-board/decisions/easa-mb-decision-18-2015-rulemaking-procedure>.
- . 2018. «EASA.» 4 de Junio. <https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/ToR%20RMT.0230%20%E2%80%93%20Issue%202.pdf>.
- EASA. 2020. «High-level regulatory framework for the U-space.»
2017. «Elnacional.cat.» [https://www.elnacional.cat/es/tecnologia/habitantes-barcelona-mapa\\_150930\\_102.html](https://www.elnacional.cat/es/tecnologia/habitantes-barcelona-mapa_150930_102.html).
- ENAIRES. 2020. *INSIGNIA*. Último acceso: 27 de Agosto de 2020. <https://insignia.enaire.es/>.
- EUROCONTROL & Andres Van Swalm. Junio 2018. «Collision Risk Mitigation in U-space.»
- EUROCONTROL. 2019. «Concept of Operations.»
- European Union Aviation Safety Agency. s.f. «Opinion No 01/2020.»
- Google. s.f. *Google Earth*. <https://earth.google.com/web/@41.39718305,2.19302476,6.07530258a,36165.67039305d,35y,0h,0t,0r/data=MicKJQojCiExU2VieVJ5OFFvOGk4TWZOLW16TXpOLVZaRTIVZXI0bWo>.
- Google Maps. 2020. *Google Maps*. 30 de Marzo. <https://www.google.com/maps/@41.3820894,2.1573343,12z>.
- JL Muñoz-Gamarra, D. Álvarez, P. Folch, A. Sobejano, JJ Ramos González, MA Piera Eroles. s.f. «U-space strategic deconflicting service impact on airspace safety, capacity and flexibility.»
- Koen Williams, Unifly. 30 de Septiembre, 2019. «U-Space services - a brief tour.»
- Ministerio de fomento. 2019. «Plan estratégico para el desarrollo del sector civil de los drones en España.» 11.
- s.f. *MotorGiga*. <https://diccionario.motorgiga.com/diccionario/autonomia-definicion-significado/gmx-niv15-con193041.htm>.
- Observatorio nacional de las telecomunicaciones y de la SI. 2019. «red.es.» *ONTSI*. Noviembre. <https://www.ontsi.red.es/es/estudios-e-informes/Hogares-y>

- ciudadanos/El-Comercio-Electronico-B2C-en-Espana-2018-%28Edicion-2019%29.
- ONU. 2003. *Reducen la distancia mínima entre aviones en vuelo*. 28 de Noviembre. Último acceso: 27 de Agosto de 2020. <https://news.un.org/es/story/2003/11/1025561>.
- Paris, Jorge. 2011. «Aena reduce la distancia mínima entre aviones en ruta para mejorar la fluidez aérea.» *20 minutos* 1-2.
- Peter Sachs, Chris Dienes, PhD., Erin Dienes, PhD. Y Maxim Egorov, PhD. 2018. *Effectiveness of Preflight Deconfliction in High- Density UAS Operations*. Altiscope.
- Rodríguez, Ana. s.f. *iberfdrone*. <https://iberfdrone.es/vuelos-vlos-evlos-bvlos-drones/>.
- Santana, Ernesto. 2017. *xdrones*. <https://www.xdrones.es/tipos-de-drones-clasificacion-de-drones-categorias-de-drones/>.
- ToB. 2013. *TakeOffBriefing*. 15 de Enero. Último acceso: 27 de Agosto de 2020. <http://www.takeoffbriefing.com/como-se-divide-y-organiza-el-espacio-aereo-firctrmaatzcta-video/>.
- Undertaking, SESAR Joint. 2016. «EUROPEAN DRONES OUTLOOK STUDY Unlocking the value for Europe.»
- UVS International. s.f. <https://uvs-international.org>.
2019. *Wikipedia*. 10 de Diciembre. [https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema\\_de\\_Vigilancia\\_Dependiente\\_Autom%C3%A1tica](https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_Vigilancia_Dependiente_Autom%C3%A1tica).
- Wikipedia, colaboradores de. 2020. *Distritos de Barcelona*. 19 de Julio. [https://es.wikipedia.org/wiki/Distritos\\_de\\_Barcelona](https://es.wikipedia.org/wiki/Distritos_de_Barcelona).
- s.f. [www.barcelona.cat](https://w33.bcn.cat/planoIBCEN/es/guia/angle/44.4/position/430913,4583696/).  
<https://w33.bcn.cat/planoIBCEN/es/guia/angle/44.4/position/430913,4583696/>.