



Escola d'Enginyeria de Telecomunicació i
Aeroespacial de Castelldefels

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

TREBALL FINAL DE GRAU

Título: Definición de zonas geográficas de UAS particulares en la ciudad de Barcelona

Autor: Delia Gamboa Silva

Director: Marcos Pérez Batlle

Fecha: 07/02/2022

Título: Definición de zonas geográficas de UAS particulares en la ciudad de Barcelona

Autor: Delia Gamboa Silva

Director: Marcos Pérez Batlle

Fecha: 07/02/2022

Resumen

El objetivo de este proyecto es la creación de una propuesta de diseño para las zonas UAS particulares, garantizando así la seguridad de las personas, infraestructuras e instalaciones en un entorno urbano, así como la integración del mismo en la ciudad de Barcelona.

Se ha comenzado con un breve estudio de la normativa UAS vigente, estableciendo un contexto para la mayor comprensión del lector de este trabajo. Se ha continuado con el análisis de los datos recogidos por la Agencia Estatal de Seguridad Aérea (AESA) entre 2020 y 2021, seleccionando determinados parámetros que servirán de guía en el procedimiento de diseño y extrayendo una conclusión sobre la demanda actual del sector en Barcelona.

A continuación, y teniendo en cuenta las variables analizadas, se construye una propuesta de diseño de las zonificaciones UAS particulares, subdividiendo el espacio aéreo de baja cota teniendo en cuenta el riesgo como principal motivación. El riesgo es el resultado de la combinación de dos factores; severidad y frecuencia. Ambos aportan la información necesaria sobre la densidad de población sobre la que un UAS opera y la frecuencia con la que se desarrolla.

Más adelante se estudia la integración de este diseño en la ciudad de Barcelona, así como la disposición geográfica y urbanística de la misma para un proyecto de esta magnitud. Durante este procedimiento, se mostrará al lector cómo un entorno urbano se adapta a la propuesta de diseño planteada y los obstáculos encontrados durante el mismo.

La metodología y la aplicación desarrolladas se han presentado a la autoridad competente, AESA, que ha valorado muy positivamente los resultados obtenidos. AESA los utilizará en la propuesta final de diseño de las zonas geográficas UAS particulares.

La metodología empleada en este proyecto permite incorporar futuras innovaciones para adaptar las zonas definidas a nuevas realidades; operaciones de última milla (e.g, logística y transporte) y las posibles consecuencias de un uso intensivo de la tecnología dron como puede ser la contaminación visual y acústica.

Title: Definition of particular geographical UAS zones in the city of Barcelona.

Author: Delia Gamboa Silva

Director: Marcos Pérez Batlle

Date: 07/02/2022

Overview

The main objective of this project is the creation of a design proposal for the particular UAS areas, thus guaranteeing the safety of the people, the infrastructure and the facilities in an urban environment, as well as its integration in the city of Barcelona.

At first, a brief study of the current UAS regulations and legislation has been carried out, hence establishing a context for the reader's better understanding of the subject. Then, an exhaustive analysis of the data collected by the State Aviation Safety Agency (AESA) between 2020 and 2021 was conducted. The selected parameters resulting from this analysis will provide a guide in the design procedure and it will aid in reaching a conclusion on the current demand of the sector in Barcelona.

Subsequently, and taking into account the analysed variables, a proposal for the design of the particular UAS zoning has been constructed, subdividing the low-level airspace, taking risk into account as the main motivator. Risk is the outcome of the combination of two factors; severity and frequency. Both of them provide the necessary information on the population density on which an UAS operates and the frequency with which it develops.

Furthermore, the integration of this design in the city of Barcelona is studied, as well as its geographical and urban layout for a project of this magnitude. During the course of this procedure, the reader will be shown how an urban environment adapts to the proposal of the design suggested and the obstacles found through it.

Finally, the methodology and application developed in this document have been presented to the competent authority, AESA, which has highly valued the obtained results. AESA will use them in the final proposal of the design for the particular UAS geographical areas.

The methodology used in this project enables the incorporation of future innovations to adapt the delimited areas to new realities, including last-mile operations (e.g, logistics and transportation), while also taking into account the possible consequences of an intensive use of drone technology, such as visual and noise pollution.

Índice

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: CONTEXTO	4
1.1. Evolución de la normativa	4
1.2. Tipos de operaciones.....	6
1.3. Clasificación de aeronaves no tripuladas.....	12
1.4. Zonas geográficas de UAS	15
CAPÍTULO II: ANÁLISIS DE DATOS.....	18
2.1. Histórico de datos	19
2.2. Análisis de la bondad del dato.....	27
CAPÍTULO III: DISEÑO DE ZONAS UAS PARTICULARES	29
3.1. U-Space y otros proyectos.....	29
3.2. Diseño y procedimientos.....	32
3.2.1. Capas del espacio aéreo.....	32
3.2.2. Capa inferior	33
3.2.3. Capa superior	37
3.2.4. Zonas “Open”	37
3.2.5. Solapamientos entre zonas particulares	38
3.2.6. Restricciones aplicables en zonas UAS particulares	40
CAPÍTULO IV: APLICACIÓN DE LAS ZONAS UAS PARTICULARES A LA CIUDAD DE BARCELONA.....	44
4.1. Zonificación de zonas particulares por severidad.....	45
4.2. Zonificación de zonas particulares por frecuencia	49
4.3. Zonificación de corredores aéreos	53
4.4. Zonificación de zonas Open.....	55
4.5. Zonificación de la capa superior	57
4.6. Integración	57
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES.....	59
REFERENCIAS.....	61
ANEXO – VISTA COMPLETA DE LA INTEGRACIÓN DE LAS ZONIFICACIONES EN LA CIUDAD DE BARCELONA.	63

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Crecimiento de ingresos del sector del dron en Europa y su predicción.....	1
Figura 2: Esquema temporal de la evolución de la normativa.....	6
Figura 3: Esquema de operación en Subcategoría A1.....	8
Figura 4: Esquema de operación en Subcategoría A2.....	9
Figura 5: Esquema de operación en Subcategoría A3.....	10
Figura 6: Evolución temporal de las operaciones UAS solicitadas entre 2020 y 2021.....	19
Figura 7: Mapa de la ciudad de Barcelona con los radios de operación solicitados de 2020 a 2021.....	20
Figura 8: Clasificación distrital de operaciones UAS.....	21
Figura 9: Clasificación de operaciones UAS según la categorización fiscal del origen.....	22
Figura 10: Clasificación de las operaciones UAS en función del radio solicitado.....	22
Figura 11: Clasificación de las operaciones UAS en función de la altura solicitada.....	23
Figura 12: Clasificación de las operaciones UAS en función de la finalidad de operación.....	24
Figura 13: Clasificación de las operaciones UAS en función del tipo de dron utilizado.....	25
Figura 14: Clasificación de las operaciones UAS en función del tiempo de autonomía de los drones utilizados.....	25
Figura 15: Clasificación de las operaciones UAS: MTOM empleada en función de la autonomía por batería.....	26
Figura 16: Ejemplo de operación UAS del 13 de Julio de 2021.....	27
Figura 17: Comparativa del alcance solicitado de la operación contra el recorrido real.....	28
Figura 18: Esquema de la integración del diseño de U-Space en diferentes entornos geográficos.....	30
Figura 19: Diseño de corredores para <i>Urban Air Mobility</i> propuesto por la Universidad de Harvard.....	31
Figura 20: Diseño propuesto por la empresa de transporte Amazon al Gobierno Chino.....	31
Figura 21: Esquema de las diferentes zonas particulares propuestas, su distribución y su interacción.....	32
Figura 22: Esquema de la integración de un corredor aéreo en un entorno urbano.....	36
Figura 23: Jerarquía de prioridades de restricciones aplicables entre zonas por severidad.....	38
Figura 24: Niveles de ruido de la ciudad de Barcelona en 2019.....	41
Figura 25: Modelos más utilizados en las operaciones y sus niveles de ruido a 45 metros.....	42
Figura 26: Mapa de la ciudad de Barcelona y sus distritos.....	44
Figura 27: Zona roja por severidad en Avenida Reina Maria Cristina.....	45
Figura 28: Zona roja por severidad en la zona de eventos del Fórum.....	46
Figura 29: Zona roja por severidad en las zonas verdes de Collserola.....	47

Figura 30: Zona naranja por severidad en el Barrio Gótico, Plz. Cataluña y Pso. de Gracia.....	48
Figura 31: Zona naranja por severidad en el Camp Nou y el área colindante..	48
Figura 32: Zona naranja por severidad en las zonas de playa de Barcelona...	48
Figura 33: Zona amarilla por severidad en el área urbana más poblada de Barcelona.....	49
Figura 34: Zona permanente por frecuencia.	50
Figura 35: Zona variable por frecuencia en las zonas de playa de Barcelona.	50
Figura 36: Zona variable por frecuencia en la zona universitaria del Campus Nord.	51
Figura 37: Zona variable por frecuencia en Montjuic.....	51
Figura 38: Zona eventual por frecuencia en la zona del Camp Nou y el área colindante.....	52
Figura 39: Zona eventual por frecuencia en las zonas de playa de Barcelona.	52
Figura 40: Ejemplo de aplicación de zona eventual por frecuencia en el área de una maratón.	53
Figura 41: Ejemplo de corredores aéreos interrumpidos por las características viales.....	54
Figura 42: Vista general de la integración de los principales corredores aéreos en Barcelona.....	55
Figura 43: Ejemplo de propuesta de zona Open.....	56
Figura 44: Ejemplo de propuesta de zona Open en Montjuic.....	56
Figura 45: Propuesta de zona open en las zonas de playa de Barcelona.....	57
Figura 46: Zoom de la integración total de todas las zonas por severidad en Montjuic.....	58
Figura 47: Vista general de la zonificación por severidad	63
Figura 48: Vista general de la zonificación por frecuencia	64

Lista de tablas

Tabla 1: Clasificación de las categorías de UAS y principales especificaciones.	12
Tabla 2: Tipos de solicitudes para operadores y sus características.	18

A mis padres, que cruzaron un océano por mí. No hay suficientes mares en el universo para agradecerles.

A mi tutor Marc, por guiarme y brindarme su apoyo incondicional y sus conocimientos.

INTRODUCCIÓN

Desde las primeras apariciones de los dispositivos aéreos no controlados - o en inglés, *Unmanned Aircraft Systems* (UAS) - en 1916 para aplicaciones militares, su demanda no ha hecho más que incrementar y expandirse hasta la actualidad. Según un estudio estadístico del sector del dron en Europa [1], de 2018 a 2022 se ha alcanzado un crecimiento del 397,4% en los ingresos solo por parte de los drones comerciales, tal y como se puede observar en la siguiente figura.

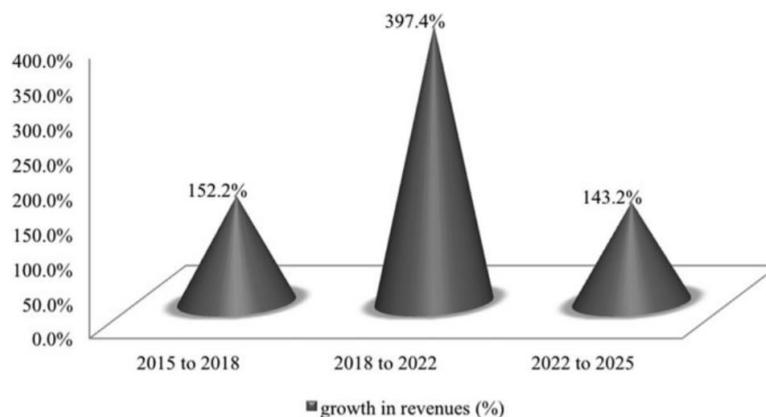


Figura 1: Crecimiento de ingresos del sector del dron en Europa y su predicción.

Dado que el volumen de estos dispositivos está aumentando de manera considerable en la última década gracias a la evolución tecnológica y la demanda, se han empezado a estudiar normativas de regularización (e incluso en varios países – como Estados Unidos, China y la mayoría de Estados miembros de la Unión Europea – ya han entrado en vigor) que permitirán garantizar una buena integración de los UAS a nuestro entorno.

La expansión del mercado ha conducido a particulares no profesionales a hacerse con un dispositivo con fines recreativos, lo cual es un añadido al sector comercial cada vez más presente en más países, no solo de la Unión Europea. Por lo tanto, existe la necesidad de un espacio aéreo propio y adaptado para la circulación de las aeronaves no tripuladas.

En los últimos años, nuevas regulaciones tanto europeas como estatales se han ido implementando con el objetivo de establecer una base en la que construir este espacio aéreo UAS, definir zonas, modalidades de operación y requisitos para el uso de estos dispositivos dentro de este modelo de sistema. La normativa europea regula las clasificaciones de drones y las categorías de operaciones, pero deja a los estados la ampliación de algunos factores, los cuales se tratarán a lo largo de este trabajo.

Las competencias sobre el espacio aéreo y las operaciones UAS las tiene la administración estatal, en este caso, la Agencia Española de Seguridad Aérea

(AESA), no obstante, el conocimiento de las condiciones en las cuales se pueden establecer las zonificaciones lo tienen las administraciones locales. El Ayuntamiento de Barcelona, como cualquier otra administración local, conoce al detalle su territorio y las sensibilidades de la ciudadanía que lo habita, así como otros aspectos que pueden tener impacto en la utilización de aeronaves no tripuladas (por ejemplo, puntos de interés turístico, infraestructuras esenciales, etc.). Por lo tanto, es necesario incorporar su experiencia en la definición de las zonas geográficas tanto generales (aquellas que afecten a entorno urbano) como particulares (no desarrolladas en el texto del Proyecto de Real Decreto) para asegurar que las mismas se dimensionan siguiendo criterios de seguridad y eficacia. Dichas zonas geográficas distarán de ser estáticas ya que tendrán que adaptarse a las necesidades cambiantes de la ciudad.

El objetivo de este proyecto es el diseño de un entorno seguro en el que llevar a cabo operaciones UAS garantizando la seguridad de las personas, infraestructuras e instalaciones, así como establecer una base para la tasación del uso del espacio público. Actualmente, la normativa europea regula las zonas generales y define un marco de referencia para que los Estados miembros puedan definir las zonas UAS particulares, mediante la normativa estatal. Este documento se centrará en definir las zonas particulares e integrarlas en la ciudad de Barcelona.

El Proyecto del Real Decreto define las zonas geográficas UAS generales como *“zonas prohibidas y restringidas para la Defensa, la protección de los intereses nacionales o la seguridad pública; las zonas restringidas para la protección medioambiental; las zonas restringidas al vuelo fotográfico; y las estructuras de espacio aéreo asociadas a la gestión del uso flexible del espacio aéreo.”* Y define las zonas geográficas UAS particulares como las zonas adicionales que, en su caso, establezca la Comisión Interministerial entre los Ministerios de Defensa y Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (CIDETMA en adelante).

A lo largo de los cinco capítulos que conforman este trabajo se desarrolla todo el procedimiento de diseño llevado a cabo. En el primer capítulo se comienza con un estudio de la normativa actual y su impacto en la regularización de vuelos UAS en entornos urbanos y su periferia. A continuación, en el capítulo dos, se analizan las solicitudes de operaciones recogidas durante 2020 y 2021, seleccionando las características más significativas de cara al diseño del espacio aéreo particular. Gracias a estos datos se podrá hacer una estimación y definición de las tendencias de demanda, así como conocer las zonas que acogen más operaciones, categorías de dron más utilizadas y finalidades de operación, entre otros factores.

El tercer capítulo desarrolla el procedimiento de diseño de las zonas UAS particulares junto con los parámetros que han influido en el transcurso de éste. Se despliegan dos tipos de clasificaciones, en función del riesgo que presente operar en determinadas áreas de una misma ciudad o población. Una vez se despliegue el protocolo de zonificación, en el capítulo cuatro se estudia su integración en la ciudad de Barcelona y se analiza su compatibilidad con el entorno urbano.

Finalmente, en el último capítulo se exponen las conclusiones alcanzadas tras la realización de este proyecto y la evaluación por parte de AESA sobre el trabajo desarrollado y su posible impacto en las zonificaciones UAS particulares. Por último, se explica su posible integración y evolución, así como el trabajo a futuro a partir de las bases preestablecidas y el diseño propuesto en este documento.

Capítulo I: Contexto

Para este proyecto ha sido necesario un análisis de la evolución de la normativa, el cual permite conocer la situación actual de los operadores y los límites de interacción de los drones con el entorno. A lo largo de este capítulo, se disponen los datos adecuados para la comprensión del desarrollo de la metodología, y se sientan las bases necesarias en las que se ha inspirado el diseño propuesto finalmente.

1.1. Evolución de la normativa

En abril de 2014, AESA (Agencia Estatal de Seguridad Aérea) dio a conocer las primeras regularizaciones del uso de drones en el país, de carácter transitorio, que anunciaban medidas para el crecimiento de su uso. Más adelante, en ese mismo año se publica el Real Decreto 552/2014¹ [2], con el que se da una mayor especificación del reglamento aéreo y el uso de la navegación aérea.

En diciembre de 2017, Real Decreto 1036² [3] modifica el de 2014. En él, se regula la utilización civil de las aeronaves pilotadas por control remoto. Al mismo momento que ésta normativa se aprobaba, se acordó el proceso de creación de una normativa única europea. Con ésta última normativa, es posible abrirse paso hacia nuevos escenarios que en 2014 habría sido imposible plantear.

El 1 de julio de 2019 se aprueba la normativa europea. A pesar de que los requisitos operacionales son complejos y aún tardará unos años en desarrollarse por completo, es un gran paso para el sector aeronáutico nacional ahora que el uso de los UAS crece exponencialmente alrededor del mundo.

Ése mismo año, se da el Reglamento Delegado (UE) 2019/945³ [4] en el que se informa sobre las normas y los procedimientos aplicables a la utilización de aeronaves no tripuladas y los operadores de terceros países. Poco después, el

¹ Real Decreto 552/2014, de 27 de junio, por el que se desarrolla el Reglamento del aire y disposiciones operativas comunes para los servicios y procedimientos de navegación aérea y se modifica el Real Decreto 57/2002, de 18 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de Circulación Aérea.

² Real Decreto 1036/2017, de 15 de diciembre, por el que se regula la utilización civil de las aeronaves pilotadas por control remoto, y se modifican el Real Decreto 552/2014, de 27 de junio, por el que se desarrolla el Reglamento del aire y disposiciones operativas comunes para los servicios y procedimientos de navegación aérea y el Real Decreto 57/2002, de 18 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de Circulación Aérea.

³ Reglamento Delegado (UE) 2019/945 de la Comisión, de 12 de marzo de 2019, sobre los sistemas de aeronaves no tripuladas y los operadores de terceros países de sistemas de aeronaves no tripuladas.

Reglamento de Ejecución (UE) 2019/947⁴ [5] estipula el reglamento para operadores y el uso que le darían al equipo empleado en sus operaciones. Ambas normativas se modificaron en 2020. El Reglamento Delegado (UE) 2020/1058⁵ [6] que modifica el Reglamento Delegado (UE) 2019/945 introduciendo dos nuevas clases de sistemas de aeronaves no tripuladas. En junio de ese mismo año, el Reglamento de Ejecución (UE) 2020/639⁶ [7] modifica el Reglamento de Ejecución (UE) 2019/947 actualizando los posibles escenarios de operaciones llevadas a cabo más allá del campo visual, es decir, presenta dos tipos de escenarios diferentes: STS-01 sobre VLOS⁷ en espacios poblados y STS-02 en BVLOS⁸ con observadores (EVLOS⁹) en entornos poco poblados. Ambos casos deben ser tomados en cuenta ya que son escenarios que se pueden dar en una ciudad como Barcelona.

Actualmente, los últimos Reglamentos de Ejecución que rigen la gestión de las operaciones UAS en Europa son el Reglamento de Ejecución (UE) 2021/664¹⁰ [8] y el Reglamento de Ejecución (UE) 2021/665¹¹ [Referencias9], ambos con fecha del 22 de abril de 2021. Tratan un marco regulador para el U-Space, el cual sería un equivalente a un sistema de gestión del tráfico aéreo de la aviación tripulada en espacio aéreo europeo. Se tiene en cuenta a los UAS como aeronaves de control remoto que coexistirán con las aeronaves tripuladas. El 12 de mayo de éste mismo año la Comisión Europea ha aprobado los dos Reglamentos de Ejecución que incluyen las condiciones para

⁴ Reglamento de Ejecución (UE) 2019/947 de la Comisión, de 24 de mayo de 2019, relativo a las normas y los procedimientos aplicables a la utilización de aeronaves no tripuladas.

⁵ Reglamento Delegado (UE) 2020/1058 de la Comisión, de 27 de abril de 2020, por el que se modifica el Reglamento Delegado (UE) 2019/945 en lo que respecta a la introducción de dos nuevas clases de sistemas de aeronaves no tripuladas.

⁶ Reglamento de Ejecución (UE) 2020/639 de la Comisión, de 12 de mayo de 2019, por el que se modifica el Reglamento de Ejecución (UE) 2019/947 en lo que concierne a los escenarios estándar de operaciones ejecutadas dentro o más allá del alcance visual.

⁷ *Visual Line of Sight*. Modo de operación en el cual el piloto mantiene línea de vista libre con el dispositivo UAS durante el vuelo.

