



Escola d'Enginyeria de Telecomunicació i
Aeroespacial de Castelldefels

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH

TRABAJO DE FINAL DE GRADO

TÍTULO DEL TFG: Evaluación de la implementación de la UAM en el área metropolitana de Barcelona

TITULACIÓN: Grado en Ingeniería de Sistemas Aeroespaciales

AUTOR: Pio Presas Guitart

DIRECTOR: Jordi Pons Prats

FECHA: 24 de Octubre de 2022

Título: Evaluación de la implementación de la UAM en el área metropolitana de Barcelona

Autor: Pio Presas Guitart

Director: Jordi Pons Prats

Fecha: 24 de octubre de 2022

Resumen

Este proyecto parte de la idea de que la Movilidad Aérea Urbana (UAM) podría definir un nuevo paradigma de movilidad y ser un gran avance para el sector de la aviación. El objetivo es evaluar la posible implementación de esta UAM en el Área Metropolitana de Barcelona (AMB).

En un inicio se ha realizado un breve estudio demográfico de Barcelona y a continuación se han analizado los patrones de movilidad del AMB. Seguidamente, a partir de un estudio de los eVTOLs que se encuentran actualmente en el mercado, se ha elegido uno como el ejemplo de taxi aéreo más adecuado para circular por el AMB.

Una vez vistos los enfoques empresariales que se le pueden dar a la Movilidad Aérea Urbana, se ha procedido a analizar la extensión del área afectada: se han identificado los polos de atracción y con la información obtenida se han propuesto las ubicaciones potenciales de los vertipuertos. Se ha analizado la conectividad de estos vertipuertos de la UAM con otros medios de transporte urbanos.

Gracias al estudio de las zonas restringidas y obstáculos de la zona, se ha diseñado la red de rutas aéreas que seguirán los aerotaxis. Como resultado, se ha podido comparar la ganancia de tiempo que tiene este transporte urbano en comparación con el transporte privado.

Se ha realizado un análisis de la capacidad de esta red de rutas aéreas, para comprobar si esta nueva movilidad aérea urbana no solo es beneficiosa para el individuo ahorrándole tiempo, sino también para el conjunto de la sociedad, mitigando la descongestión en los corredores de entrada a Barcelona y contaminando menos.

Finalmente, se ha hecho una evaluación de los costes operativos de este sistema y del coste que deberá pagar el pasajero por milla recorrida. El coste es destacable, pero se espera que disminuya considerablemente en los próximos años, gracias a los avances tecnológicos.

Title: Evaluation of the implementation of the UAM in the Barcelona metropolitan area

Author: Pio Presas Guitart

Director: Jordi Pons Prats

Date: October 8th 2022

Overview

This project is based on the idea that Urban Air Mobility (UAM) could define a new mobility paradigm and be a breakthrough for the aviation sector. The objective is to evaluate the possible implementation of this UAM in the Barcelona Metropolitan Area (BMA).

Initially, a brief demographic study of Barcelona is carried out followed by an analysis of the mobility patterns in the city of Barcelona. Then, based on a comparative study of the eVTOLs currently available on the market, one has been chosen as the most suitable example of air taxi to circulate in the BMA.

After identifying two possible approaches for Urban Air Mobility, the extension of the affected area has been analyzed. Various elements such as the city poles of attraction and the connectivity with other urban transports have been taken into consideration to find the potential locations for the proposed vertiports.

Once the vertiports were located, a study of the restricted areas and possible obstacles was conducted in order to design the network of air routes that the air taxis will follow. As a result, it has been possible to compare the gain in time that this urban transport has compared to the private transport.

An analysis about the capacity of this network of air routes has been done, in order to check if this new urban air mobility is not only beneficial for the individual, saving time, but also for society as a whole, decongesting the entrance corridors to Barcelona and reducing pollution within the area.

Finally, a study of the operating cost of this transport system and the cost to be paid by the passenger per mile traveled has been made. The price it is remarkable, but it is expected to decrease considerably in the coming years, thanks to technological advances.