⁸ *Beyond Visual Line of Sight*. Modo de operación en el cual el piloto no tiene línea de vista con el dispositivo UAS ni se ayuda de observadores. Controla el dron mediante un sistema de emisión de la estación de pilotaje remoto, que permite el enlace con el mando para un control efectivo.

⁹ *Extended Visual Line of Sight*. Modo de operación en el cual el piloto controla el dispositivo UAS durante el vuelo con ayuda de un observador, con el que mantiene contacto por radio. El observador es el que debe cumplir con VLOS.

¹⁰ Reglamento de Ejecución (UE) 2021/664 de la Comisión, de 22 de abril de 2021 sobre un marco regulador para el U-Space.

¹¹ Reglamento de Ejecución (UE) 2021/665 de la Comisión, de 22 de abril de 2021 por el que se modifica el Reglamento de Ejecución (UE) 2017/373 en lo que respecta a los requisitos para los proveedores de servicios de gestión del tránsito aéreo/navegación aérea y otras funciones de la red de gestión del tránsito aéreo en el espacio aéreo U-Space designado en el espacio aéreo controlado.

la integración de los UAS con la aviación tripulada, y que serán aplicables a partir del 26 de enero de 2023.

Los diseños propuestos en este trabajo para las zonas UAS particulares orientados a las grandes ciudades necesitarán ser apoyados por los servicios de U-Space y, por lo tanto, por la normativa europea y estatal.

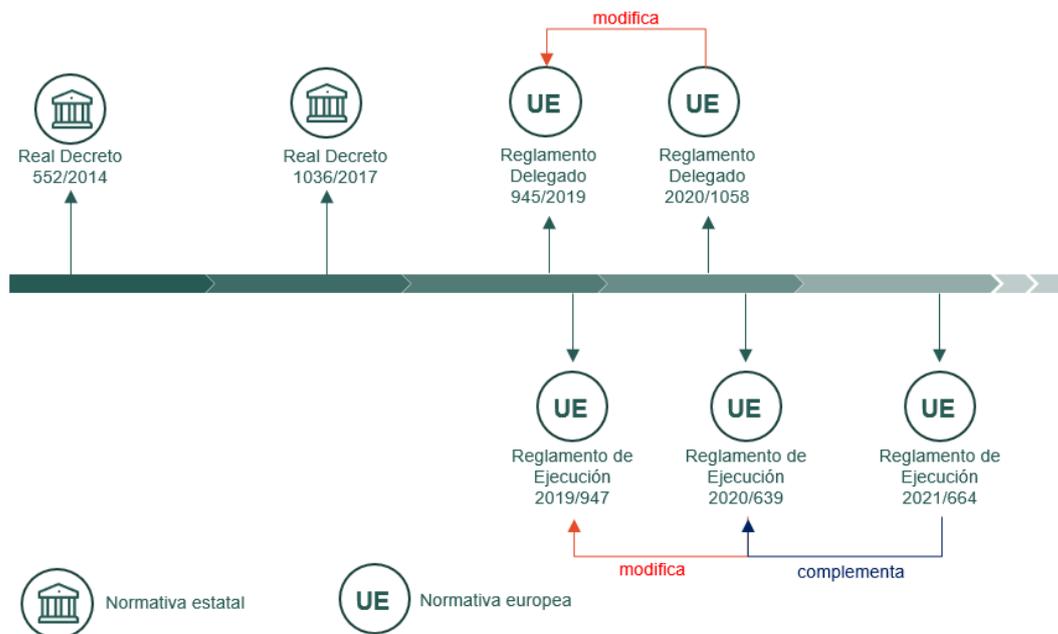


Figura 2: Esquema temporal de la evolución de la normativa.

1.2. Tipos de operaciones

En este apartado se describirán los tres principales tipos de operaciones en las que se puede operar. El Reglamento de Ejecución (UE) 2019/947 declara las categorías abierta, específica y certificada. No es hasta el Reglamento de Ejecución (UE) 2020/639 que no se definen dos escenarios estándar en los que operar dentro de la categoría específica. El Proyecto del Real Decreto [10] recoge estos tres tipos de operaciones con algunas modificaciones (por ejemplo, la masa máxima de despegue autorizada en cada categoría) y regulariza las categorías abiertas y específicas de operaciones EASA de forma más profunda.

Categoría abierta

Esta categoría se rige por unas normas básicas principalmente orientadas al lado tierra; preservar la seguridad ciudadana y la integridad de inmuebles e infraestructuras críticas. Como característica, para operar en esta categoría no

es necesaria una autorización de la autoridad competente, ya que el riesgo que involucra su uso es muy bajo.

El piloto debe poder mantener contacto visual (es decir, operar en VLOS) con la aeronave en todo momento o en su defecto mantener una distancia máxima de 500 m entre dron y piloto, a no ser que vuele en modo “sígueme¹²” o cuando se utilice un observador de UAS (es decir, EVLOS).

La aeronave no podrá sobrevolar concentraciones de personas y deberá mantenerse a una distancia prudencial de ellas. En categoría abierta no se pueden volar drones de más de 25 kg. Tampoco se pueden sobrepasar los 120 metros de altura desde el punto más próximo a la superficie terrestre (excepto los casos en los que se sobrevuelen obstáculos). Durante el vuelo, el dispositivo no podrá llevar consigo mercancía peligrosa ni dejará caer ningún material u objeto. Además, si el dispositivo UAS supera los 250 g se considerará que su colisión con una persona puede ser potencialmente perjudicial, con lo que tanto la aeronave no tripulada como el operador deberán estar debidamente registrados.

La categoría abierta se despliega en tres subcategorías en función del riesgo que presentan las operaciones que se llevan a cabo en ellas; A1, A2 y A3.

En el Reglamento de Ejecución (UE) 2019/947 se definen estas subcategorías, pero en el Proyecto del Real Decreto se incluyen algunas modificaciones.

Subcategoría A1

En esta subcategoría pueden operar dispositivos UAS clase C0 y clase C1 que no superen los 500 gr incluyendo la carga útil. Deben constar de un sistema activo de identificación a distancia y disponer de geoconciencia.

El piloto no podrá sobrevolar la aeronave por encima de construcciones estables públicas/privadas ni sobre domicilios de personas físicas. Deberá mantener una distancia horizontal mínimo de 10 m a las personas y edificios en todo momento.

¹² *Follow me*. La tecnología *sígueme* crea una conexión virtual entre el dron y un dispositivo móvil equipado con GPS o compatible con GLONASS, lo que permite que el dron rastree al piloto (o a otro sujeto en movimiento) y le siga.

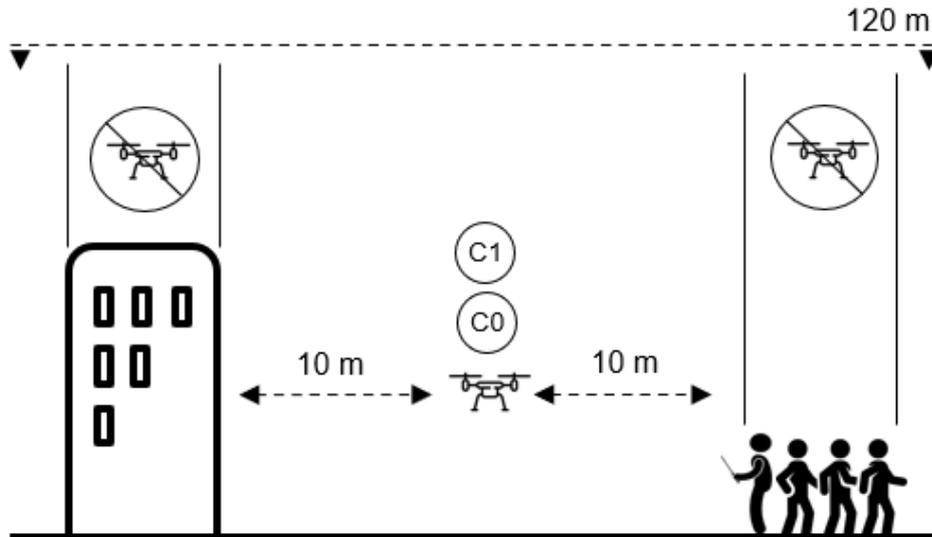


Figura 3: Esquema de operación en Subcategoría A1.

Subcategoría A2

Únicamente los drones C2 que cumplan los requisitos asociados a su clase vuelan en esta categoría. En entornos urbanos y según el Proyecto del Real Decreto: *“En las operaciones de UAS en entornos urbanos en la subcategoría A2 de la categoría «abierta» el piloto a distancia debe garantizar que la aeronave no tripulada no vuele por encima de edificios ni de otras construcciones estables, ya sean de titularidad pública o privada, ni sobre casas o sobre cualquier otro tipo de domicilio de personas físicas y se mantenga a una distancia horizontal segura de al menos 30 metros de ellas durante la operación. Cuando se utilicen UAS con una función activa del modo de baja velocidad, el piloto a distancia podrá reducir la anterior distancia de seguridad horizontal a un mínimo de 10 metros de edificios o de otras construcciones permanentes.”*

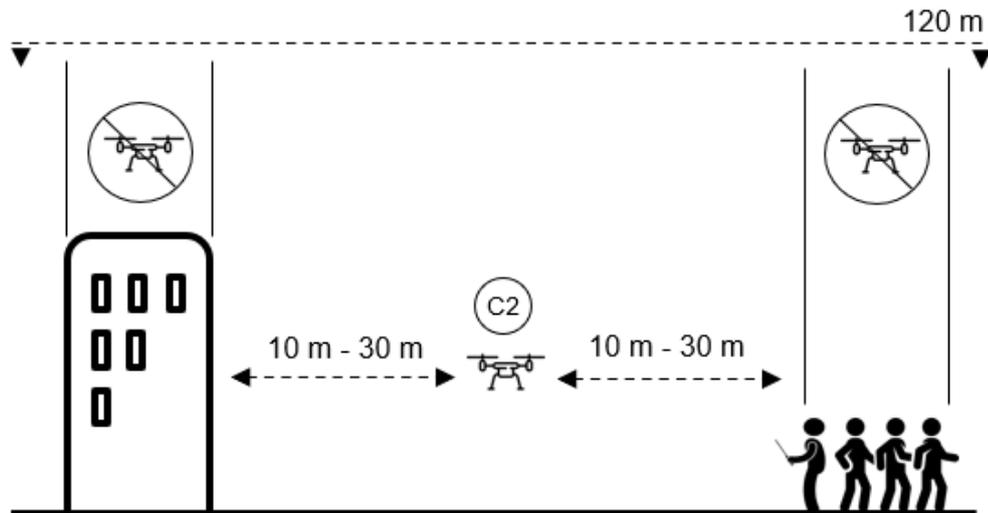


Figura 4: Esquema de operación en Subcategoría A2.

Existe una mayor restricción con respecto a la separación con personas, pero se mantiene la separación con inmuebles.

Sin embargo, estas restricciones podrán ser modificadas e incluso eximir a los operadores de cumplir algunas de ellas (como, por ejemplo, la separación) si el propietario o titular de dicho inmueble, bajo previo acuerdo y petición del operador, así lo considera. Aun así, el resto de condiciones operacionales correspondientes a la zona geográfica donde se opere deberán permanecer inalteradas.

Subcategoría A3

Estas operaciones (indicadas para UAS con MMD menor a 25 kg incluida la carga útil y el carburante) deben llevarse a cabo cuando el piloto a distancia prevea que no se pondrá en peligro ninguna persona no partícipe de la operación dentro del espacio que sobrevuele la aeronave. Aunque el Proyecto del Real Decreto reduce la MMD a 20 kg. Las categorías C2, C3 y C4 pueden operar en esta subcategoría siempre y cuando cumplan las normativas de seguridad y separación de 150 m a zonas residenciales, comerciales, industriales o recreativas.

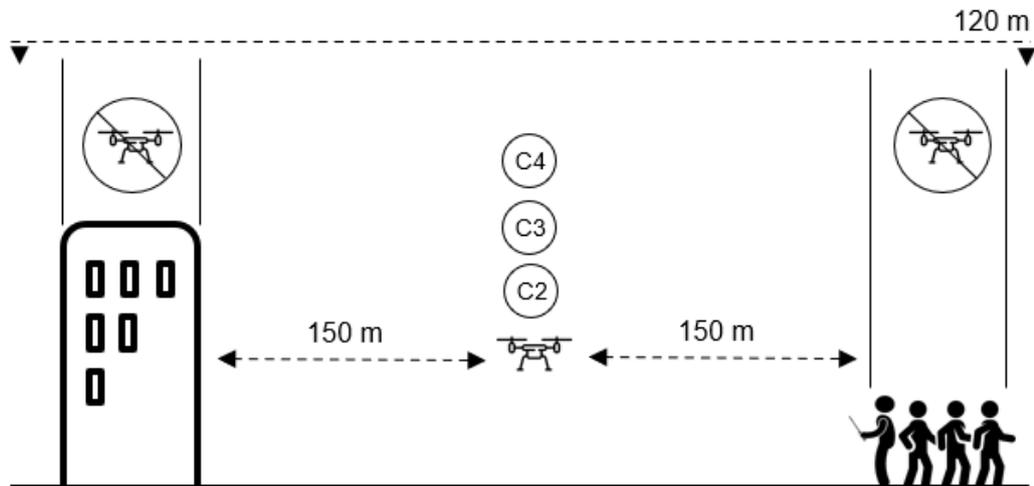


Figura 5: Esquema de operación en Subcategoría A3.

Categoría específica

Esta categoría es más restrictiva que la anterior, por la complejidad y peligrosidad de las operaciones llevadas a cabo en ella.

Para poder participar en ella, el operador debe presentar una evaluación de riesgo operacional a la autoridad competente (por ejemplo, en España a AESA) a no ser que sea titular de un certificado de operador de UAS ligeros. La declaración de la operación deberá ser detallada y el operador podrá hacer modificaciones en todo momento si las circunstancias lo requieren.

Tampoco pueden superar los 120 m sobre la superficie terrestre. Se puede operar en categoría específica en espacios aéreos no controlados de categorías F y G, y en espacio aéreo controlado bajo previa autorización y coordinación con la autoridad aérea competente.

El Reglamento de Ejecución (EU) 2020/639 define para la categoría específica dos principales escenarios de operación; STS-01 o Escenario Estándar 1 y STS-02 o Escenario Estándar 2 con el fin de diferenciar dos procedimientos de actuación diferentes. El operador deberá realizar una evaluación de riesgo mediante el método estandarizado SORA¹³ [11] (*Specific Operations Risk Assessment*) y decidir en cual operar.

¹³ SORA (Evaluación de riesgos de operaciones específicas) es un proceso de evaluación de riesgos de varias etapas que tiene como objetivo el análisis de riesgos de ciertas operaciones de aeronaves no tripuladas, así como la definición de las mitigaciones necesarias y los objetivos de seguridad operativa y su nivel requerido de solidez.

STS-01: Vuelos en VLOS sobre zonas terrestres controladas en entornos poblados.

La aeronave no tripulada en todo momento se mantendrá a una altura máxima de 120 m respecto a la superficie terrestre -excepto para sortear obstáculos- pero las medidas se adaptarán en función de las características geográficas del terreno; colinas, montañas, llanuras, etc. Se podrán sobrevolar a 15 m los obstáculos artificiales si el titular o responsable del obstáculo lo permite. El UAS no podrá llevar mercancía peligrosa durante la operación ni salirse del modo VLOS en ningún momento.

Este escenario solo contempla el uso de aeronaves no tripuladas de clase C5 (originalmente clase C5 o C3 convertidas a C5 con el kit de accesorios homologado) debidamente certificadas y registradas según su clase, con un sistema de identificación a distancia.

STS-02: Vuelos en BVLOS con observadores del espacio aéreo sobre zonas terrestres controladas en entornos poco poblados.

Disposiciones generales similares al Escenario Estándar 1, pero permitiendo el vuelo en BVLOS (sin contacto visual directo) con ayuda de observadores.

El UAS no podrá alejarse más de 2 km de distancia de su piloto ni a más de 1 km del observador del espacio aéreo más próximo, siendo la distancia piloto-observador no superior a 1 km.

Las aeronaves permitidas en este escenario son las C6, cumpliendo los requisitos que se disponen en su clase.

Para operar en cualquiera de estos dos escenarios, el piloto necesita únicamente una declaración operacional donde detalle las características de la operación.

Categoría certificada.

Los procedimientos en categoría certificada son los que atañen más riesgo, con lo cual, las restricciones y reglas aplicadas en esta categoría son las mismas ya existentes para la aviación tripulada.

Para los servicios no EASA realizados en esta categoría y llevados a cabo directamente por las organizaciones públicas, los operadores necesitarán una certificación de operador UAS como estipula el Reglamento Delegado 945. Necesitarán esta certificación las operaciones que sean LCI/SAR (servicio de extinción de incendios y de búsqueda y rescate) el resto solo tendrán que preparar las operaciones según el procedimiento.

Los servicios LCI/SAR deberán ser realizados por operadores de UAS certificados por EASA.

Las operaciones que requieran sobrevolar concentraciones de personas, o el transporte de personas o mercancías peligrosas que puedan suponer un potencial riesgo para terceros en caso de accidente, se llevarán a cabo en categoría certificada según el Reglamento de Ejecución 639.

El Reglamento Delegado (UE) 2020/1058 actualiza las bases anteriores en cuanto a las dimensiones de los UAS en categoría certificada: deben tener “*una dimensión característica de 3 metros o más*” y deben estar diseñados de forma que atenúen los riesgos para terceros en caso de accidente.

1.3. Clasificación de aeronaves no tripuladas

El Reglamento Delegado (UE) 2020/1058 contempla siete categorías de UAS diferentes, ampliando así la información recogida en el Reglamento delegado 945.

Todas ellas contienen características básicas comunes, pero con especificaciones para cada una. Independientemente de a qué clase pertenezcan, todos los UAS deben estar identificados y operar de acuerdo a la clase a la que pertenezcan y no rebasar una altura máxima de 120 metros sobre el terreno.

A continuación, se dispone de una tabla que resume las principales características de las distintas categorías.

Clase	MMD	Velocidad Máx.	Dimensiones Máx.	Geoconciencia
C0	250 g	19 m/s	-	x
C1	900 g	19 m/s	-	✓
C2	4 kg	-	-	✓
C3	25 kg	-	3 m	✓
C4	25 kg	-	-	x
C5	25 kg	5 m/s	-	✓
C6	25 kg	50 m/s	3 m	✓

Tabla 1: Clasificación de las categorías de UAS y principales especificaciones.

Los aspectos más importantes a destacar son la masa máxima de despegue (MMD), ya que podría ser un factor influyente en las restricciones aplicables durante la zonificación. Las limitaciones de velocidad, junto a las dimensiones máximas se consideran parámetros decisivos para los tipos de operaciones en los que se orienta el uso de cada una de las categorías. También se ha considerado importante la existencia de la geoconciencia dependiendo de la clasificación.

Geoconciencia

La función de geoconciencia es un sistema que aporta numerosas ventajas de seguridad a los vuelos UAS: tiene incorporado un sistema de trazabilidad de las operaciones el cual facilita la monitorización de estas y por lo tanto es más sencillo tener los vehículos no tripulados controlados durante el vuelo y minimizar el riesgo de colisión.

Esta función permite a los dispositivos operar dentro de los límites del espacio aéreo gracias a una interfaz que carga y actualiza los datos. De esta forma, se pueden establecer perímetros de protección en, por ejemplo, infraestructuras críticas y operar así en márgenes seguros.

Clases orientadas a operaciones en categoría Abierta

Clase C0

Es la clase de los UAS más ligeros, los que pueden causar menores daños tanto materiales como humanos. Sin embargo, en este trabajo veremos cómo esta clase, a pesar de ser la clase de UAS que se asemeja más a un “juguete” puede presentar un peligro potencial para la seguridad aérea ya que son difíciles de detectar y controlar. A diferencia del resto de categorías (exceptuando la categoría C4) los C0 no están obligados a tener un número de serie asociado. Los UAS C0 que estén considerados juguetes según la Directiva 2009/48/CE están exentos de cumplir con los requisitos mínimos que atañen al resto de categorías, como por ejemplo ser estable y maniobrable, o estar diseñado para reducir posibles lesiones (debido a su bajo peso) de la misma forma que el resto de categorías más pesadas.

Como requisitos físicos más importantes, el dispositivo debe tener una MMD (masa máxima de despegue) equivalente a 250 gr incluyendo su carga útil. No puede superar los 19 m/s en vuelo horizontal, ni los 120 m por encima del punto de despegue y debe estar fabricado con materiales que no causen lesiones graves a otras personas durante su uso.

Clase C1

Los drones C1 deben estar diseñados y fabricados con materiales que garanticen la integridad física de una persona si esta se viera expuesta a un impacto en la cabeza (a velocidad terminal) menor a 80 J. Alternativamente, deberán tener una MMD menor a 900 gr incluyendo la carga útil. También están limitados a una velocidad de 19 m/s o en vuelo horizontal y tampoco pueden superar los 120 metros de altura sobre la superficie o punto de despegue.

A nivel de sistema, los C1 deben garantizar la reconexión del enlace de transferencia de datos UAS-mando en caso de que éste se rompiera o constar de un sistema de aterrizaje automático que se pudiese llevar a cabo de forma segura.

Según el Reglamento Delegado 945, deberán tener un número de serie físico único. Además, deberán tener una identificación a distancia que muestre en tiempo real este número de serie, posición geográfica y altura por encima de la superficie o punto de despegue, trayectoria y posición respecto al piloto. Estos datos deben ser perceptibles por otros receptores autorizados para que sean conscientes de ellos.

Cómo último requisito, los C1 deberán constar de un sistema de geoconciencia.

Clase C2

Masa máxima de despegue de 4 kg incluida la carga útil y dimensiones no superiores a 3 m. A parte de la masa, no difiere en grandes aspectos con la categoría C: altura máxima en vuelo y velocidad, identificador propio e identificación a distancia en tiempo real. Esta clase puede constar de modo *low speed* con el cual, si se limita suficientemente la velocidad horizontal, puede operar en la subcategoría A2 en *Open*. Este modo permite al dispositivo acercarse un máximo de 5 m a personas no relacionadas con la operación si el piloto ha evaluado el riesgo y lo ha considerado seguro.

Es imprescindible que tenga incorporado un sistema de geoconciencia.

Clase C3

MMD inferior a 25 kg incluyendo la carga útil y dimensiones no superiores a 3 m. Características similares a las de la categoría anterior. También debe poseer la capacidad de recuperación de enlace de mando y control y tener una identificación a distancia en tiempo real. Salvo si se trata de un ala fija, debe estar equipado con un modo de baja velocidad seleccionable por el piloto a distancia y que limite la velocidad respecto al suelo a 3 m/s como máximo. Debe estar equipado con geoconciencia.

Clase C4

Similares a la clase C3, pero la C4 es una clase en la que se clasifican los UAS utilizados en aerodelismo. No constan de la limitación de altura ni velocidad, pero sí deben ser controlables y maniobrables. No se establece la obligación de geoconciencia ni tampoco llevan ningún sistema de control automático o autopiloto.

Clases orientadas a operaciones en categoría Específica

Clase C5

Como hemos mencionado antes, esta clase (en conjunto con la siguiente) se añadió en el Reglamento Delegado (UE) 2020/1058.

Establece una masa máxima de despegue de 25 kg. Debe estar equipado con un modo de baja velocidad que no permita superar los 5 m/s respecto al suelo. En caso de pérdida de enlace UAS-mando, debe constar de un sistema de reconexión para recuperar la transferencia de datos. También debe estar equipado con geoconciencia.

Un UAS de clase C3 podrá ser considerado clase C5 siempre y cuando lleve instalado un kit de accesorios homologado que le proporcione las características necesarias y que éstas cumplen los requisitos adicionales. Debe constar de un manual de usuario con las instrucciones del fabricante para realizar la adaptación junto con una lista de todos los modelos C3 a los que se le puede aplicar. Este kit no incluirá cambios en el *software* del UAS clase C3.

Clase C6

Su MMD debe ser inferior a 25 kg incluyendo la carga útil y sus dimensiones tampoco pueden superar los 3 metros. Pero hay mayor margen en la velocidad horizontal respecto a las clases anteriores; como máximo, el vuelo horizontal no puede superar los 50 m/s. Al ser una limitación más permisiva, esta categoría contempla modelos de ala fija para estas velocidades. Estos UAS deben poseer el sistema de actuación en caso de pérdida del enlace de mando y control, tener un sistema de identificación a distancia y estar equipados con la función de geoconciencia. A demás, sus trayectorias deben poder ser programables.

1.4. Zonas geográficas de UAS

Zonas geográficas UAS generales

Las constituyen las zonas prohibidas o restringidas para la Defensa y la protección de interés nacional o seguridad pública. También las zonas de protección medioambiental, las zonas restringidas al vuelo fotográfico (ZRVF) y las zonas del espacio aéreo para la aviación tripulada, ya existentes.

Además, tal y como indica el BOE 272 publicado el 10 de noviembre de 2018, en el artículo 21: *“Corresponde a la autoridad competente en materia de seguridad pública en el respectivo ámbito territorial determinar la necesidad de establecer reservas o restricciones temporales de espacio aéreo por motivos de seguridad pública.”*

Son también zonas geográficas generales por razón de seguridad militar, Defensa nacional, seguridad del Estado o por protección de infraestructuras

críticas, las instalaciones empleadas para la defensa y/o la seguridad del Estado, así como las zonas asociadas a ellas. También las infraestructuras de sectores estratégicos. Aquí, los UAS solo podrán operar en las proximidades o inmediaciones y con el permiso previo y expreso del titular de dichas instalaciones o terrenos. El sobrevuelo podrá realizarse a más de 300 metros (1.000 ft) de altura por encima del obstáculo más alto en un radio de 600 metros.

Todas las limitaciones se publicarán en la AIP (Publicación de Información Aeronáutica). Sin embargo, estas limitaciones y prohibiciones no son aplicables cuando se lleven a cabo operaciones por las fuerzas y cuerpos de seguridad del Estado.

Las áreas e instalaciones destinadas a servicios esenciales para la comunidad también serán consideradas zonas geográficas generales. Se podrán sobrevolar a una altura mínima de 50 metros y 25 metros de distancia horizontal.

Zonas geográficas UAS particulares

Son aquellas zonas que el CIDETMA establezca. El CIDETMA puede definir (a previo interés de los que justifiquen la necesidad de que así sea) qué zonas deben ser tratadas como zonas particulares, siendo éstas compatibles con el resto del espacio aéreo.

Las zonas deberán ser diseñadas por un proveedor certificado de estructuras de espacio aéreo o de ATS (*Air Traffic Services*).

Solapamientos

En ocasiones, podría darse la situación de que un tipo de zona UAS invada parcial o totalmente otra. El Proyecto del Real Decreto estipula qué debe hacer el operador si se diera esta situación.

Zona general & Zona general

El operador deberá adaptarse a todas las normas de ambas zonas.

Zona particular & Zona/s general/es

El operador deberá complementar las normativas de las zonas general (en caso de que esté comprometiendo más de una) con las de la zona particular ne la que opera. Si se contradijeran, prevalecerían las condiciones de la zona geográfica particular.

Zona particular & Zona particular

Serán aplicables las limitaciones y condiciones de operabilidad de ambas zonas. Si se contradijeran, prevalecerán las de la zona UAS particular que se estableció más tarde.

Capítulo II: Análisis de datos

Para este proyecto se han recogido datos relevantes sobre las operaciones solicitadas del año pasado 2020 y el año actual 2021. Se han recopilado las solicitudes de operación con fechas de 20 de noviembre de 2020 a 28 de julio de 2021, 160 operaciones en total, y mediante herramientas de representación geográfica y un procesador de datos se han analizado las tendencias y distribuciones de las operaciones UAS realizadas.

El objetivo de este análisis es estudiar las características de las operaciones demandadas en Barcelona, tanto para poder establecer un base que nos ayude a diseñar la zonificación aérea para la navegación UAS -y establecer así las zonas UAS particulares- como para tener una proyección para las tasas de uso del espacio público.

Los operadores envían sus solicitudes para que sean aprobadas por AESA mediante dos tipos de formulario: “*Comunicació d’operacions d’aeronaus pilotades per control remot*” o “*Comunicación al Ministerio del Interior*”.

Tipo de dato	Comunicació d’operacions d’aeronaus pilotades per control remot	Comunicación al Ministerio del Interior
Tipo de operación	✓	Impreciso
Fecha y hora inicio de operación	✓	✓
Fecha y hora fin de operación	✓	✓
Tiempo total de operación	✓	x
Coordenadas de inicio, protección y recuperación	En ocasiones se usa incorrectamente	✓
Altura de operación	✓	✓
Radio de operación	✓	Área delimitada en un mapa
Características técnicas del dron	✓	✓

Tabla 2: Tipos de solicitudes para operadores y sus características.

A pesar de no contar con el tiempo total de operación, se puede concluir que el modelo del segundo tipo es más preciso que el primero con el formato de demanda de datos. Además de proporcionar la información necesaria, muestra mediante representación geográfica el área de la zona exacta dónde se

desarrollará la operación, logrando que sea más fácil predecir los movimientos y lo más importante, proteger y adaptar la zona en caso de que fuese necesario. Sin embargo, este modelo es el más escaso: sólo representa el 6,25% del total de solicitudes.

Ambos formularios cuentan con información clave para poder clasificar las operaciones y ver sus tendencias. Se seleccionarán: fechas (así como la marca temporal), origen de operación y dirección, radio y altura de operación, tiempo de vuelo, tipo de operación y tipo de dron empleado (MTOM y autonomía por batería).

2.1. Histórico de datos

A continuación, se desarrolla cómo se han seleccionado las variables que se han considerado más significativas.

Evolución temporal

Analizando la distribución temporal de operaciones por mes, puede observarse ver una pronunciación en el mes de abril de 2021.

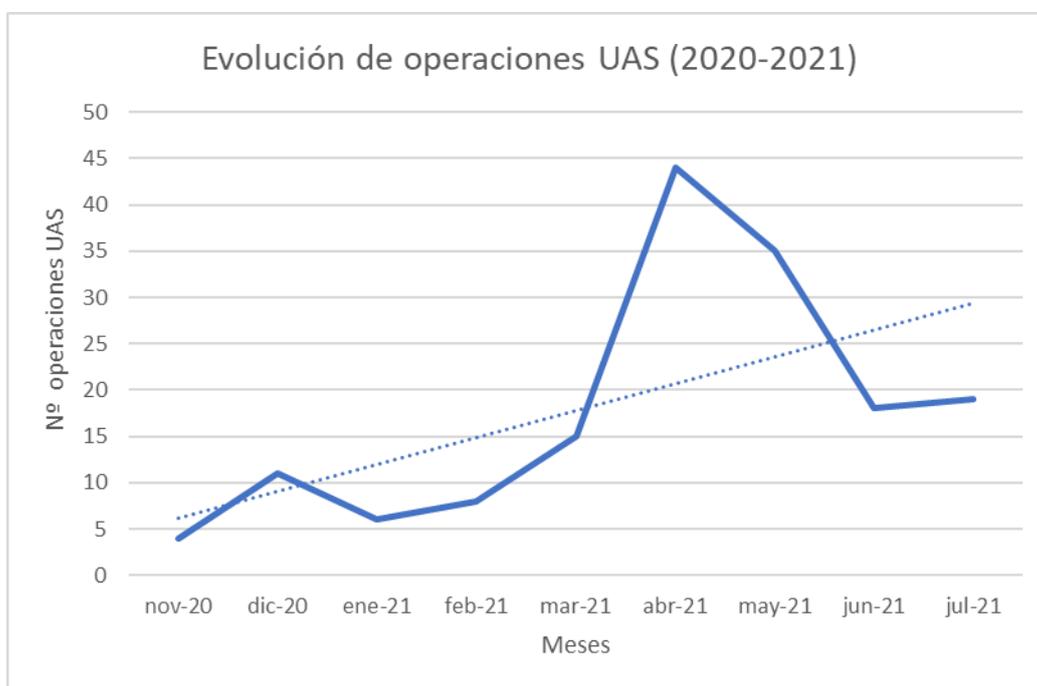


Figura 6: Evolución temporal de las operaciones UAS solicitadas entre 2020 y 2021.

Las operaciones son escasas a finales de noviembre de 2020, pero aumentan ligeramente a finales de año. Aunque hay un descenso a principios de 2021, no se alcanzan los valores del año anterior, al contrario, se puede observar un

fuerte aumento de demanda de operaciones UAS en primavera, especialmente en abril. No obstante, vuelven a reducirse de cara al verano. En general, analizando este periodo de tiempo, se puede concluir que la tendencia es al alza a pesar del descenso de operaciones en mayo, junio y julio, la cual es debida a la baja actividad laboral. Estas irregularidades se ven potenciadas por la pandemia marcada por el Covid-19 que empezó a estar presente en el año 2020.

Distribución geográfica

Este análisis se centra únicamente en la ciudad de Barcelona, la cual se divide en distritos y así es como hemos tratado los datos.

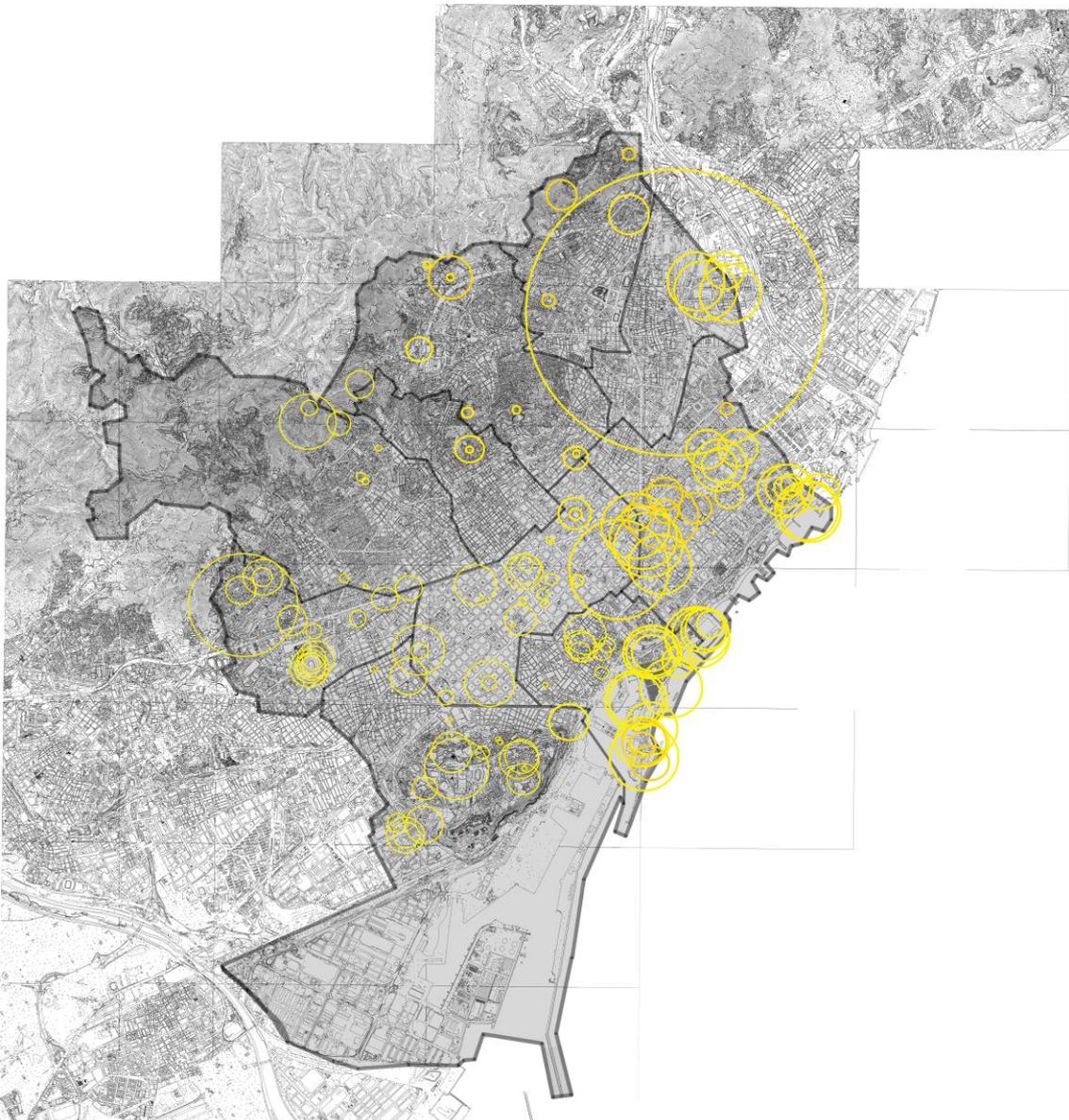


Figura 7: Mapa de la ciudad de Barcelona con los radios de operación solicitados de 2020 a 2021.

Como puede verse en la imagen anterior, se han representado las operaciones disponibles de 2020 y las de 2021 con sus radios de actuación en amarillo y los distritos de Barcelona que las recogen en un sombreado más oscuro.

Los distritos más buscados concuerdan con los lugares más turísticos y de interés cultural. Las zonas de costa y puerto son las más demandadas, se localizan en Sant Martí y Ciutat Vella. La segunda zona más demandada es más interior y se encuentra en el Eixample.

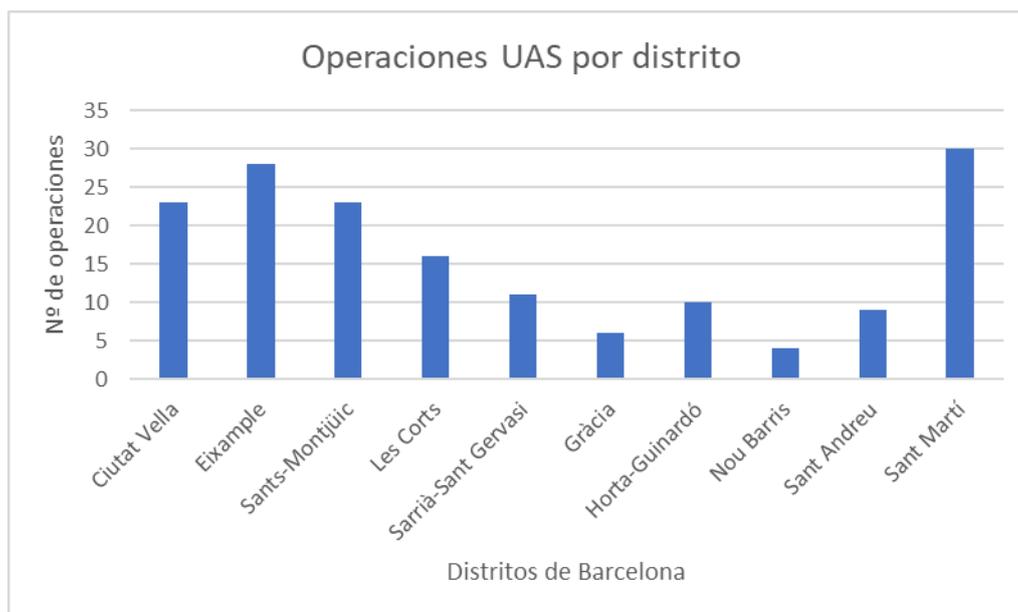


Figura 8: Clasificación distrital de operaciones UAS.

También se ha clasificado las operaciones en función de la calle de origen que se indica en las solicitudes y su categoría fiscal según la clasificación de categoría fiscal de las vías públicas de Barcelona.

Esta categorización de vías públicas tiene como objetivo cuantificar según diversos factores -acceso a servicios públicos, concentración de comercios, zonas verdes o equipamiento urbano- la base imponible de diversos impuestos y tasas en función de la ubicación. La categoría de cada vía determinará el importe de las tasas o un factor que se aplicará a la hora del cálculo de, por ejemplo, el Impuesto de Actividades Económicas o las tasas que se requerirán por usar el espacio público.

En Barcelona se dividen las calles por letras de la A a la F, siendo la A la más costosa y F la más barata, proporcionalmente a su aportación al interés socio-económico. Como categoría a parte se encuentra la "I" referente a zonas industriales.

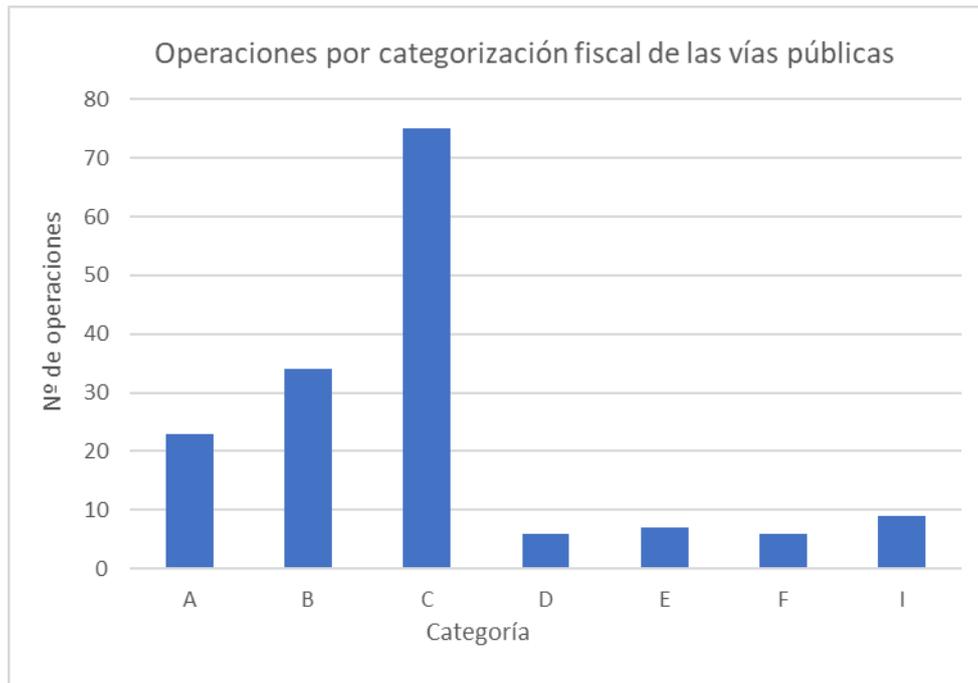


Figura 9: Clasificación de operaciones UAS según la categorización fiscal del origen.

La imagen anterior indica que la categoría más abundante es la C. Esto se debe a que, como se ha mencionado antes, la mayoría de operaciones se centran en las ubicaciones de mayor interés económico-cultural y de interés turístico.

Clasificación por radio y altura de operación

Otro factor influyente es el radio de actuación.