AGRADECIMIENTOS

A Jordi Pons Prats, tutor del Trabajo de Final de Grado, por haberme ayudado a escoger tema de TFG y por ofrecerme su ayuda. Y a Albert Puig y Patricia Zapata, por estar siempre ahí.

ÍNDICE

Introducción	1
CAPÍTULO 1. EVALUACIÓN DE LA MOVILIDAD AEREA URBANA EN BARCELONA	2
1.1 Breve historia de la Movilidad Aérea Urbana	2
1.2 Estudio demográfico del Área Metropolitana de Barcelona	4
1.3 Análisis de la movilidad en vehículo privado	6
1.3.1 Retenciones en el Área Metropolitana de Barcelona	6
1.3.2. Coste de la congestión	7
1.4 Enfoques de la movilidad aérea	8
CAPÍTULO 2. ESTUDIO DE LOS VEHÍCULOS DE LA UAM	10
2.1. Enfoque metodológico.....	10
2.2 Volocity.....	10
2.3 Liliium Jet	11
2.4 S4-eVTOL	12
2.5 Supernal-A1 Hyundai	13
2.6 Bell Nexus 4-EX	13
2.7 VX4 Vertical Aerospace	14
2.8 Comparación de prototipos	15
CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DEL ÁREA OPERATIVA.....	17
3.1 Los 3 puntos clave de tráfico de pasajeros	17
3.1.1 Puerto de Barcelona	17
3.1.2 Estación de trenes AVE Estación de Sants	18
3.1.3 Aeropuerto Josep Tarradellas Barcelona-El Prat	19
3.2 Municipio de Barcelona	19
3.2.1 Polos de atracción	20
3.2.2 Conexiones con otros transportes urbanos.....	21
3.2.3 Emplazamiento de vertipuertos.....	22
3.3 Área Metropolitana de Barcelona	27
3.3.1 Polos de atracción poblacionales.....	27
3.3.2 Movilidad de personas por trabajo	29
3.3.3 Puntos de Interés del AMB	30
3.3.4 Emplazamiento de los vertipuertos	31
3.4 Zonas restringidas y obstáculos	36
3.4.1 Zonas restringidas	36

3.4.2 Obstáculos	38
CAPÍTULO 4. RUTAS AÉREAS	40
4.1 Red Interurbana	40
4.1.1 Rutas Aéreas:	41
4.2. Red de Barcelona.....	44
4.2.1 Rutas de la red de Barcelona.....	44
4.3 Ganancia de tiempo gracias a la UAM	46
4.3.1. Fases de vuelo de un eVTOL	46
4.3.2 Comparación del tiempo empleado entre el taxi aéreo y el coche	47
CAPÍTULO 5. CAPACIDAD DE LA UAM.....	50
5.1 Capacidad de pista.....	50
5.2. Capacidad de la red Interurbana de la UAM.....	51
CAPÍTULO 6. LA UAM ECONÓMICAMENTE	53
6.1 Costes operativos.....	53
6.2 Coste operativo por pasajero y milla	54
CONCLUSIONES	56
BIBLIOGRAFIA.....	58
ANEXOS	62

SUMARIO DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Logo de la compañía Los ángeles Airways	2
Ilustración 2 Logo de la Compañía New York Airways	2
Ilustración 3 Evolución de habitantes en Barcelona. Fuente: INE [3]	4
Ilustración 4 Evolución demográfica de la población en el AMB	5
Ilustración 5 Evolución del turismo en Barcelona [5]	5
Ilustración 6 Vías de Barcelona más afectadas por la congestión	7
Ilustración 7 Tiempo perdido por usuario	7
Ilustración 8 Vista de Barcelona bajo la capa de contaminación [8]	8
Ilustración 10 Volocity [12]	11
Ilustración 11 Lilium Jet [14]	12
Ilustración 12 S4-eVTOL [17]	12
Ilustración 13 Supernal A1 Hyundai [18]	13
Ilustración 14 Bell Nexus 4-EX	14
Ilustración 15 VX4 Vertical Aerospace	14
Ilustración 16 Evolución de cruceristas en el puerto de Barcelona [21]	17
Ilustración 17 Evolución de viajeros de AVE del corredor BCN-MAD [23]	18
Ilustración 18 Evolución de pasajeros en el aeropuerto Josep Tarradellas [24]	19
Ilustración 19 Top de atracciones turísticas de Barcelona durante el año 2021 [27]	20
Ilustración 20 Ubicaciones de vertipuertos en la ciudad de Barcelona	26
Ilustración 21 Ubicaciones de vertipuertos en el Área Metropolitana de Barcelona	36
Ilustración 22 Espacios Aéreos Controlados de los aeropuertos LEBL y QSA [34]	37
Ilustración 23 Mapa del relieve del AMB	38
Ilustración 24 Mapa de la red Interurbana de rutas aéreas	39
Ilustración 25 Mapa de la red Interurbana de rutas aéreas	41
Ilustración 26 Rutas Aéreas de la Red de Barcelona	45
Ilustración 27 Las 5 fases de vuelo de un eVTOL	46