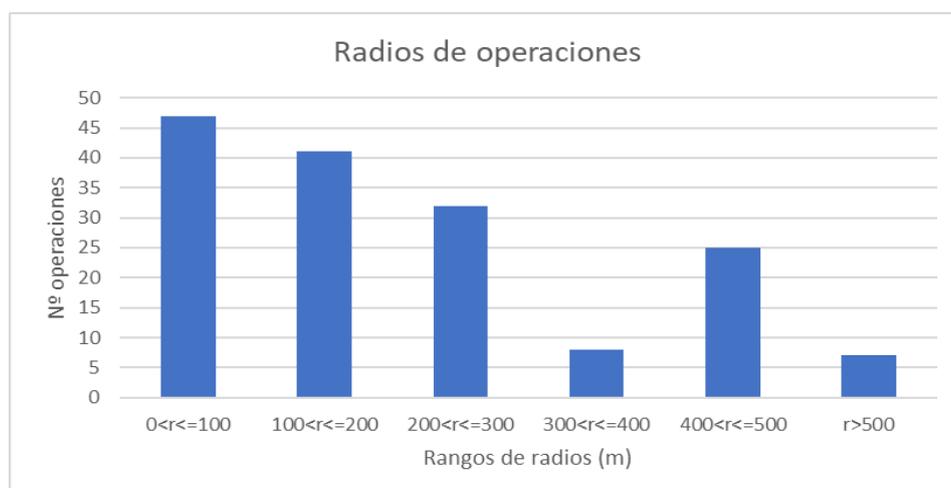


Figura 10: Clasificación de las operaciones UAS en función del radio solicitado.

Las operaciones son muy variadas en cuanto a el radio de operación. Sin embargo, destaca una discrepancia con la normativa. Como norma general, las operaciones VLOS no pueden superar los 500 metros, ya que para ello necesitan de un observador convirtiéndose así en EVLOS (*extended VLOS*). Todas las operaciones notificadas a *Mossos d'Esquadra* como operaciones de más de 500 metros no han sido tratadas ni especificadas como EVLOS ni se ha declarado en sus correspondientes solicitudes el uso de un observador, tal y como indica EASA. Por otro lado, aunque se solicite un radio de operación, no implica que se utilice toda el área declarada.

La distribución de alturas de vuelo es algo más dispar.

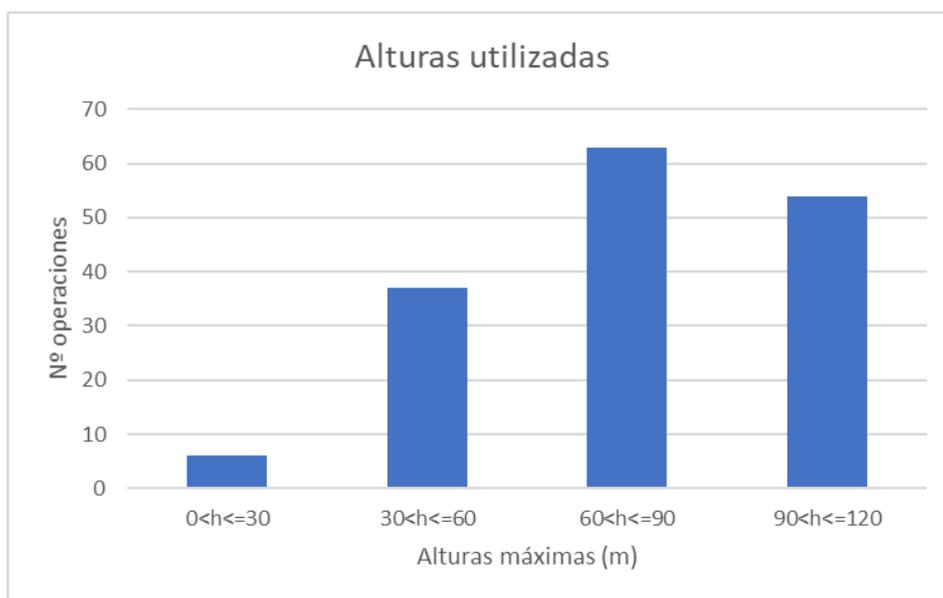


Figura 11: Clasificación de las operaciones UAS en función de la altura solicitada.

Las alturas máximas (120 metros sobre la superficie terrestre) y las de 90 o 100 metros son las más demandadas. No obstante, esto no implica que se utilice todo el espacio vertical solicitado, así como el radio de operación.

Fines de operación utilizados

Los fines más demandados son los de filmación audiovisual, entre los que se encuentran películas, reportajes, filmación deportiva y *spots* publicitarios.

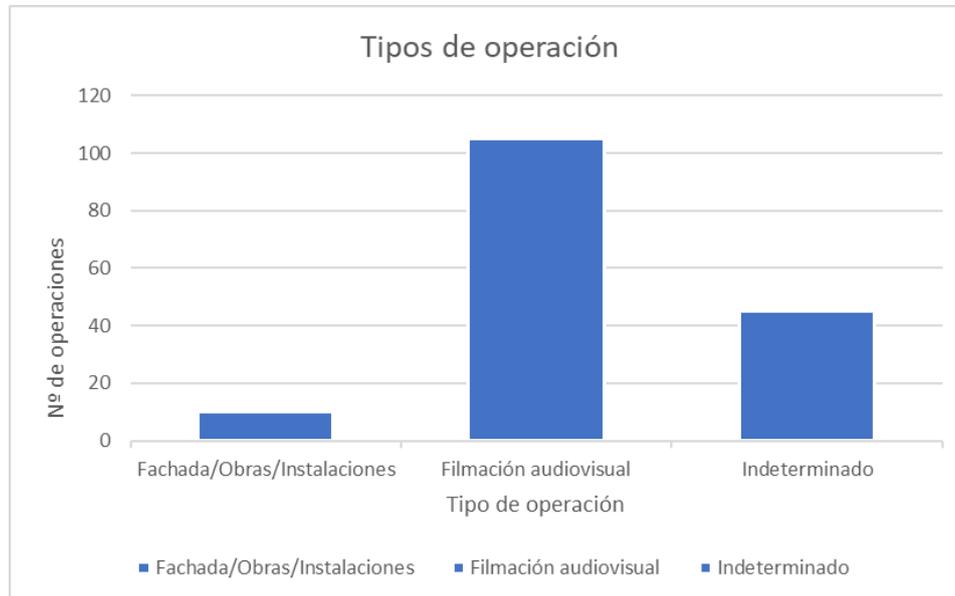


Figura 12: Clasificación de las operaciones UAS en función de la finalidad de operación.

Existe un gran número de solicitudes que no han especificado el objetivo del uso del espacio aéreo etiquetando la operación como "VLOS" sin declarar el fin de éstas. Se considera que debería ser un requisito obligatorio en los campos a completar de las solicitudes, ya que esto agilizaría el proyecto para poder adaptar los procedimientos a las demandas.

Tipos de UAS empleados en las operaciones

Todas las operaciones se han solicitado como cuadricóptero, multirroto y rotor. En la mayoría de solicitudes se ha especificado el modelo del UAS empleado (multirroto de 4 hélices) sin embargo, otros no lo declaran. La información aportada por parte de los operadores puede ser insuficiente o ambigua pero la tendencia indica que el uso de cuatro rotores es casi unánime.

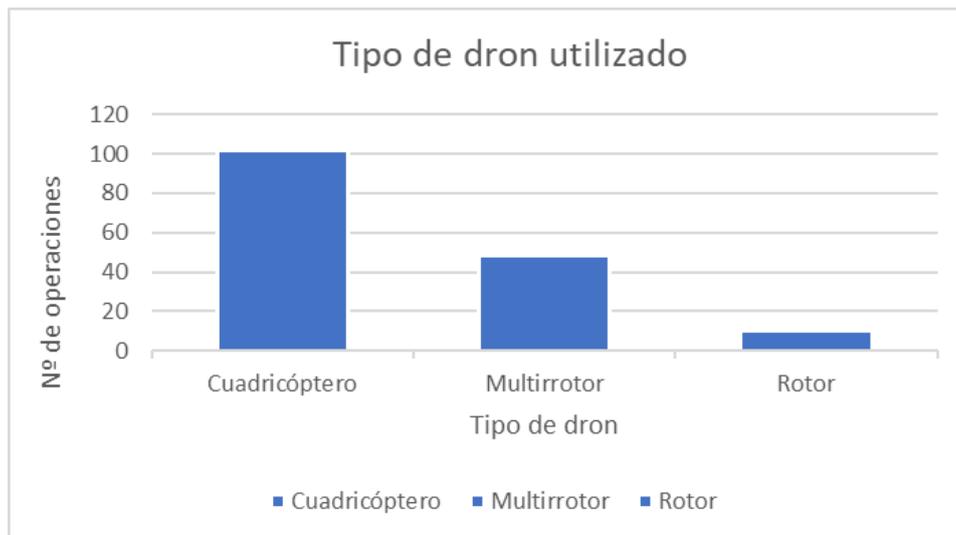


Figura 13: Clasificación de las operaciones UAS en función del tipo de dron utilizado.

Por otro lado, los operadores se decantan por drones pequeños de 4 kg o 1 kg. Son los más cómodos de utilizar y lo suficientemente grandes para poder cargar con una cámara.

Masas máximas y sus autonomías

En el siguiente gráfico es cuantificado el número de operaciones con sus respectivas autonomías por batería. Se optan por las baterías de mayor duración, entre 25 y 30 minutos.

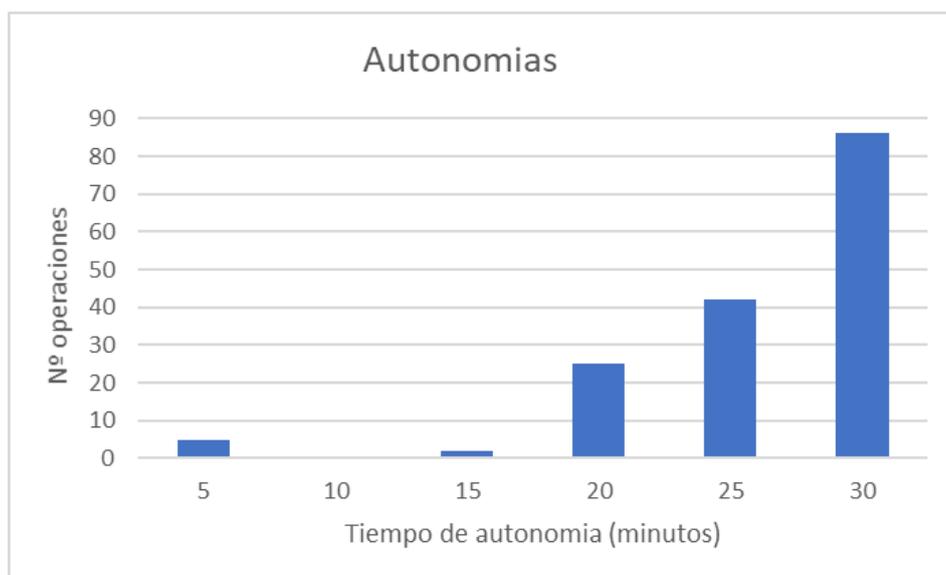


Figura 14: Clasificación de las operaciones UAS en función del tiempo de autonomía de los drones utilizados.

Si se presta atención a las masas máximas de despegue (MTOM) y su autonomía por batería en la siguiente gráfica se puede ver una clara relación entre ellas.

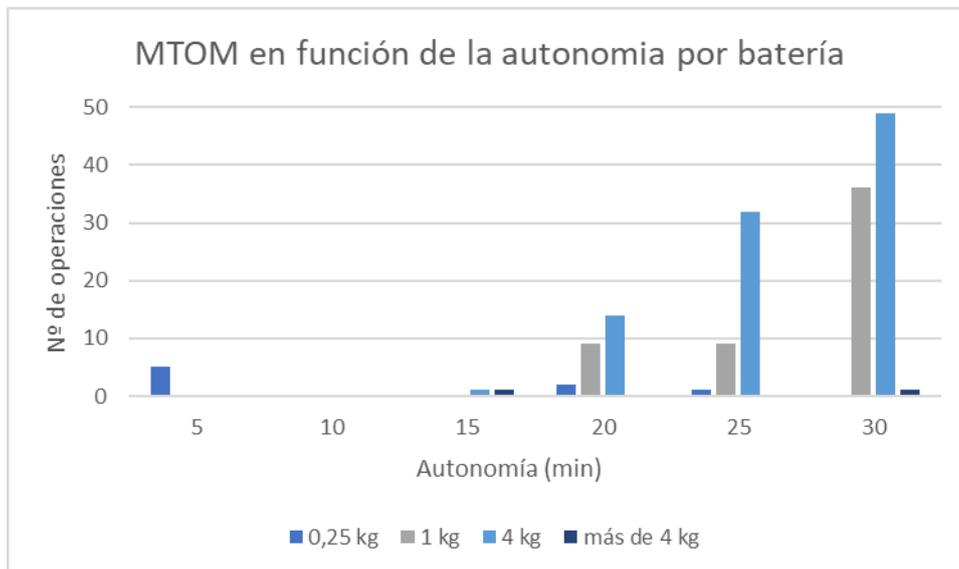


Figura 15: Clasificación de las operaciones UAS: MTOM empleada en función de la autonomía por batería.

La mayoría emplean el mismo tipo de dron de cuatro rotores y 4 kg, aunque algunos de los operadores han añadido alguna carga extra como una cámara o un paracaídas, variando por unos gramos esos 4 kg.

También se ha optado por los drones pequeños de media de 1 kg de peso. En dos ocasiones se utilizó pesos más grandes en las operaciones. La media de las autonomías empleadas oscila en los 25 minutos, pero los drones más pequeños pueden no alcanzarlos quedándose en 5-15 minutos.

2.2. Análisis de la bondad del dato

Durante el proceso de análisis llevado a cabo, se han observado algunas discrepancias entre el contenido de las solicitudes y la normativa vigente.

La siguiente imagen es un ejemplo de una solicitud para operar del 13 al 30 de julio de 2021.

Tipo de operación
Seguimiento obra AVE en la Sagrera del día 13 de julio al día 30 de julio de 2021. Se despejará de distas localizaciones a lo largo del recorrido de las vías del tren entre Parc de la Trinitat y calle Valencia

Fecha de la operación	Lugar de la operación (población y provincia)
13/07/2021	Barcelona (Barcelona)
Hora prevista de inicio de la operación	Hora prevista de finalización de la operación
09:00	20:00
Duración total prevista de la operación	
08:00	

Delimitación del lugar concreto de la operación

Se debe concretar la zona de población por referencias terrestres claras, preferentemente mediante calles y números, y también se indicarán coordenadas del punto central de vuelo en el Sistema de Referencia WGS-84, con anotación DMS (grados, minutos y segundos) y radio de vuelo.

Zona de población	WGS-84	Radio en metros
Vías del tren	41°25'59"N 2°11'42"E	2.500,00

Figura 16: Ejemplo de operación UAS del 13 de Julio de 2021.

En el contenido se indica el objetivo de realizar un seguimiento de las obras del AVE desde Parc de la Trinitat hasta la calle Valencia. Debido a la forma de obtener el alcance en distancia de cada solicitud, un recorrido de aproximadamente 4 km se introduce en el formulario como un radio, en este caso, de 2,5 km.

Como se puede observar en la siguiente imagen, un desplazamiento a lo largo de un espacio segregado y restringido al personal no autorizado (en rojo) se convierte en una gran área de incertidumbre: superficie contenida en el círculo amarillo.

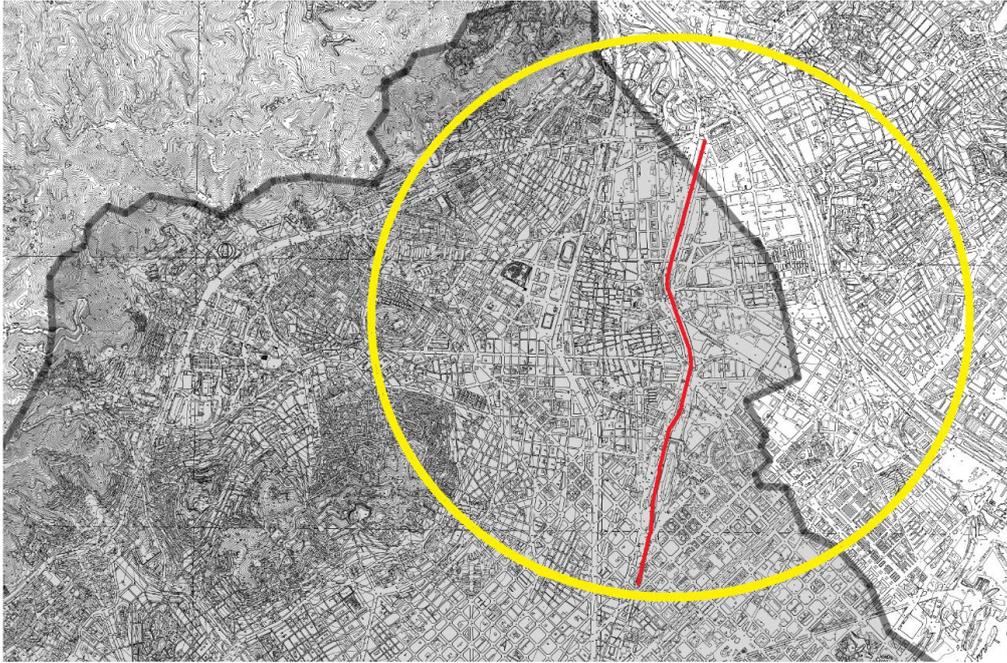


Figura 17: Comparativa del alcance solicitado de la operación contra el recorrido real.

Por otro lado, el tiempo de operación es impreciso y contradictorio; 18 días en un horario comprendido de 9:00 a 20:00 pero especificando 8 horas de vuelo cuando en el horario descrito son 11 horas. Es importante destacar la importancia de poder declarar el número de vuelos a realizar y el tiempo que ocupa cada uno, ya que, como hemos visto, las baterías de los dispositivos empleados no superan los 30 minutos, lo cual limita el tiempo de vuelo. Definir un número de vuelos al día u operaciones por día es importante de cara a establecer una tasación por el uso del espacio público.

En general, es necesario un sistema de recogida de datos más preciso y detallado con el que acotar mejor la zona de operación. El sistema actual está más enfocado al lado aire y menos al lado tierra. Como el área de actuación o las alturas empleadas no están vinculadas a ninguna restricción más allá de la que dicta la normativa vigente, los operadores tienden a declarar más espacio y más altura de la que podrían utilizar en realidad.

Para que sea posible la integración de un espacio aéreo UAS en un entorno urbano, es imprescindible que las solicitudes consten de todos los parámetros necesarios para que las autoridades competentes puedan llevar a cabo un mejor control de tráfico a tiempo real.

De esta forma es posible definir protocolos de protección y segregación de, por ejemplo, áreas comprendidas dentro de una operación tipo específica o certificada si el nivel de riesgo de la misma así lo requiere.

Capítulo III: Diseño de Zonas UAS particulares

A continuación, expondremos el planteamiento y la estructura de la zonificación de las zonas particulares. Se ha establecido la categoría (C0, C1, C2, ...), velocidad, concentración de personas y la evolución temporal como variables importantes para el diseño de las zonas, ya que estas características son influyentes en cómo se comporta la demanda de las operaciones, tal y como hemos visto en el capítulo anterior.

El diseño de este modelo de zonificación se ha hecho basándose en las tendencias vistas en los datos de demanda y en otros proyectos de tráfico urbano de UAS como U-Space. A lo largo de este capítulo, se expondrá detalladamente cómo se ha llevado a cabo este diseño, cómo funciona en un entorno urbano, en qué se ha basado este estudio para definir su área, localización y restricciones correspondientes, así como la forma de interactuar con el resto de zonas establecidas.

3.1. U-Space y otros proyectos

Actualmente, SESAR (*Single European Sky ATM Research*) está desarrollando el proyecto europeo U-Space, el cual tiene como objetivo automatizar de forma eficiente la circulación y monitorización de operaciones con drones con la mínima intervención humana. La estructura de este proyecto contempla la coexistencia de diferentes servicios prestados por distintos proveedores. U-Space [12] será un sistema interoperable, pues está diseñado de forma que todos los países de la unión europea con la tecnología y la infraestructura necesaria formen parte de él.

Dentro de su procedimiento de uso, se contempla un método parecido al empleado hasta ahora en Barcelona; el operador debe remitir el plan de vuelo al sistema de gestión de tráfico de drones (UTM) y ponerse en coordinación con el resto del espacio aéreo (ATM) y las autoridades competentes. Cuando el plan de vuelo es aceptado y se inicia la operación, mediante monitorización el sistema corrige y registra el itinerario del UAS, el cual estará sujeto a cambios proporcionados por la unidad de control de vuelo en todo momento por razones de seguridad, para evitar conflictos con otros usuarios, infraestructuras o personas y para controlar que el plan de vuelo que sigue el usuario es el aprobado por UTM. Más tarde, el operador recibirá la ruta con posibles mejoras y riesgos que haya sufrido el dispositivo durante su vuelo.

Según su concepto de operación, el espacio aéreo de baja cota se divide en tres categorías: X, Y y Z tal y como se puede apreciar en la siguiente figura.



Figura 18: Esquema de la integración del diseño de U-Space en diferentes entornos geográficos.

En las zonas *X* no existe resolución de conflictos. Son zonas poco pobladas o sin habitar como pueden ser playas o zonas montañosas o descubiertas. El piloto es el encargado de mantener la separación y evitar colisiones volando en VLOS o en EVLOS.

Las zonas de categoría *Y* presentan más requerimientos. Áreas como polígonos industriales, áreas con infraestructuras críticas y áreas de baja densidad de población. Es necesario un plan de vuelo aprobado previamente y el piloto debe estar capacitado para realizar las operaciones que se permitan en este tipo de zonas. Además, el dispositivo debe ser geolocalizable y debe existir una estación remota conectada al software de U-Space.

Por último, las zonas *Z* son las más restrictivas. Se dividen en dos subcategorías *Zu* y *Za*. Ambas presentan requerimientos similares a las categorías *Y*. La categoría *Zu* está controlada por el UTM¹⁴ (*Unmanned Aircraft System Traffic Management*), abarca zonas urbanas y pobladas como ciudades y urbanizaciones. La categoría *Za* está controlada directamente por ATM (*Airspace Traffic Management*), es decir, el mismo sistema que controla los vuelos tripulados ya que se sitúa en entornos aeroportuarios.

Una propuesta de diseño interesante se encuentra en Estados. En colaboración con la Universidad de Harvard Unidos [13], Aleksandar Bauranov y Jasenka Rakas desarrollaron un diseño para la circulación de UAS – concretamente, UAM (*Urban Air Mobility*)- en núcleos urbanos mediante vías o conductos aéreos aprovechando las trayectorias que sigue la red de carreteras de la ciudad. Aunque el estudio está dedicado principalmente a movilidad aérea, es importante tener en cuenta sus características ya que se ha diseñado

¹⁴ Ecosistema diseñado para la gestión del tráfico aéreo con operaciones no controladas.

para optimizar el flujo del transporte aéreo, lo cual puede ser extrapolable a este proyecto.

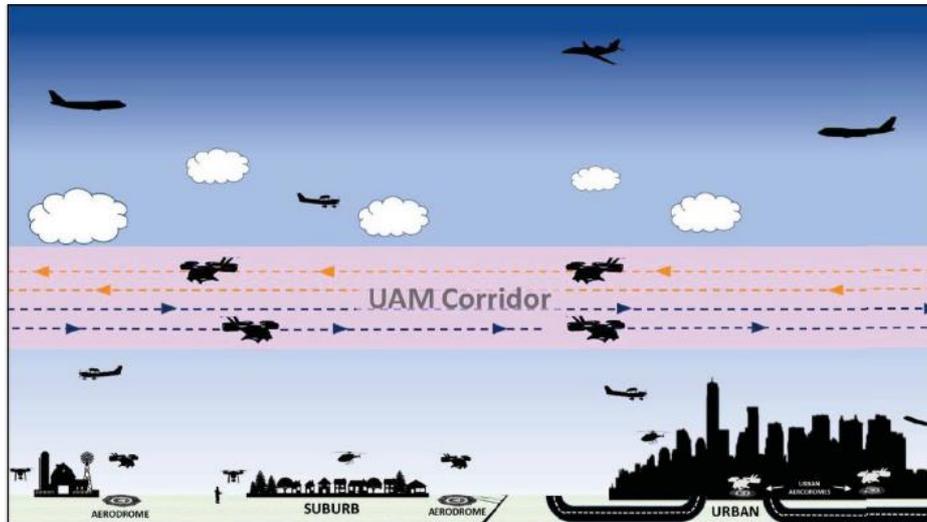


Figura 19: Diseño de corredores para *Urban Air Mobility* propuesto por la Universidad de Harvard.

Actualmente, en China, se contempla el diseño del espacio aéreo abierto a UAS en capas de velocidad en función de la altura a la que se encuentren respecto a la superficie. Reciben propuestas de grandes empresas y potenciales usuarios como Amazon y otras compañías de *delivery* las cuales están interesadas en que proyectos como este salgan adelante.

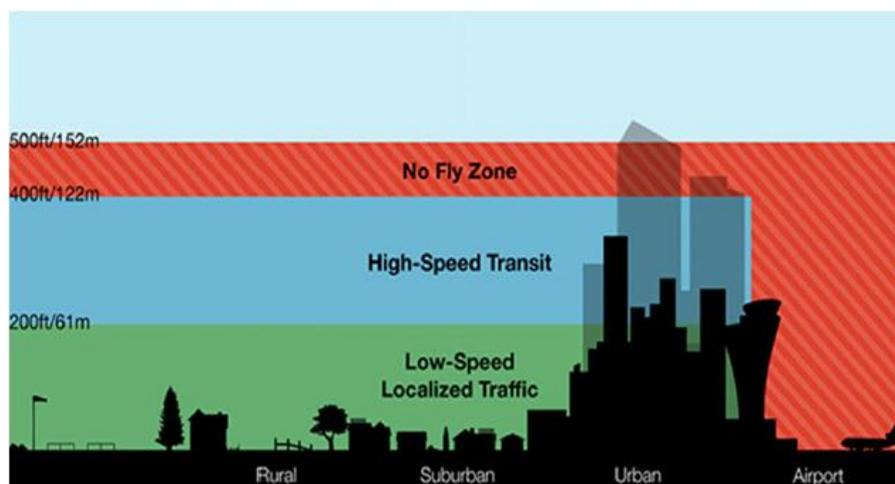


Figura 20: Diseño propuesto por la empresa de transporte Amazon al Gobierno Chino.

3.2. Diseño y procedimientos

Como se puede observar en el siguiente esquema, se ha dividido el espacio aéreo en dos capas, nuestras zonas UAS particulares están conformadas por zonas diseñadas y ubicadas en función de los parámetros y criterios desarrollados a lo largo de este capítulo. Aunque en su interior se permite la movilidad, se han establecido dos tipos de áreas diseñadas con el fin de facilitar el desplazamiento en operaciones punto-a-punto: corredores aéreos en la capa inferior y una capa superior de alta velocidad para mayor fluidez del tráfico.

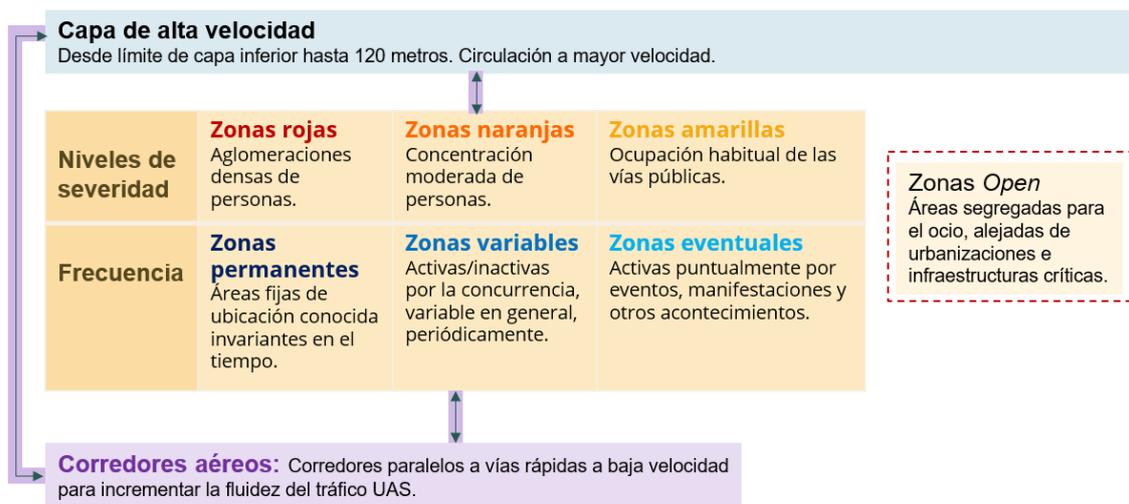


Figura 21: Esquema de las diferentes zonas particulares propuestas, su distribución y su interacción.

Como se ha explicado en el apartado anterior, el criterio para clasificar las zonas X, Y y Z que emplea U-Space se rige en función del riesgo entre otros factores. Estas zonas envuelven diferentes tipos de áreas dependiendo del riesgo que implique operar en ellas.

El diseño propuesto por este proyecto se ha realizado, de manera similar, teniendo en cuenta dos principales factores: riesgo y frecuencia. Lo cual ha dado resultado en la zonificación recogida en el esquema anterior.

Actualmente no se acoge un gran volumen de operaciones, pero se espera un incremento notable en el futuro y esperamos que, gracias a este diseño, el tráfico UAS sea seguro, eficaz y organizado.

3.2.1. Capas del espacio aéreo

Para facilitar las operaciones punto a punto, las cuales serán más abundantes en un futuro, se ha dividido el espacio aéreo desde la superficie hasta los 120 m de altura en dos capas, la capa más inferior se utilizará para operar y para desplazamientos de corto alcance y la superior para circular de un punto a otro

de la ciudad a mayor velocidad. Esta forma de sectorizar el espacio hará que las operaciones sean más eficientes y la circulación más fluida. La capa superficial puede acoger más operaciones estáticas y si se necesita hacer una operación como, por ejemplo, entregar un paquete, la capa superior permitirá al dispositivo circular a grandes velocidades sin poner en peligro las operaciones de la capa adyacente.

3.2.2. Capa inferior

El factor principal en el que se ha basado esta metodología es el riesgo. Según el documento SAE ARP 4754A / EUROCAE ED-79A de EUROCAE (*European Organization for Civil Aviation Equipment*), se contempla el riesgo como “La combinación de la frecuencia (probabilidad) de una ocurrencia y su nivel asociado de severidad”. Esta definición de "riesgo" se conserva a lo largo de este trabajo y se toma como referencia para el método de zonificación diseñado.

Así, se ha efectuado una clasificación de la capa inferior en el espacio público de la ciudad en función de dos factores: la *severidad* representada por la densidad de presencia de personas, y la *frecuencia* o evolución temporal de esta misma. Contrastando las dos, obtenemos una matriz de condiciones en la que existirán, por ejemplo, zonas que sean altamente densas puntualmente, zonas poco densas permanentes, o zonas de densidad media en determinadas épocas del año, entre otras.

Se podría hacer una mejor definición estableciendo un criterio o parámetro como, por ejemplo, el número de personas por metro cuadrado necesario para calificar una zona como densa o muy densa, además de observar el tipo de entorno en el que se sitúa o si contiene en su área patrimonios de la ciudad con valor histórico-cultural.

Las categorías de las zonas particulares no indican prohibición, sino el cumplimiento de diversas restricciones – en función de su clasificación- de los UAS que soliciten operar en ellas.

Clasificación de zonas por severidad

Zonas rojas

La definición de las zonas rojas, se ha llevado a cabo considerando áreas que puedan estar altamente densificadas en algún momento, y teniendo en cuenta la definición de “concentración de personas¹⁵” dada por EASA.

¹⁵ Según EASA: Una multitud. No está definido por un número específico de personas, sino que está relacionado con la posibilidad de que un individuo se mueva para evitar las consecuencias de un dron que está fuera de control. Si un grupo de personas es tan denso que su posibilidad de escapar o alejarse libremente del dron es limitada, entonces se considera que es una concentración de personas.

Contempla casos como eventos culturales, políticos, religiosos o deportivos, pero también parques y playas en días soleados.

Debido a las condiciones bajo las que usualmente se suelen dar este tipo de masificaciones, se deben situar estratégicamente en los lugares donde se dan eventos como conciertos, maratones, fiestas mayores, ferias, etc. Algunas zonas rojas no se han podido definir en espacio, pero sí en tiempo como bien se explicará en los siguientes apartados, ya que algunos eventos como carreras, maratones o manifestaciones no tienen un recorrido fijo en cada ocasión que se celebran y no se puede asignar un área exacta.

Zonas naranjas

Las zonas naranjas se han diseñado para el tráfico moderado de peatones. Generalmente se dan por estaciones del año o meteorología, pero también se han tenido en cuenta lugares en los que no hay una alta concentración de personas cada semana, pero sí varias veces al año. Estas zonas son menos densas que las zonas rojas, pero más que las amarillas, es decir; aunque se contempla tráfico denso de personas, no es lo suficientemente grande como para no tener espacio suficiente en el que dispersarse rápidamente. Un ejemplo de tipo de área en el que podría darse una situación ideal para ser catalogada como zona naranja serían las zonas de playa en verano. Se produce una alta concentración de personas, pero no lo suficientemente densa como para no poder dispersarse en el caso de un peligro potencial producido por un dron.

Con frecuencia estas zonas se solapan con otras, ya que suelen ser complementarias. Para conocer más sobre solapamientos, véase el apartado 3.2.5 de este capítulo.

Zonas amarillas

Se sitúa como zonas amarillas aquellas en las que haya un tráfico leve de personas a lo largo del tiempo. Las restricciones con las que se regirán estas zonas son más permisivas que las zonas naranjas o rojas, pero controladas, garantizando la seguridad hacia los transeúntes en todo momento.

Según la jerarquía descrita en el apartado 3.2.5, una zona roja tiene preferencia de cumplimiento sobre una naranja y siempre sobre una amarilla.

En términos generales, prevalece el más restrictivo.

Clasificación de zonas por frecuencia

Dentro de lo que haya sido definido como zonas susceptibles a estudio, es decir, zonas clasificadas por severidad, se ha discutido su evolución en el tiempo; la frecuencia con la que se activaría cada una de ellas. Teniendo en cuenta la variabilidad de la concentración de peatones en vías públicas, se puede clasificar estas áreas en tres tipos de zonas según el tiempo en el que sea necesario su uso.

Zonas permanentes

Son aquellas que permanecen invariables en el tiempo, tienen una localización fija y definida, ya que su ubicación es siempre conocida. Sus restricciones, sin embargo, se cumplirán o no en función de qué tipo de clasificación por severidad exista en un momento determinado.

Una zona permanente puede estar asociada a una categoría de severidad, y a pesar de que se mantendrá invariable en el tiempo, puede darse la situación de solaparse en determinados momentos con otras zonas variables o puntuales. En cuyo caso, prevalecerá la normativa de la zona más restrictiva.

Zonas variables

Zonas que pueden variar su clasificación por severidad a lo largo del año, según las necesidades y la afluencia de personas que concurra a un lugar. Se diseñan para poder estar activas o inactivas durante periodos de tiempo, los cuales pueden ser diversos, desde meses hasta horarios establecidos como, por ejemplo, diurnos y nocturnos.

Como ejemplo de largos periodos de uso, existe el caso de las zonas de playa en temporada alta para las ciudades de costa. También se plantea la posibilidad de la configuración nocturna, la cual tiene una variabilidad mayor, es decir, una zona variable puede estar activa durante el día y desactivarse desde el ocaso hasta el amanecer.

Durante el tiempo que estén activas, se utilizarán siguiendo la jerarquía de prevalencia establecida. Es decir, podría darse la situación de una zona de frecuencia variable activa durante un determinado tiempo, pero en un momento puntual, dentro del mismo lapso de tiempo, se activa otra zona variable o una eventual. En esta situación, predominará la normativa de la zona más restrictiva.

Zonas eventuales

Las zonas eventuales se han diseñado teniendo en cuenta eventos o acontecimientos los cuales se dan pocas veces al año o puntualmente. No todas las zonas eventuales tienen una localización fija, pues muchos eventos se dan en lugares distintos cada vez, en función de la finalidad y la disponibilidad del espacio público. Este tipo de zonas, brindarán a las fuerzas de seguridad la anticipación suficiente para organizar un entorno seguro para las posibles operaciones que puedan llevarse a cabo en ese momento.

De la misma forma que las zonas variables, las zonas eventuales siguen una lista de prioridad mencionada en el apartado correspondiente a solapamientos en cuanto a restricciones aplicables.

Corredores aéreos en capa inferior

En la capa inferior, se dispondrán para la mayor organización y fluidez del tráfico UAS corredores aéreos con trayectoria similar o paralela al de las calles y avenidas con espacio suficiente para acoger desplazamientos de este tipo.

En las calles seleccionadas, debe haber espacio suficiente para garantizar una separación mínima de 10 m de los corredores a los posibles inmuebles y edificios (o perímetros) ya sean públicos o privados.

En el caso de las vías con espacio suficiente, se dejará en los márgenes el espacio reglamentario de separación mínima, facilitando así la salida de los UAS del tráfico del corredor para realizar paradas puntuales como, por ejemplo, entregas de paquetería.

La extensión vertical de los corredores, es desde los 50 metros sobre la superficie en las vías rápidas¹⁶ hasta la capa superior, y desde los 30 metros sobre la superficie en el resto de vías hasta la capa superior.

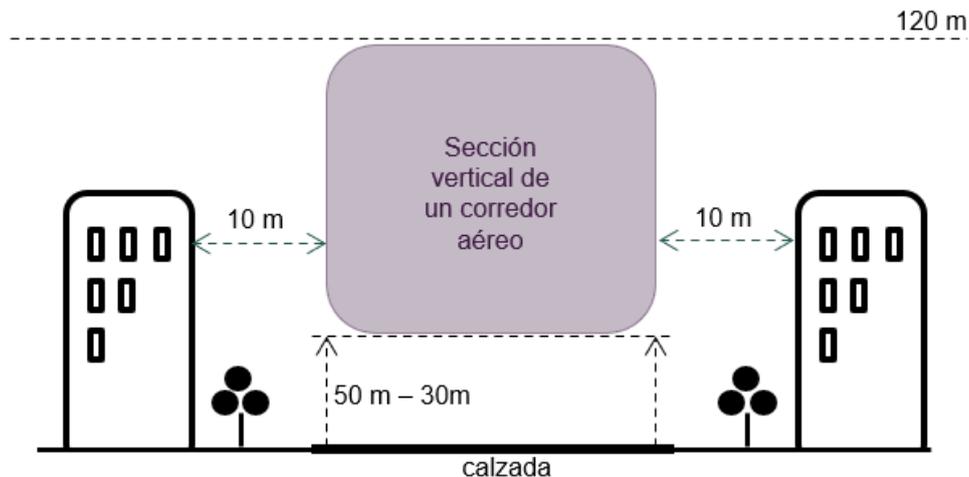


Figura 22: Esquema de la integración de un corredor aéreo en un entorno urbano.

Las vías aéreas, además de facilitar la circulación en la capa más baja, conectarán los diversos puntos de la ciudad y el resto de zonas particulares para desplazamientos de corto alcance u operaciones consecutivas.

Para preservar la seguridad entre operaciones, estos conductos no podrán atravesar ninguna zona particular con mayor prioridad mientras ésta esté activa ni tampoco podrá atravesar zonas *Open*.

¹⁶ Calzadas en las que la velocidad vial máxima será superior a los 60 km/h.

3.2.3. Capa superior

Esta capa se ha destinado única y exclusivamente al uso de operaciones punto a punto de largo alcance a altas velocidades. No estará habilitada para operaciones estáticas debido a las velocidades que deberán alcanzar los UAS, los cuales solo podrán utilizar esta parte del espacio aéreo si cumplen con todos los requisitos de obligado cumplimiento que se dispondrá en la normativa que acoja a este proyecto.

Esta capa se regirá con una normativa y una organización distinta a la capa inferior. Este proyecto se centra en la definición de las zonas particulares más próximas a los núcleos urbanos. No obstante, se ha considerado oportuno mencionar que actualmente existen diversos estudios sobre la mejor forma de organizar un espacio aéreo de operaciones de largo alcance a altas velocidades, y que se lleve a cabo de forma totalmente autónoma, o con la menor intervención humana.

Algunos de estos estudios explican el uso de algoritmos genéticos, como por ejemplo el *Ant colony* [14], propuesto por un conjunto de estudiantes y docentes de diferentes instituciones en China como posibles métodos de organización del flujo UAS.

3.2.4. Zonas “Open”

A lo largo del diseño, se ha reservado un espacio para zonas de categoría “Open”, estas zonas estarán destinadas al ocio para que la población pueda volar libremente sus dispositivos UAS en un espacio restringido y seguro únicamente dirigido a usuarios *Open*.

Se han definido áreas poco transitadas y separadas de edificaciones e inmuebles, de forma que se puedan segregar de las zonas específicas para que el uso de estos espacios sea seguro.

Se determinará un volumen fijo al que, por ejemplo, mediante *geofencing*¹⁷, los dispositivos que operan en categoría específica no puedan acceder a él para no comprometer la integridad física de los ciudadanos aficionados ni tampoco la seguridad de las operaciones específicas.

En el proyecto U-Space se estudia la implantación de *geofencing* como parte del sistema y en 2019 ya se llevó a cabo una demostración con éxito. Se realizó una simulación de rescate en cooperación con extinción de incendios en una zona controlada. Como resultado de esta operación se demostró que el *geofencing* ayuda a prevenir mejor las incidencias y a garantizar la seguridad de las operaciones, ya que los operadores pueden crear planes de vuelo que no entren en conflicto con las zonas de exclusión. El piloto puede recibir una

¹⁷ Perímetro virtual definido en un área geográfica mediante software. Limita una zona en la cual el vuelo no está permitido o está sujeto a unas determinadas restricciones.

alerta cuando el dispositivo se adentra en un área restringida, pero también se puede impedir activamente que un dron cruce los límites de la misma.

Como limitación principal se establecerán las categorías máximas (C0 o C1) que pueden disponer de una zona *Open*, ya que las categorías más pequeñas en masa son las más difíciles de rastrear y las que suponen un riesgo potencial para el resto de operaciones.

3.2.5. Solapamientos entre zonas particulares

Durante el diseño de las zonas específicas, se han contemplado casos de solapamiento, entre las áreas definidas, y entre éstas mismas y los conductos aéreos.