SUMARIO DE TABLAS

Tabla 1 Comparación de los enfoques público y privado	9
Tabla 2 Comparación de prototipos eVTOL	15
Tabla 3 Top de atracciones turísticas de Barcelona en el año 2019 [28]	20
Tabla 4 Habitantes de las poblaciones del Vallés Occidental	28
Tabla 5 Estadísticas de movilización de la población de los municipios del AMB	30
Tabla 6 Puntos de interés del AMB [28]	30
Tabla 7 Rutas descartadas de la red de Barcelona	45
Tabla 8 Ilustración 25 Comparación del tiempo consumido entre el coche y el VTOL	48
Tabla 9 Comparación del tiempo consumido entre el coche y el VTOL en hora punta	49
Tabla 10 Comparación del tiempo consumido entre el coche y el VTOL en las rutas más cortas	49
Tabla 11 Coste por pasajero en diferentes rutas	55

LISTA DE ACRÓNIMOS Y ABREVIACIONES

Acrónimo	Significado
UAM	Urban Air Mobility
eVTOL	electric vertical take-off and landing
INE	Instituto Nacional de Estadística
Idescat	Instituto de Estadística de Cataluña
AMB	Área Metropolitana de Barcelona
TMB	Transports Metropolitans de Barcelona
RACC	Real Automóvil Club de Cataluña
ATZ	Aerodrome Traffic Zone
CTR	Controlled Traffic Region
LEBL	Aeropuerto Josep Tarradellas de Barcelona-El Prat
QSA	Aeródromo de Sabadell
IFR	Instrumental Flight Rules
EASA	European Aviation Safety Agency
TWR	Tower Control
ADP	Aéroports de Paris
RATP	Régie Autonome des Transports Parisiens
DEP	Distributed Electric Propulsion
V Stall	Stall Speed
FATO	Final Approach and Take-Off
SA	Security Area
CTP	Capacidad Teórica de Pista
TOPD	Tiempo de Ocupación de Pista durante el Despegue
TOPP	Tiempo de Ocupación de Pista durante el Aterrizaje
SS	Separación de Seguridad

Introducción

Este proyecto pretende evaluar la posible implementación de la Movilidad Aérea Urbana en el Área Metropolitana de Barcelona. El objetivo es analizar la implementación de una red de vertipuertos y rutas para taxis aéreos, acorde a las necesidades del AMB. Para ello, este proyecto se ha estructurado en seis capítulos.

El capítulo uno analiza los factores que hacen del Área de Barcelona un potencial lugar donde implementar la UAM. Entre ellos se encuentra el crecimiento de la población y en cómo está afectando al tráfico urbano.

El capítulo dos consiste en un estudio del mercado de eVTOLs para seleccionar al prototipo más adecuado a la ciudad Condal y alrededores. Se ofrece una comparación entre los prototipos escogidos y se toma una decisión final teniendo en cuenta sus especificaciones y prestaciones.

El siguiente capítulo analiza el área operativa. Se estudian los polos de atracción, la conectividad con otros transportes urbanos y las zonas restringidas y obstáculos. Finalmente, se proponen diferentes ubicaciones para la construcción de los vertipuertos.

La contribución del capítulo cuatro es el diseño de una red de rutas aéreas para los aerotaxis. En concreto, se crean dos redes diferentes, una red para facilitar la movilidad en el interior de Barcelona, y otra red Interurbana para conectar las poblaciones adyacentes con el núcleo del AMB.

Y por último, en los capítulos cinco y seis, se analizan los costes y la capacidad de la red de movilidad aérea urbana propuesta y sus beneficios no solo para el individuo, sino para la sociedad.

CAPÍTULO 1. EVALUACIÓN DE LA MOVILIDAD AEREA URBANA EN BARCELONA

1.1 Breve historia de la Movilidad Aérea Urbana

El concepto de movilidad aérea urbana no es nuevo. Desde 1947 hasta 1971, en la ciudad estadounidense de Los Ángeles, la compañía “Los Ángeles Airways” (Ilustración [1]) usó helicópteros para transportar personas y correo por la urbe. Principalmente, el centro de operaciones era el Aeropuerto Internacional de Los Ángeles (LAX), donde los pasajeros viajaban hasta otros helipuertos de la zona, entre ellos Disneyland Resort en Anaheim y Newporter Resort en Newport Beach. Pero debido a dos accidentes, cesaron sus operaciones unos años después.

De 1953 a 1979, fue “New York Airways” (Ilustración [2]) la que usó helicópteros para transportar pasajeros entre la isla de Manhattan y los tres principales aeropuertos de la ciudad de Nueva York. Este servicio también cesó debido a varios accidentes causados por fallas. [1]



Ilustración 1 Logo de la compañía Los ángeles Airways



Ilustración 2 Logo de la Compañía New York Airways

Actualmente, varios operadores de helicópteros están proporcionando servicios aéreos urbanos de pasajeros bajo demanda. Una de ellas, BLADE, y como ya lo hacía New York Airways, opera entre Manhattan y los tres principales aeropuertos de la ciudad de Nueva York (JFK, LGA y EWR). El costo del vuelo de ida es de \$195 dólares americanos y se aplican cargos adicionales por equipaje de más de 11.3kg. Este equipaje, además, se transporta a través de un servicio terrestre, y has de reservarlo con antelación.

En 2019, la conocida marca americana Uber Technologies, se asoció con HeliFlite, una compañía de helicópteros privados, para ofrecer vuelos desde Manhattan al aeropuerto JFK. El coste del billete oscila entre \$200 y \$225 dólares por persona, pero incluye equipaje con un peso de hasta 22,6kg. [1]

Otra compañía que se lanzó al sector de la movilidad aérea urbana fue Airbus en el año 2016. Dicha compañía lanzó Voom, una plataforma que hacía de intermediaria entre sus usuarios y proveedores de servicios de helicópteros en Sao Paulo, Brasil, y luego amplió el servicio a la Ciudad de México y el Área de la Bahía de San Francisco. Uno de los objetivos de Voom era obtener datos de uso de este tipo de servicio. Debido en parte por el descenso de la demanda por el Covid-19, cuando Airbus consideró que tenía suficientes datos tomó la decisión de cerrarlo. [2]

Estos servicios privados que ofrecen vuelos con helicópteros han sido importantes para los investigadores de la UAM, ya que proporcionaron información sobre las preferencias de los clientes.

Uno de los principales problemas que han tenido han sido sus altos costes operativos, pero los nuevos aerotaxis que proponen los fabricantes, pueden ser la solución.

Como pequeño resumen, actualmente BLADE y UberCopter cobran alrededor de \$30 por persona por milla en Manhattan, mientras que Voom cobraba alrededor de \$10 por pers/milla. Uber Elevate estima el coste de su servicio de helicóptero de pasajeros en alrededor de \$8.93 por pers/milla y ha informado de que el servicio de su taxi aéreo costará aproximadamente \$5,73 por pers/milla, pero disminuirá en el corto plazo a \$ 1,84 al aumentar el uso a través del servicio de transporte privado. Además, Uber Elevate anticipa que los avances en la fabricación y la autonomía disminuirán los costos fijos y variables, lo que resultará en un costo de \$0.44 por pers/milla. [1]

Aunque las estimaciones de costes de proporcionar el servicio UAM varían, las operaciones de eVTOL a corto y largo plazo probablemente operen a costos más bajos en comparación con el servicio actual de helicópteros, lo que resultará en una mayor demanda del servicio UAM.