Cuando se den estas situaciones, una jerarquía de prevalencia determinará la zona cuyas restricciones tengan prioridad de cumplimiento sobre las demás. En el siguiente esquema se puede conocer con qué condiciones se rigen estas normas de preferencia.



Figura 23: Jerarquía de prioridades de restricciones aplicables entre zonas por severidad.

En general, el orden de preferencia es gobernado por las restricciones que se contemplan dentro de cada una de las zonas involucradas. No obstante, existen excepciones.

Solapamientos con conductos aéreos

La zona más restrictiva tiene preferencia de cumplimiento sobre las menos restrictivas. Es decir; una zona roja o naranja, cuando esté activa, tendrá preferencia sobre un conducto aéreo. Pero el conducto aéreo tiene prioridad sobre la zona amarilla.

Así, la prevalencia del conducto aéreo sobre el resto de zonas particulares ni se decide por frecuencia sino por nivel de severidad.

En función de la densidad que pueda acoger una zona diseñada, se decide si puede asumir el vuelo de UAS por encima de los peatones.

Solapamientos entre áreas particulares

De forma similar al apartado anterior, los solapamientos entre áreas particulares se resuelven en función de en qué momento está activa qué zona y la categoría por severidad asociada.

Cada ciudad y cada núcleo urbano tiene su propia organización, y es posible que tres áreas particulares se encuentren en un mismo punto en determinado momento. Prevalecerá entonces la categoría que tenga la normativa de uso más restrictiva según la figura número 22.

Solapamientos con zonas Open

En las situaciones que existan solapamientos con zonas Open, ésta última tiene total prioridad, ya que su uso está limitado única y exclusivamente a usuarios Open.

Dentro de estas zonas no existe un orden de circulación establecido, y como se ha mencionado anteriormente, las categorías pequeñas son las más complicadas de controlar y rastrear.

Por ello, se ha diseñado este proyecto de forma que solo se dé la casuística de un solapamiento zona Open con zona amarilla. Se ha evitado la interacción entre zonas rojas o naranjas de localización fija. No obstante, si se da el caso de, por ejemplo, un evento que acogerá un gran volumen de personas en una zona Open específicamente, esta zona roja o naranja temporal, tendrá preferencia por encima de la zona Open.

No obstante, sólo bajo estricta necesidad o imprevisto se debería dar una situación como esta última. Puesto que las zonas Open son fijas con localización conocida, debe haber suficiente antelación a la hora de planificar operaciones e intentar evitar estas zonas.

3.2.6. Restricciones aplicables en zonas UAS particulares

Restricciones a corto plazo

A corto plazo, vemos necesario definir 4 condiciones y requerimientos que deberían incluirse en el protocolo del uso de estos espacios. Con ellas, se establecerán unas restricciones claras para hacer de este escenario un espacio seguro y eficaz en el que operar.

Velocidad

En las zonas clasificadas por severidad se debe establecer una velocidad máxima, razonablemente proporcional al tráfico de personas que se dé en el momento de su activación. Cuantas más personas haya, menor debe ser la velocidad de vuelo para garantizar la seguridad de los transeúntes. Aunque la velocidad de vuelo de UAS en zonas urbanas ahora es limitada, se espera que en un futuro la normativa sea más permisiva.

Este diseño está pensado para optimizar el flujo. A pesar de que el escenario actual no lo permite, en el futuro se espera que, adaptando el marco legal a la demanda comercial, este proyecto sea posible.

Categorías de drones

La restricción por categoría es la principal y la más determinante. Como se ha explicado en el primer capítulo, la clasificación de los dispositivos UAS abarcan categorías desde la C0 (siendo ésta la más ligera) a la C6.

Sin embargo, esta clasificación va más allá de la masa. Las categorías abarcan también sistemas de geolocalización, geoconciencia y autonomía, características las cuales serán imprescindibles para este proyecto.

Por ejemplo, en zonas rojas debe limitarse el uso de drones de categoría no superior a la C2, ya que una caída de categorías más pesadas en zonas de altas concentraciones de personas podría ocasionar daños severos. Para zonas naranjas y amarillas, se permitirán categorías más pesadas. Por otro lado, en conductos aéreos y en la capa superior de alta velocidad, se permitirá el vuelo de C3, C5 y C6, correspondientemente.

Cargas no integradas

En las zonas más densas, se restringirá el transporte de mercancías pesadas o susceptibles al desprendimiento, como podría ser paquetería o, por ejemplo, cámaras no integradas. No se contempla en este apartado como restricción el uso de artículos para la mitigación de posibles daños por impacto o caída.

Coordinación con fuerzas de seguridad y extinción de incendios

Según la zona en la que se opere o el tipo de operación que se quiera llevar a cabo, se requerirá previa coordinación con las fuerzas de seguridad o con los organismos necesarios. Por ejemplo, si se quisiera operar en una zona roja, podría ser necesario el establecimiento de un recinto aislado para el despegue y aterrizaje del dron, de forma que la operación esté segregada de la concentración de personas. De esta forma, se garantiza la integridad de la operación y la seguridad de los ciudadanos.

Restricciones a largo plazo

De cara el futuro, este proyecto deberá proporcionar un espacio seguro y eficaz para la creciente demanda, la cual aumenta exponencialmente. Por ello se contemplan otras variables que deberán ser tomadas en cuenta, ya que con el escenario actual no generan un impacto notable, pero sí lo harán en el futuro.

Contaminación acústica

A largo plazo, es importante el estudio del ruido como factor restrictivo. Se han llevado a cabo diversos proyectos y experimentos en los que se estudia la influencia del ruido de numerables drones y la percepción del oído humano a ellos. Estos estudios nos explican por qué, aunque los drones empleados no generasen más del nivel de ruido aceptado (ANS - *Acceptable Noise Level*) de 85 dB, las frecuencias sonoras son lo suficientemente altas para perturbar el oído humano, y, por lo tanto, el descanso de la población. El oído se muestra más sensible a frecuencias altas, las cuales están asociadas a los sonidos agudos.

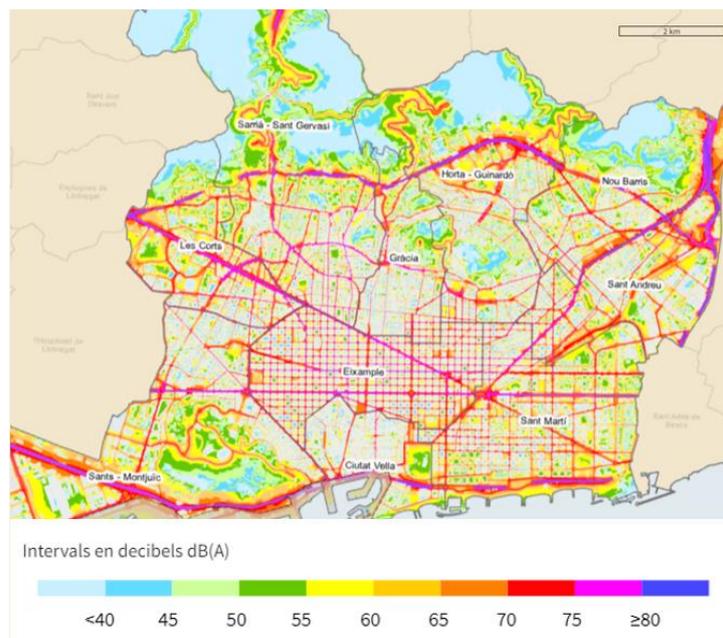


Figura 24: Niveles de ruido de la ciudad de Barcelona en 2019.

En Barcelona, el límite de ruido durante el día está establecido por el marco legal a 75 dB, inferior a los 85 dB de ANS. Sin embargo, podemos observar en las mediciones de ruido de 2019 que nos muestra la imagen anterior, que en determinados puntos esta limitación se excede. En las zonas más céntricas como el Eixample, se alcanzan niveles de ruido similares a los que existen en las autopistas y otras vías rápidas y calles principales. Esto se debe a que son zonas enfocadas al transporte, donde se concentran diversos tipos de vehículos, los cuales incrementan el ruido.

El diseño de los corredores aéreos se ha planteado teniendo en cuenta el criterio de movilidad; las vías que dimensionalmente adopten las mejores condiciones para acoger al tráfico de UAS dirigido a operaciones punto a punto. Se debe considerar que este tráfico aéreo será un añadido al nivel de ruido que existe actualmente en estos puntos y que el diseño de estos corredores está sujetos a cambios de urbanismo. A continuación, se muestra una tabla de los niveles de ruido de los modelos UAS más utilizados en las operaciones recogidas de 2020 a 2021 en el capítulo II. Como se puede observar, algunos modelos exceden el nivel máximo permitido de 75 dB.

DJI models	
Mavic Platinum	70dB
Spark	74dB
Phantom 4 Pro 2.0	76,5dB
Mavic Air	76dB
Mavic Pro	79dB
Phantom 4 Pro	81dB

Figura 25: Modelos más utilizados en las operaciones y sus niveles de ruido a 45 metros.

Uno de estos estudios llevado a cabo por el *Langley Research Center* de la NASA [15] de la mano de Andrew Christian, nos muestra cómo, a pesar de que algunos de los 38 sujetos sometidos al estudio se sintieran más molestos por ruidos graves que por ruidos agudos, los que percibieron con mayor sensibilidad los ruidos agudos pudieron identificar que se trataba de un dron.

Aunque todavía queda un largo recorrido en la contribución del ruido en zonas urbanas altamente pobladas, estos estudios nos dan un indicativo claro de cómo puede ser el futuro de estas operaciones en la ciudad.

Contaminación visual

Así mismo, con el crecimiento de la demanda y la posible congestión del tráfico, es importante tener en cuenta la contaminación visual, ya que es un factor de importancia para los ciudadanos según estudios realizados por varias empresas. Uno de ellos, realizado por Airbus [16] muestra que aproximadamente el 45% de los encuestados siente preocupación sobre el uso

del espacio aéreo urbano y la contaminación visual que puede desarrollarse con el crecimiento de la demanda.

Capítulo IV: Aplicación de las zonas UAS particulares a la ciudad de Barcelona

En este capítulo se desarrolla la integración del diseño planteado en el capítulo III en la ciudad de Barcelona, la cual se divide en los distritos mencionados previamente: Ciutat Vella, Eixample, Sants-Montjuic, Les Corts, Sarrià-Sant Gervasi, Gràcia, Horta-Guinardó, Nou Barris, Sant Andreu y Sant Martí.

Se dispone en la siguiente imagen un mapa general de la Barcelona con sus respectivos distritos. Los límites municipales de Sarrià-Sant Gervasi se extienden hacia el parque natural de Collserola, albergando Vallvidrera y otras zonas boscosas.

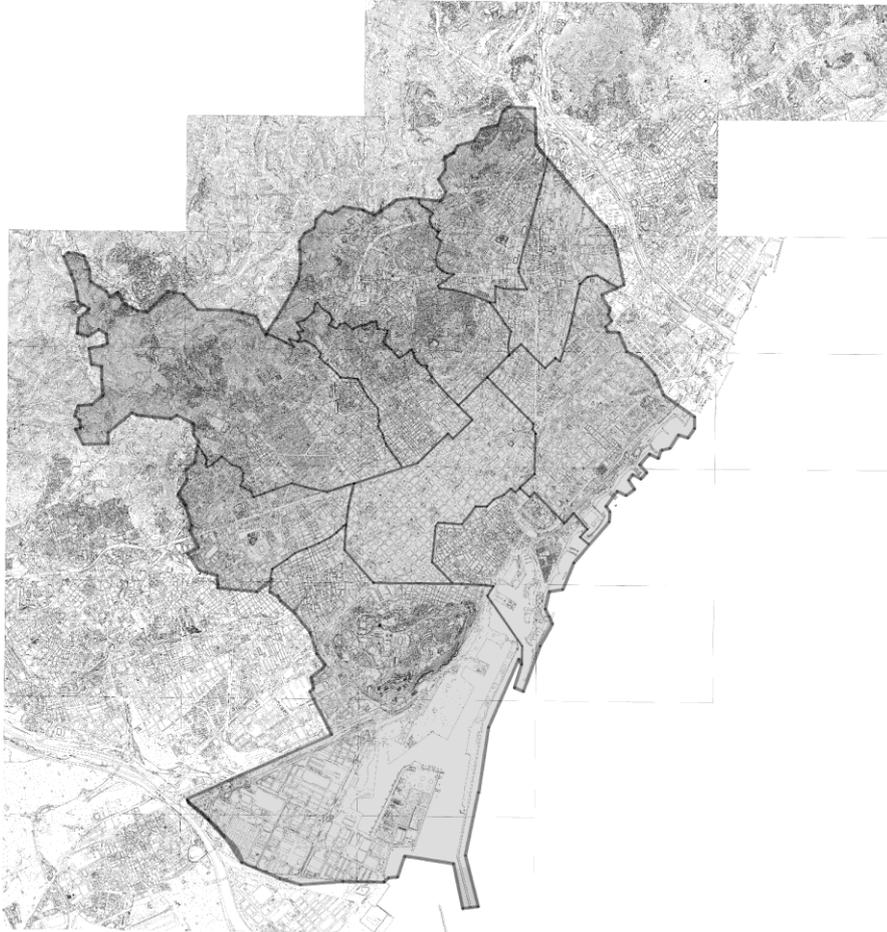


Figura 26: Mapa de la ciudad de Barcelona y sus distritos.

4.1. Zonificación de zonas particulares por severidad

Barcelona es una ciudad multicultural en la que se acontecen todo tipo de celebraciones y eventos, a los cuales se suman diversas actividades sociales y deportivas.

A continuación, se expone el resultado de la incorporación de las zonas particulares por severidad. El diseño planteado se ha integrado completamente, y a pesar de existir ciertos conflictos que se explican en los siguientes apartados, la geografía y la distribución arquitectónica de la ciudad parece acoger satisfactoriamente las zonificaciones diseñadas. Véase el Anexo para una muestra de la incorporación de las zonas por severidad en toda la ciudad.

Zonas rojas

Como se ha expuesto anteriormente, las zonas rojas se destinan a lugares en los cuales se conoce, por precedentes, una gran masificación o concurrencia de personas. Ya sea en localizaciones fijas o a definir con antelación suficiente.

En la figura 26 se puede apreciar un ejemplo de qué tipo de áreas entran en esta clasificación. La Avenida de Reina Maria Cristina y parte de Plaza España son localizaciones conocidas por albergar eventos importantes y las consecuentes concentraciones de personas cada año.

Durante conciertos, festivales y celebraciones -en las que han llegado a concentrarse hasta 40.000 personas-, en toda el área roja se producen grandes masificaciones de personas. Siendo un recinto con solo dos accesos principales, dificultaría el movimiento de los posibles afectados en caso de que un dron perdiera el control.



Figura 27: Zona roja por severidad en Avenida Reina Maria Cristina.

El Fórum de Barcelona y el área habilitada para eventos también acogen grandes masas de personas varias veces al año. Actualmente tiene una capacidad de 65.000 personas, pero de cara a 2022 se espera aumentar su capacidad hacia el noroeste y recibir entre 75.000 y 85.000 personas.

Ambos recintos son ubicaciones que cumplen los requisitos para ser categorizados como zonas rojas, por su aforo, su capacidad y por las características de sus perímetros y cómo estas dificultan la evacuación o el esparcimiento de las masas de personas en el caso de un incidente con un UAS fuera de control.



Figura 28: Zona roja por severidad en la zona de eventos del Fórum.

Además de incluir las zonas de mayor concentración de personas, también se ha categorizado las zonas de reserva natural de Barcelona por el riesgo que implican las operaciones en lugares susceptibles a incendios u otros daños como puede ser el bosque de Collserola.

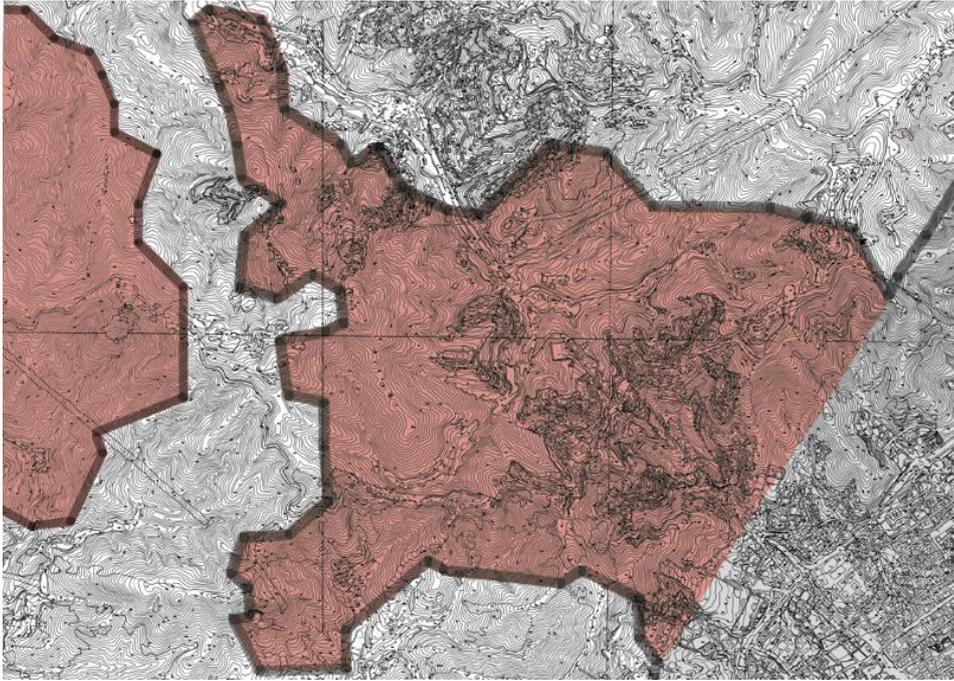


Figura 29: Zona roja por severidad en las zonas verdes de Collserola.

Zonas naranjas

Las zonas naranjas se han reservado para áreas las cuales son altamente concurridas, ya sea por tratarse de lugares turísticos o áreas comerciales.

Con 30.000 metros cuadrados, Plaza Cataluña es la plaza más grande, céntrica y concurrida de Barcelona. De ella nacen Paseo de Gràcia, la Rambla y se extiende el barrio gótico. Esta zona se caracteriza por tener actividad constantemente, con lo cual, son áreas concurridas todo el año, tanto por turistas como por ciudadanos. Este comportamiento hace de estos espacios lo suficientemente transitados para establecer restricciones diferentes a las de las zonas amarillas, pero no tan estrictas como en las zonas rojas, pues no se llegan a concentrar cantidades de personas que pudieran dar paso a una zona más restrictiva.



Figura 30: Zona naranja por severidad en el Barrio Gótico, Plz. Cataluña y Pso. de Gracia.

Figura 31: Zona naranja por severidad en el Camp Nou y el área colindante.

Otra zona de interés es el estadio del Camp Nou y algunas de sus calles adyacentes. Durante la temporada, el estadio es anfitrión de entre 3 y 5 partidos al mes, más otros eventos que se llevan a cabo. Aunque la ocupación varía en función de la afición, su capacidad de casi 100.000 personas debe ser tenida en cuenta dado el movimiento que se genera antes y después de cada evento. Zonas de hostelería y puntos principales de movilidad como metro, autobuses o taxis concentran en diversos puntos a una cantidad de personas considerable.

Las zonas de playa también se consideran zonas naranjas, ya que, en determinadas épocas del año, sobre todo en verano, la población y los turistas se concentran en la costa. Se deberá prestar especial atención los meses de Julio – Agosto, cuando la concentración de personas es más alta.

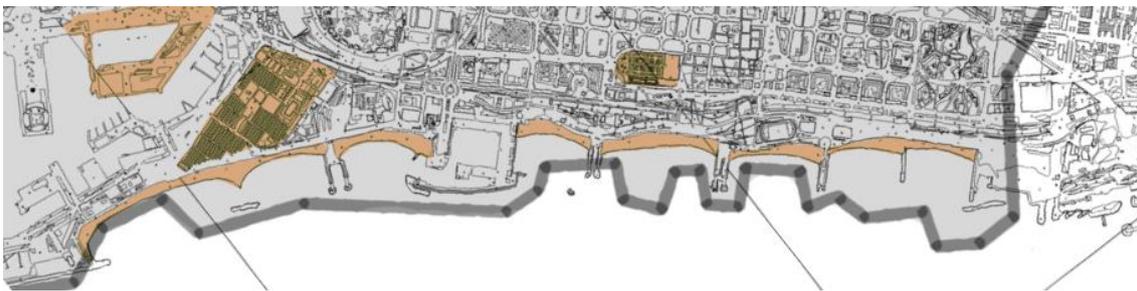


Figura 32: Zona naranja por severidad en las zonas de playa de Barcelona.

Zonas amarillas

Se ha definido como zona amarilla todo el centro de la ciudad de Barcelona. Han quedado excluidas áreas como las zonas industriales, zonas residenciales poco densificadas, o zonas portuarias. Las restricciones con las que se registrarán

estas zonas son más permisivas que las zonas naranjas o rojas, pero controladas, garantizando la seguridad hacia los transeúntes en todo momento.

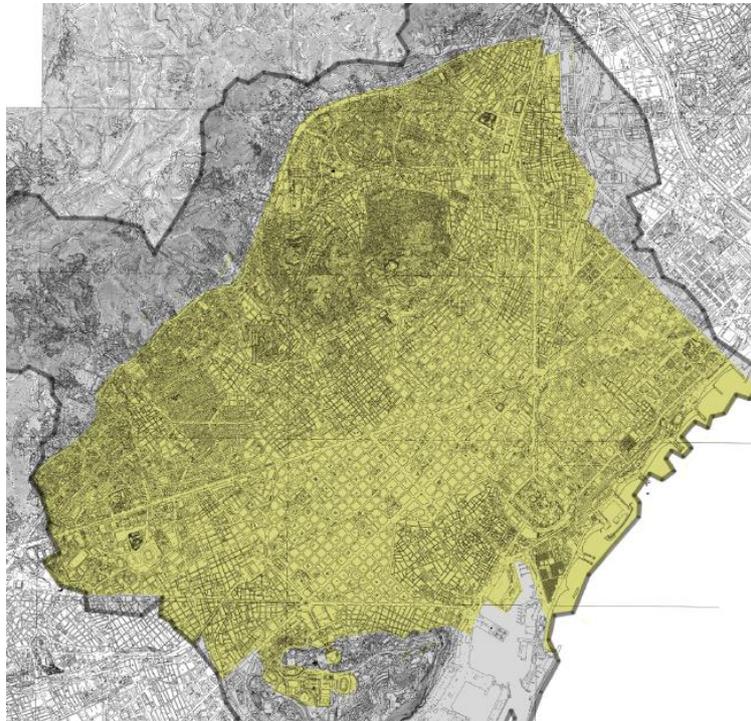


Figura 33: Zona amarilla por severidad en el área urbana más poblada de Barcelona.

En la imagen anterior, se puede apreciar cómo se distribuye esta zona. Abarca casi todos los distritos en su totalidad, y una pequeña parte de Sants – Montjuïc i Sarrià – Sant Gervasi.

4.2. Zonificación de zonas particulares por frecuencia

Zonas permanentes

En la figura 33 se puede ver todas las zonas que han sido calificadas como zonas permanentes, se mantendrán fijas independientemente de su categoría por densidad asociada.

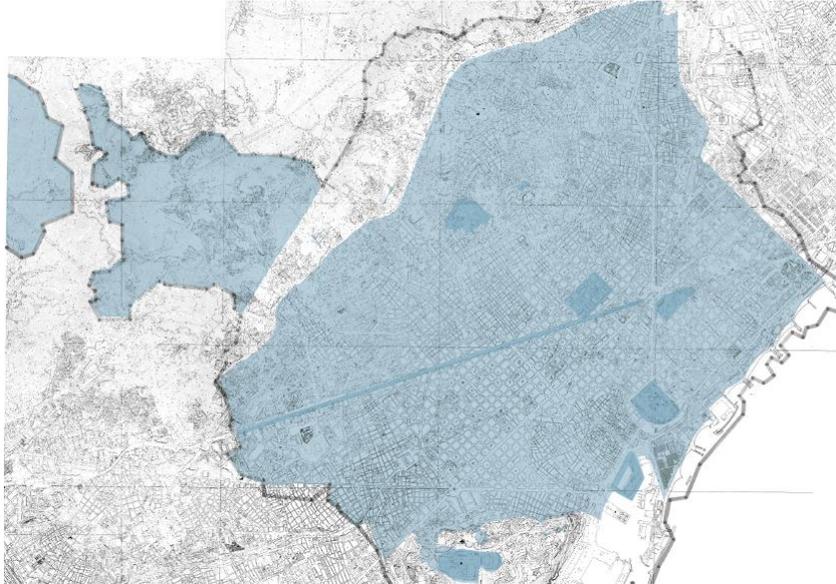


Figura 34: Zona permanente por frecuencia.

Se han incluido tanto la zona del núcleo urbano (zona amarilla) como la avenida Diagonal, el barrio Gótico, Sagrada Família y las manzanas colindantes.

El recinto que alberga las instalaciones deportivas y de ocio de Montjuic se ajusta a las características propias de las zonas atemporales. Se trata de una zona interesante de ser estudiada con más atención ya que concentra varios tipos de zonas, ya sea por densidad o por temporalidad.

Zonas variables

Existen diversas zonificaciones en Barcelona compatibles con la categoría variable.

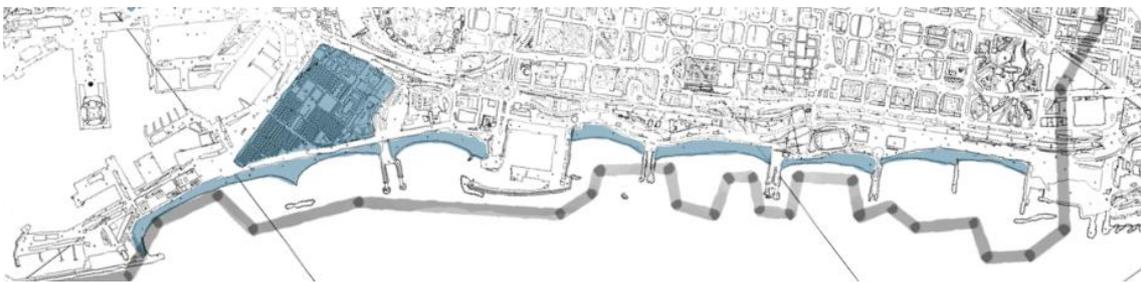


Figura 35: Zona variable por frecuencia en las zonas de playa de Barcelona.

En estos ejemplos se puede apreciar que lugares como el Campus Nord o las playas pueden ser clasificados en esta categoría. Los campus universitarios concentran su mayor actividad durante el calendario escolar, no están concurridos todo el año. Al contrario que las zonas de playa, las cuales acogen al mayor número de personas en verano y en determinados días del año.



Figura 36: Zona variable por frecuencia en la zona universitaria del Campus Nord.

Figura 37: Zona variable por frecuencia en Montjuic.

Algunas zonas deportivas como piscinas y lugares de mayor interés cultural como la zona turística de Montjuic también se clasifican como zonas variables, ya que, por su naturaleza, la concurrencia de personas varía durante todo el año, en función de las temporadas de eventos deportivos o por la época en la que es más propenso practicar determinados deportes. Por otro lado, el museo de arte nacional de Cataluña, la plaza de las cascadas y la fuente mágica son localizaciones muy concurridas en las épocas de turismo.

Zonas eventuales

Estas zonas pueden no tener una localización fija o conocida con la misma antelación que las zonas permanentes. Se encuentran diversos ejemplos en la ciudad.

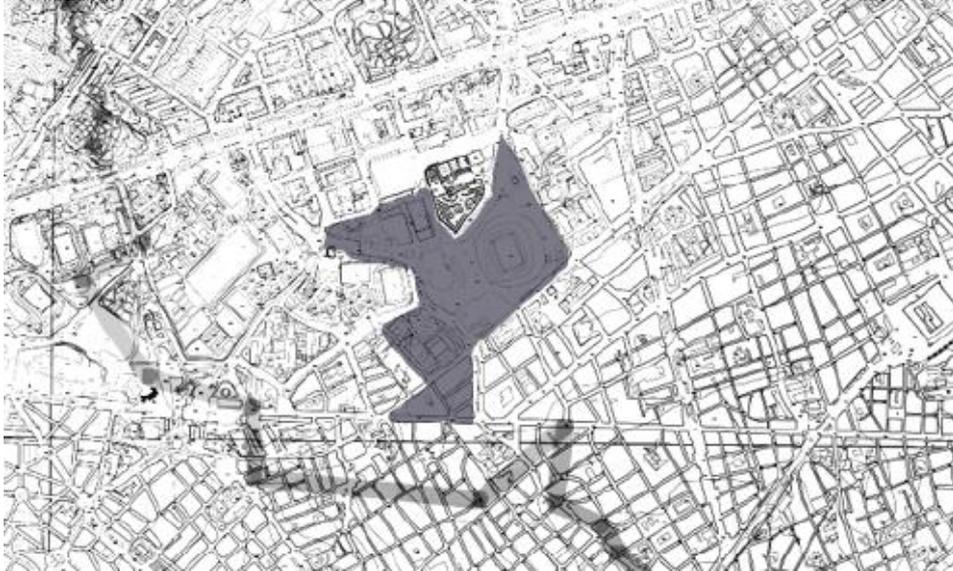


Figura 38: Zona eventual por frecuencia en la zona del Camp Nou y el área colindante.

Como se puede observar, un buen ejemplo de localización fija conocida es la zona del estadio del Camp Nou y toda el área que lo rodea. Esta zona se densifica altamente los días de partidos importantes, como bien es conocido por la población. Aunque es una zona muy turística y atrae visitantes todos los días del año, no se densifica lo suficiente para ser considerada una zona variable ni permanente.

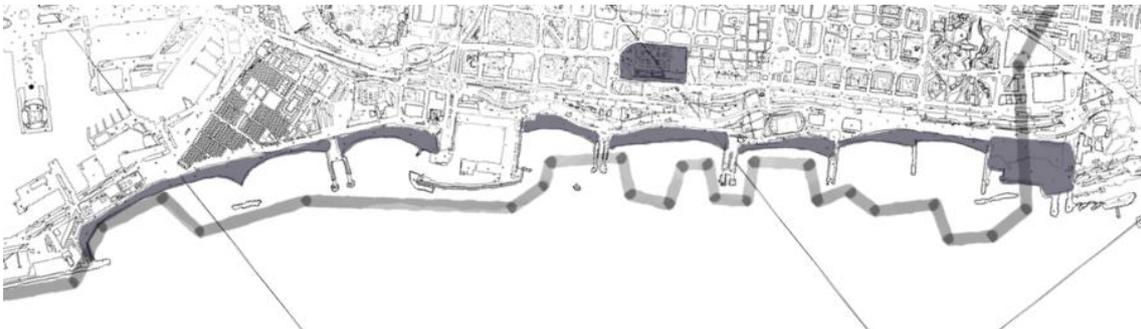


Figura 39: Zona eventual por frecuencia en las zonas de playa de Barcelona.

Otro ejemplo es la zona de playa, antes expuesta como zona variable pero también puede ser tratada como zona eventual. Las zonas de playa se masifican en determinadas fechas como puede ser en año nuevo o en san juan. Es decir, determinados días del año, además de temporadas de verano, acoge una alta concentración de personas. Es importante asignarle la categoría necesaria ya que el desarrollo social no es igual un día soleado de verano que una noche de celebración.

En la siguiente imagen se puede apreciar un ejemplo de zona eventual sin ubicación fija. La ruta, de un color más intenso, muestra el recorrido de la *cur*

de la Mercè de 2019, el área que la envuelve, de color más claro, sería la zona asignada. Es importante proteger de forma adecuada estas zonas, ya que, al ser ubicaciones que en algunas ocasiones se conoce su localización con poca antelación, se debe conocer sus restricciones y la normativa asociada a las operaciones que sobrevuelan o actúan en estas áreas.

Habitualmente, este tipo de eventos son altamente concurridos y pueden ir asociados a zonas de categoría más densas como zonas rojas o naranjas.

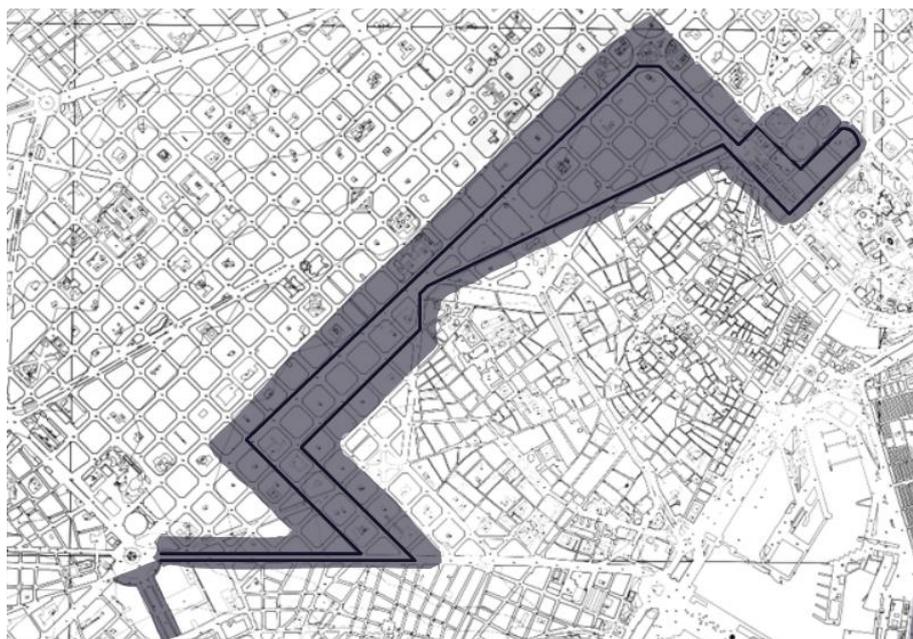


Figura 40: Ejemplo de aplicación de zona eventual por frecuencia en el área de una maratón.

4.3. Zonificación de corredores aéreos

La parte más compleja de este diseño ha sido la integración de los corredores aéreos a las vías rápidas y carreteras de Barcelona. No se han encontrado tantas zonas aptas para su implementación como se esperaba en un principio. El principal inconveniente ha sido el cambio de anchura de las vías en varias ocasiones, lo que ha desembocado en corredores aéreos parciales.

En la siguiente imagen se puede apreciar un ejemplo de interrupción de un conducto aéreo. La autovía B-20 o Ronda de Dalt se adentra en la ciudad de Barcelona con la separación lateral hacia los edificios cercanos y con la anchura suficiente para poder alojar un corredor aéreo. Sin embargo, en varias ocasiones esta anchura se ve afectada y disminuida, ya sea por la reducción de los arcones o por la separación de carriles hacia carreteras superficiales.

Por otro lado, el uso de esta vía rápida como corredor aéreo también se ve afectado debido a segmentos de la autovía que se vuelven subterráneos, con

lo cual, el sobrevuelo de la trayectoria deja de ser un sobrevuelo de tráfico de vehículos y comienza a ser sobrevuelo de personas y peatones. Las distancias y el protocolo de actuación son distintos, de forma que la trayectoria del conducto aéreo debe ser interrumpida.

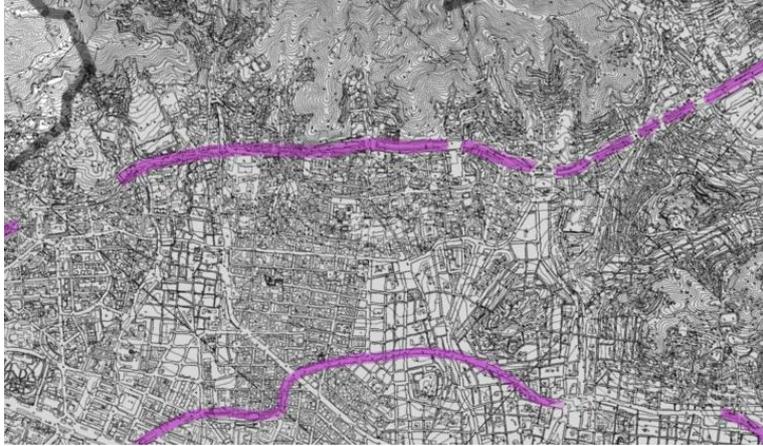


Figura 41: Ejemplo de corredores aéreos interrumpidos por las características viales.

No obstante, la configuración resultante es lo suficientemente notable para mostrar un ejemplo cualitativo de cómo sería su integración en la ciudad con la normativa actual de separación. Se espera que con el tiempo y el avance de las tecnologías de *Collision Avoidance* este mapa se concentre con más corredores aéreos como el que sigue la trayectoria de la autovía B-10 o Ronda Litoral por la zona inferior de Barcelona. Este corredor aéreo consta de total continuidad, lo cual ayudaría a que el tráfico UAS sea más óptimo y fluido en un futuro incremento de operaciones.

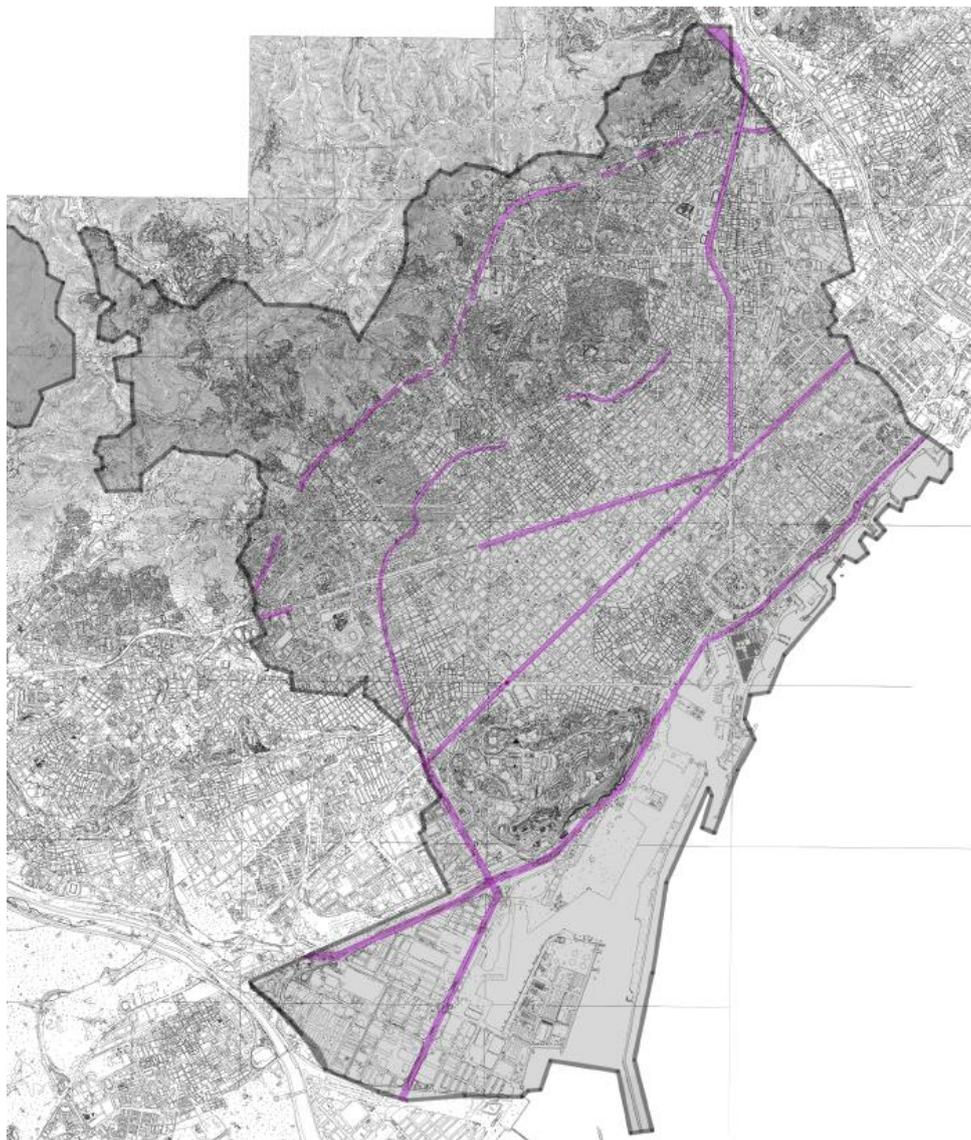


Figura 42: Vista general de la integración de los principales corredores aéreos en Barcelona.

4.4. Zonificación de zonas Open

Se han seleccionado estas zonas de Barcelona por ser las más libres de obstáculos y las más alejadas de infraestructuras críticas e inmuebles de vivienda en los que se pudieran causar graves daños materiales o personales.

En la imagen se muestra las zonas seleccionadas como propuesta de zonas Open; la zona sur-este de Collserola y de una porción de terreno despejado de Montjuic. En el caso de la zona Open de Collserola, la infraestructura crítica más cercana es una torre de alta tensión, a 128 metros del perímetro, en la localización marcada por la cruz roja, como puede apreciarse en la figura 43.

Los inmuebles más próximos están a 36 metros, pero se puede ampliar reduciendo el área verde.

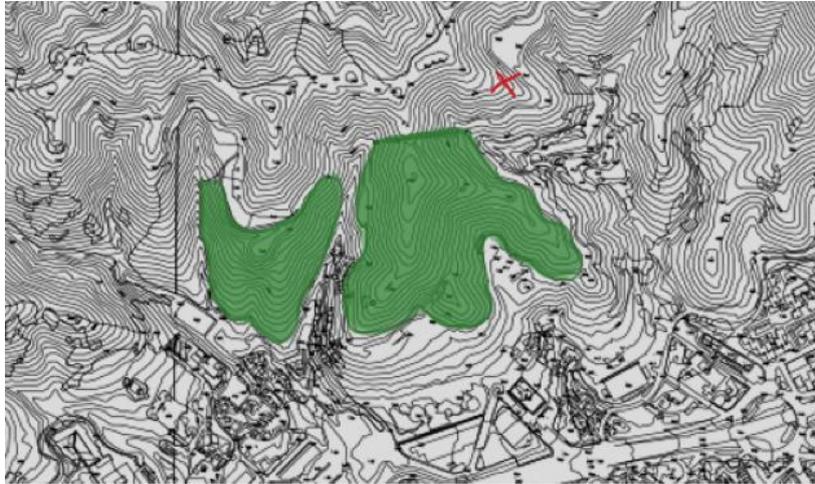


Figura 43: Ejemplo de propuesta de zona Open.