Múltiples estudios han estimado que los vehículos autónomos compartidos entre 2030 y 2040 oscilan entre \$ 0,29 y \$ 0,49 por persona/milla.

A pesar de estas diferencias, lo que llama la atención es el crecimiento de la investigación en el área de eVTOL en los últimos cinco años, y cómo, rápidamente, algunos fabricantes están avanzando hacia la certificación de sus aeronaves. Parte del interés en diseñar aviones eVTOL se debe al valor que muchos creen que tendrán en los mercados UAM de pasajeros.

A medida que la población en las mega ciudades continúa creciendo, la creciente urbanización y la situación del tráfico están llevando los sistemas de transporte terrestre a sus límites. Llevar la movilidad urbana a la tercera dimensión ofrece el potencial para crear un sistema de transporte más rápido, más ecológico, más seguro y más integrado. Los vehículos aéreos autónomos y los coches voladores ya no son ciencia ficción: ya se están realizando proyectos y pruebas en todo el mundo. Los principales fabricantes de automóviles y aviación, las autoridades municipales y las empresas de tecnología están trabajando en soluciones innovadoras de movilidad urbana.

1.2 Estudio demográfico del Área Metropolitana de Barcelona

Este proyecto busca evaluar la implementación de la movilidad aérea urbana en el área metropolitana de Barcelona. Se considera que la capital catalana podría ser perfectamente una de las ciudades donde se implemente esta nueva tecnología.

Barcelona es la segunda ciudad más grande de España y la décima dentro de la Unión Europea. Si tenemos en cuenta el área metropolitana de Barcelona, esta ciudad pasa a ser la quinta urbe de mayor población en la Unión Europea.

La evolución demográfica anual muestra una tendencia ascendente. En los últimos 20 años, la población de Barcelona ciudad ha aumentado en 150 mil personas (Ilustración [3]).

- Evolución de habitantes en los últimos años:

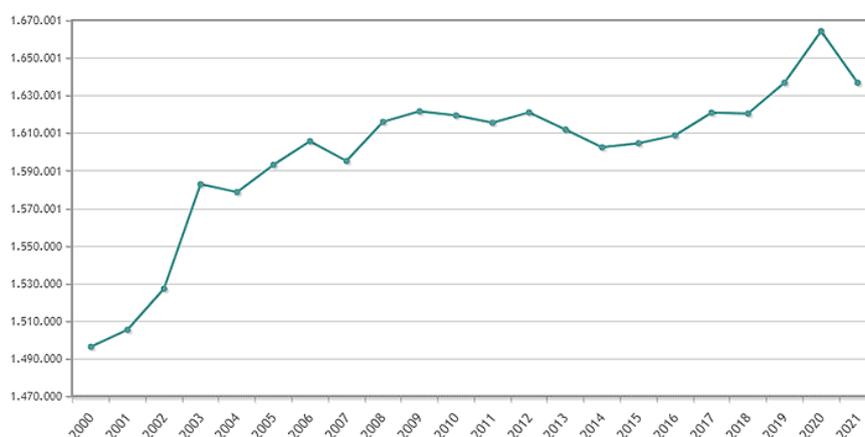


Ilustración 3 Evolución de habitantes en Barcelona. Fuente: INE [3]

Y según un estudio sobre la proyección de población en la comunidad de Catalunya realizado por el Instituto de Estadística de Catalunya (Idescat), se prevé que, para el año 2046, la población aumente hasta los 8,5 millones en todo el territorio, con un importante crecimiento en el área de la ciudad Barcelona. Tan solo la comarca del barcelonés subiría un 3,6% con 81.683 nuevos habitantes. Cabe destacar que esto solo son proyecciones basadas en las estimaciones censales a las que se aplican supuestos sobre la evolución futura de la fecundidad, la mortalidad y la migración. [4]

El crecimiento no es tan acentuado en cambio en el Área Metropolitana de Barcelona. Como se puede observar en la gráfica siguiente (Ilustración [4]), en la última década, la población de esta zona se ha mantenido bastante estable aunque se intuye un ligero crecimiento desde el año 2015. Evidentemente, la caída de población que se aprecia en el año 2020 se atribuye a la pandemia del covid-19 que se sufrió a nivel global. No es una tendencia que vaya a continuar.

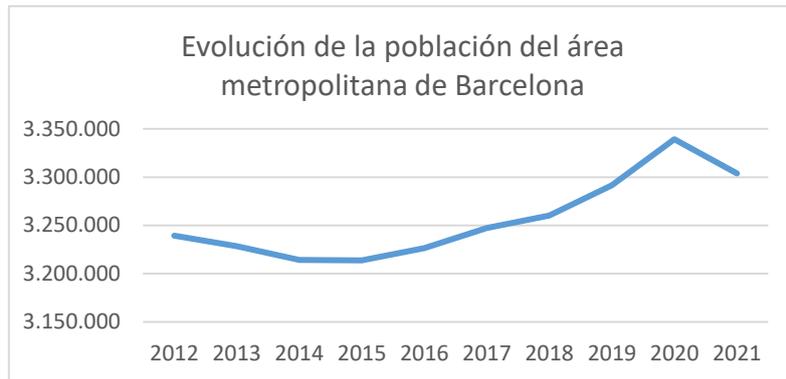


Ilustración 4 Evolución demográfica de la población en el AMB

Desde las olimpiadas del 92, Barcelona se situó en el mapa para millones de personas de los cinco continentes. Los Juegos fueron, sin duda, un gran escaparate para la capital catalana, cuyos innumerables atractivos la han colocado casi tres décadas después entre las 20 ciudades del mundo más visitadas por turistas internacionales, séptima en Europa.

En el año 2019, justo antes de que la pandemia del covid azotara el mundo, Barcelona registró una cifra récord de turistas. Contando solo alojamientos oficiales, a la Ciudad Condal vinieron hasta 11.977.277 turistas y hubo cerca de 33 millones de pernoctaciones en hoteles y pisos turísticos.

Si vemos la tendencia histórica (Ilustración [5]), podemos comprobar que el turismo está en auge en Barcelona, y no deja de crecer.

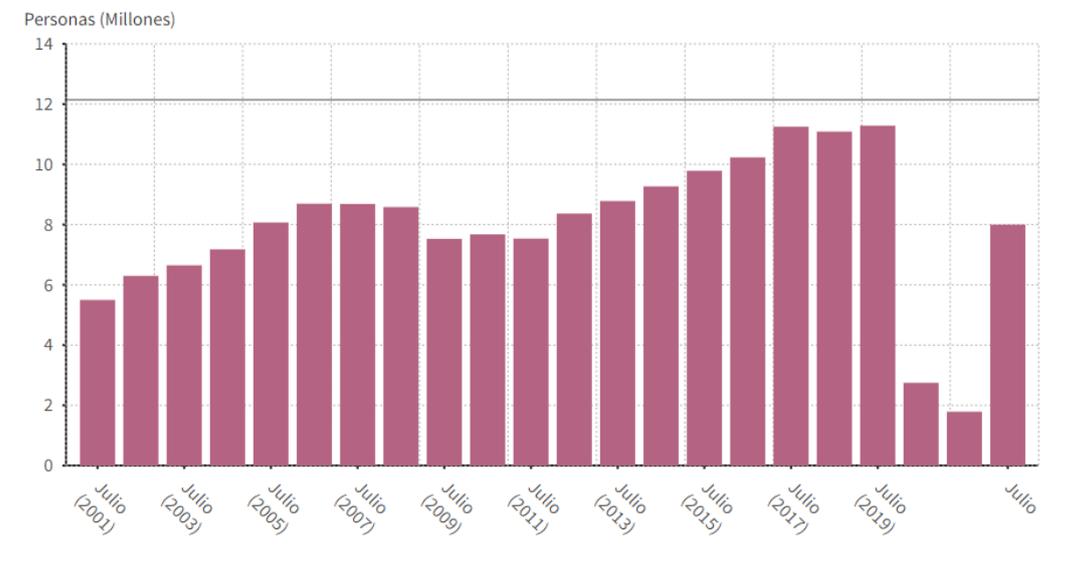


Ilustración 5 Evolución del turismo en Barcelona [5]

Las consecuencias del aumento de población y de la gran demanda turística que tiene la ciudad Condal, empiezan a ser notables, como se explican a continuación.