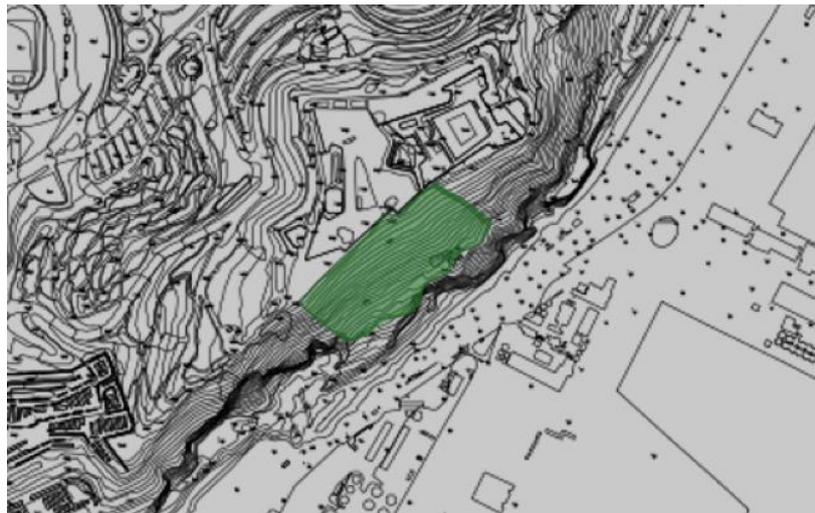


Figura 44: Ejemplo de propuesta de zona Open en Montjuic.

No obstante, se ha considerado seguro y viable establecer la zona de playa como zona de Open temporal, ya que en época de invierno es una zona poco concurrida y cabe la posibilidad de establecerla como apta para categoría abierta. Aunque la separación de la carretera del paseo marítimo y la distancia hacia los edificios es insuficiente según la normativa mencionada en el capítulo I, se trata de una zona segregada y claramente limitada. Se considera una propuesta de zona Open con potencial de poder estar activa o inactiva en función de las necesidades.



Figura 45: Propuesta de zona open en las zonas de playa de Barcelona.

4.5. Zonificación de la capa superior

Aunque en el capítulo previo se ha explicado diversas propuestas de zonificación para la capa superior dedicada al tráfico a grandes velocidades, se ha considerado que en este proyecto y para la ciudad de Barcelona no se disponen de los datos suficientes ni se ha realizado un estudio exhaustivo que establezca un precedente con el que poder diseñar un sistema de vías aéreas que agilicen el tráfico aéreo.

4.6. Integración

Al observar la convivencia de las diferentes zonas y sus categorías, se halla un área de la ciudad en la que se encuentran tres tipos de categorización por densidad. En la zona de Montjuic se observan zonas rojas, naranjas y amarillas. Esto se debe a que una extensión de la zona amarilla de Barcelona es Montjuic y sus instalaciones deportivas.

Por otro lado, varias de ellas albergan actividades por épocas en función de las temporadas deportivas. Además, con los eventos en los estadios de fútbol - como el Estadio olímpico Lluís Companys- y conciertos y otros eventos en el Palau Sant Jordi que reciben un gran número de visitantes; 56.000 y 17.000 respectivamente.

Esta propuesta de configuración permitirá la mejor gestión de las operaciones y la priorización de ellas en función de las necesidades de cada zona en un determinado momento.



Figura 46: Zoom de la integración total de todas las zonas por severidad en Montjuïc.

En una vista general, este diseño se adapta bien a la geografía y la distribución de urbanismo de Barcelona. Se espera en un futuro que el marco legal sea más permisivo y se pueda hacer de esta ciudad un entorno seguro y eficaz en el que operar con drones.

Capítulo V: Conclusiones

A lo largo de todo este trabajo se han analizado diversos aspectos de los dispositivos UAS según la normativa europea, así como su uso en las operaciones demandadas en la ciudad de Barcelona. Estos datos han permitido la creación de una propuesta de diseño para las zonas UAS particulares en entornos urbanos.

Se ha abierto este estudio con una breve exposición de la normativa actual que legisla los vuelos no tripulados, profundizando en las consideraciones técnicas y analizando los factores de su impacto sobre nuestros objetivos expuestos al principio de este documento.

A continuación, se ha procedido al análisis de datos de las operaciones UAS demandadas entre 2020 y 2021. El análisis de este histórico tenía como objetivo establecer parámetros clave los cuales servirían de guía en los capítulos posteriores para así poder diseñar un espacio aéreo UAS adaptado a las necesidades de una gran ciudad. De él se concluye el uso mayoritario de drones de categorías ligeras (equivalentes a C0, C1 y C2), para fines mayormente de filmación, en gran parte en las zonas más turísticas de Barcelona y en las zonas de costa. Haciendo hincapié en el análisis de la bondad del dato, se concluyen discrepancias entre las operaciones demandadas (y aprobadas) y las regulaciones vigentes.

Los operadores envían su marco operativo a la autoridad competente – en este caso, AESA- y las solicitudes pasan por el Ministerio del interior antes de llegar a la policía autonómica (Mossos d'Esquadra) y finalmente estos últimos delegan las operaciones a la Guardia Urbana. AESA evalúa el riesgo en el lado aire de las solicitudes, es decir, el riesgo que presenta hacia el espacio aéreo controlado, independientemente de que éstas supongan un inconveniente en un entorno urbano como Barcelona. La información recibida por la autoridad autonómica no es la misma recibida por la autoridad aérea competente, en muchos casos (como el ejemplo descrito en el capítulo II) los datos son insuficientes, imprecisos y no aportan la información necesaria ni en el formato adecuado para que las autoridades locales y las fuerzas de seguridad puedan tener el control y la prevención precisas para las operaciones a ejecutar en sus propias competencias. La principal conclusión que se llega sobre la recogida de datos es que es necesario un cambio en la entrada de información requerida. No solo que permita evaluar los riesgos en el lado aire sino también en el lado tierra, para así poder garantizar la plena integridad no solo de las operaciones UAS sino también de las personas, edificaciones y urbanismo en general.

Por otra parte, las zonificaciones diseñadas durante el capítulo III se adaptan bien a la ciudad de Barcelona durante su integración en el cuarto capítulo. Las zonas por frecuencia como las zonas por severidad conviven entre ellas sin presentar conflictos por jerarquías de cumplimiento de restricciones ni interferir en zonas aisladas como las zonas *Open* o en zonas de mayor complejidad como los corredores aéreos. Estas zonificaciones permitirán a la ciudad mejorar en la prevención y el control de las operaciones UAS realizadas, ya que en un futuro se espera - como bien se ha comentado en la introducción de

este proyecto – que la demanda de operaciones UAS aumente y el espacio aéreo de baja cota esté preparado para ello.

Durante su integración, si bien se han adaptado a la ciudad no ha sido en la totalidad esperada. Las limitaciones en las dimensiones de la normativa han condicionado la anexión de los corredores aéreos a la ciudad de Barcelona. Como se vio en el capítulo anterior, debido a las dimensiones viales de las vías escogidas, se obtienen conductos entrecortados, con ciertas discontinuidades a lo largo de un mismo corredor aéreo. Esto es consecuencia del urbanismo de la ciudad, el cual se espera que, en un futuro, la legislación se adapte a la demanda creciente y a la consecuente adecuación de la normativa.

Esta propuesta de diseño ha sido presentada a la autoridad competente (AESA), la cual ha valorado positivamente el resultado y estudiará la posibilidad de su encaje en la normativa vigente, así como en futuros proyectos relacionados con esta temática. Según su evaluación, el diseño encaja más y de forma más significativa en el cálculo de riesgo en el lado tierra a la hora de organizar y controlar las operaciones UAS a realizar que en la definición de las zonas UAS particulares como tal. No obstante, este trabajo servirá como precedente para establecer más adelante unas zonas UAS particulares definidas y acotadas que permitan un flujo eficaz de UAS y formen parte de un ecosistema que acoja un gran número de operaciones diarias, convirtiendo así la ciudad de Barcelona (u otros entornos urbanos que cumplan los requisitos adecuados) en un entorno seguro en el que volar y operar.

Actualmente, AESA está modificando la metodología del previamente mencionado SORA para orientar el riesgo en tierra hacia la densidad de población cuantificando en número de habitantes por km² la clasificación por riesgo de las operaciones. Junto con la zonificación propuesta de este trabajo que incluye no solo el factor de densidad sino también el de la frecuencia con la que se desarrolla, se puede obtener un modelo de espacio aéreo que permita mejorar la prevención y el control de las operaciones UAS que se lleven a cabo en entornos urbanos.

Este espacio aéreo resultante combinado con zonas geográficas UAS generales será un entorno adaptado y acotado aplicable con cualquier ciudad que cumpla los requisitos de riesgo y demanda adecuados para su implantación.

Se espera que, en un futuro próximo, con la definición de las zonificaciones pertinentes, se abra las puertas al uso de un espacio aéreo común no solo a instituciones y empresas públicas sino a empresas privadas dedicadas tanto a la logística como al transporte. Como ha sido mencionado en el tercer capítulo, en países como Estados Unidos, Corea del Sur o China ya está implementado un sistema de disposición aérea a convenio con empresas de transporte que permiten aprender diferentes formas de adaptar el espacio aéreo de baja cota a entornos urbanos. Con esta propuesta de diseño se espera dar un paso más al frente del proyecto del del espacio aéreo único y común U-Space, en el que los dispositivos UAS podrán coexistir con el espacio aéreo controlado operando en su propio entorno.

Referencias

[1] "The Drone sector in Europe". - Blanca de Miguel Molina & Marival Segarra Oña. (2018).

[2] "Real Decreto 552/2014, de 27 de Junio." Por el que se desarrolla el Reglamento del aire y disposiciones operativas comunes para los servicios y procedimientos de navegación aérea y se modifica el Real Decreto 57/2002, de 18 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de Circulación Aérea. (Junio de 2014)

<https://www.boe.es/boe/dias/2014/07/01/pdfs/BOE-A-2014-6856.pdf>

[3] "Real Decreto 1036/2017, de 15 de Diciembre." Por el que se regula la utilización civil de las aeronaves pilotadas por control remoto, y se modifican el Real Decreto 552/2014, de 27 de junio, por el que se desarrolla el Reglamento del aire y disposiciones operativas comunes para los servicios y procedimientos de navegación aérea y el Real Decreto 57/2002, de 18 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de Circulación Aérea. (Diciembre de 2017).

<https://www.boe.es/boe/dias/2017/12/29/pdfs/BOE-A-2017-15721.pdf>

[4] "Reglamento Delegado (UE) 2019/945 de la Comisión de 12 de marzo de 2019". Sobre los sistemas de aeronaves no tripuladas y los operadores de terceros países de sistemas de aeronaves no tripuladas. (Marzo de 2019).

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019R0945&from=ES>

[5] "Reglamento de Ejecución (UE) 2019/947 de la Comisión de 24 de mayo de 2019". Relativo a las normas y los procedimientos aplicables a la utilización de aeronaves no tripuladas. (Mayo de 2019).

<https://www.boe.es/doue/2019/152/L00045-00071.pdf>

[6] "Reglamento Delegado (UE) 2020/1058 de la Comisión de 27 de abril de 2020". Por el que se modifica el Reglamento Delegado (UE) 2019/945 en lo que respecta a la introducción de dos nuevas clases de sistemas de aeronaves no tripuladas. (Abril de 2020).

<https://www.boe.es/doue/2020/232/L00001-00027.pdf>

[7] "Reglamento de Ejecución (UE) 2020/639 de la Comisión de 12 de mayo de 2020". Por el que se modifica el Reglamento de Ejecución (UE) 2019/947 en lo que concierne a los escenarios estándar de operaciones ejecutadas dentro o más allá del alcance visual. (Mayo de 2019).

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32020R0639&from=ES>

[8] "Reglamento de Ejecución (UE) 2021/664 de la Comisión de 22 de abril de 2021." Sobre un marco regulador para el U-Space. (Abril de 2021).

[9] "Reglamento de Ejecución (UE) 2021/665 de la Comisión de 22 de abril de 2021." Por el que se modifica el Reglamento de Ejecución (UE) 2017/373 en lo

que respecta a los requisitos para los proveedores de servicios de gestión del tránsito aéreo/navegación aérea y otras funciones de la red de gestión del tránsito aéreo en el espacio aéreo U-Space designado en el espacio aéreo controlado. (Abril de 2021).

[10] “Proyecto de Real Decreto por el que se completa el régimen jurídico para la utilización civil de sistemas de aeronaves no tripuladas, y se modifican diversas disposiciones aeronáuticas civiles.” (Noviembre de 2020).

[11] “JARUS guidelines on Specific Operations Risk Assessment (SORA)”. (Enero de 2019).

[12] “Concept of Operations” – U-Space
<https://www.sesarju.eu/sites/default/files/documents/u-space/CORUS%20ConOps%20vol2.pdf> (Septiembre de 2019).

[13] “Designing airspace for urban air mobility: A review of concepts and approaches” - Aleksandar Bauranov, Jasenka Rakas (Mayo de 2021).

[14] “Recent Research Progress of Unmanned Aerial Vehicle Regulation Policies and Technologies in Urban Low Altitude” - Chenchen Xu, Xiaohan Liao, Junming Tan, Huping Ye & Haiying Lu. (Mayo de 2020).

[15] “Initial Investigation into the Psychoacoustic Properties of Small Unmanned Aerial System Noise.” - Andrew Christian & Randolph Cabelly. *NASA Langley Research Center, Hampton, VA 23681, U.S.A.* (Junio de 2017).

[16] “An Assessment of Public Perception of Urban Air Mobility (UAM).” - Pavan Yedavalli & Jessie Mooberry, Airbus. (2019)

Anexo – Vista completa de la integración de las zonificaciones en la ciudad de Barcelona.

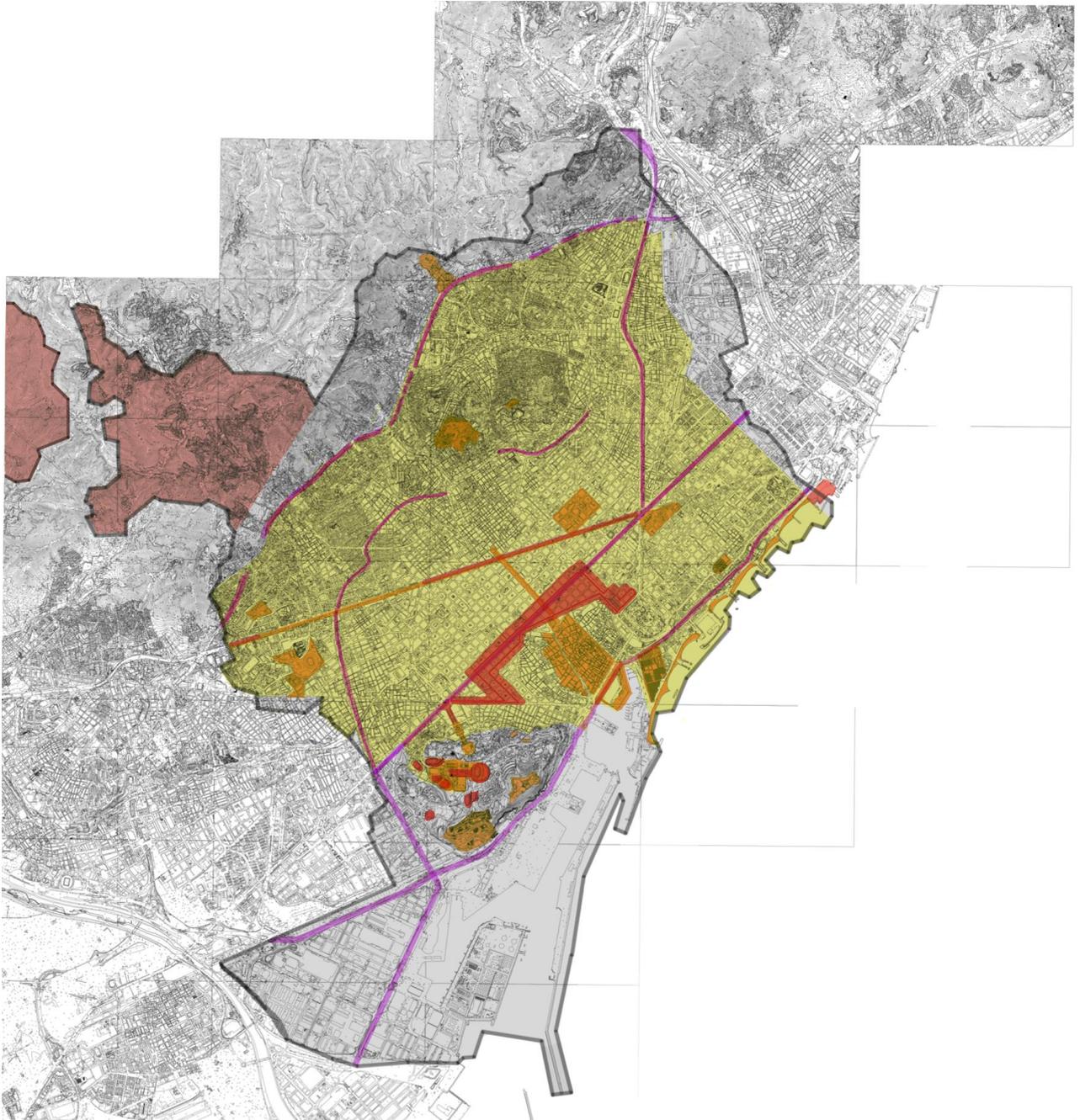


Figura 47: Vista general de la zonificación por severidad

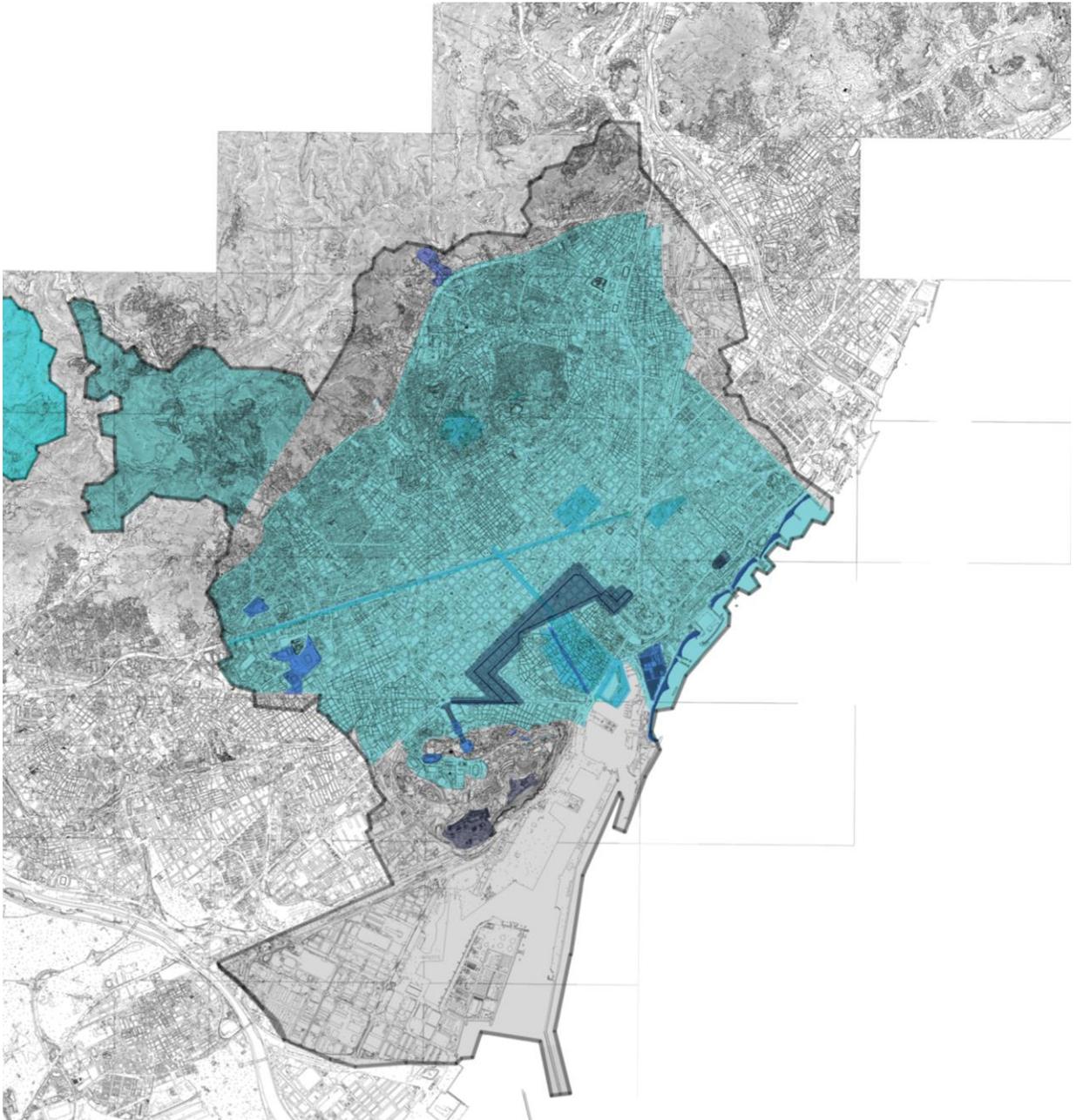


Figura 48: Vista general de la zonificación por frecuencia