1.3 Análisis de la movilidad en vehículo privado

Para que este proyecto sea más riguroso, se tomaran datos anteriores a la pandemia, ya que se ajustan más a lo que es la realidad. La pandemia del covid fue una excepción y durante este periodo de tiempo hubo normas y leyes muy estrictas que afectaron mucho a la movilidad en todo el globo y hace que los datos recogidos no sean precisos.

1.3.1 Retenciones en el Área Metropolitana de Barcelona

En una ciudad tan avanzada como Barcelona y con una densidad de población tan elevada, el transporte se convierte en un elemento clave y necesario. A nivel de movilidad urbana, como alternativa al vehículo privado, existen diferentes opciones que van desde el transporte público como podrían ser los autobuses, el metro o el ferrocarril, hasta el alquiler de servicios privados como serían taxis. El principal factor en común que comparten es que todos se desplazan por el suelo. Esto supone una falta de espacio que tiene como consecuencia grandes retenciones.

Terminando el año 2019, el Real Automóvil Club de Cataluña (RACC) presentó un estudio [6] que trataba de analizar la evolución de la congestión en los corredores viarios de acceso a Barcelona.

Según este estudio, de toda la gente que accede al área metropolitana de Barcelona haciendo uso de los corredores viarios, ya sea en vehículo privado o en autobús, más de 320.000 personas sufren retenciones. En los últimos 3 años anteriores a la pandemia mundial del covid, el tráfico aumentó en un 14,6%, pero la capacidad de las infraestructuras viarias y del transporte público metropolitano no ha aumentado.

La congestión empieza a las 06:00 de la mañana y se alarga hasta aproximadamente las 09:15. En comparación con el año 2016, la congestión empieza una hora antes y termina más tarde.

Se calcula que cerca de un 80% de la congestión se concentra en los corredores de Barcelona, el Vallés Occidental y el Bajo Llobregat.

Por lo tanto se pueden identificar las zonas más críticas tanto por la mañana como por la tarde.

Por la mañana, la congestión es mucho más acentuada debido a los horarios estrictos de entrada al trabajo. Las vías más afectadas son (Ver Ilustración [6]):

- B-23 y A-2
- Ronda de Dalt B-20
- C-58 en la entrada a Barcelona
- Ronda del Litoral B-10

Por la tarde, los corredores sufren menos retenciones. Aun así, estas dos vías siguen viéndose bastante afectadas:

- Ronda de Dalt B-20
- Ronda del Litoral B-10



Ilustración 6 Vías de Barcelona más afectadas por la congestión

Los usuarios que circulan por las Rondas de Barcelona (B-10 y B-20) son los más perjudicados, con demoras que superan los 28 minutos entre las 7h y las 8h de la mañana, casi el doble que en 2016, cuando eran 15 minutos.

También las personas que se desplazan de 7h a 8h por el corredor del Baix Llobregat (A-2 y B-23) pierden 24 minutos, prácticamente el triple que hace 3 años. Y los que utilizan el corredor del Vallés Occidental (C-16, C-58 y AP-7) pierden 23 minutos, frente a los 13 que perdían en 2016. [6]

Por poner un ejemplo, un viaje de la estación de Sants al Aeropuerto Josep Tarradellas de Barcelona, que en condiciones normales suponen unos 20 minutos, podría llegar a superar la hora de trayecto.

1.3.2. Coste de la congestión

Además del evidente coste de tiempo perdido a consecuencia de la congestión, también hay que tener en cuenta el coste ambiental.

En cuanto al tiempo total perdido, el resultado es demoledor (Ver Ilustración [7]). Calculando que aproximadamente unas 320.000 personas sufren retenciones, y teniendo en cuenta que las personas que circulan en hora punta pierden al menos unos 15 minutos de media en comparación a si lo hicieran con tráfico fluido, se estima que cada día se pierden unas 63.000 horas en las vías de acceso a Barcelona. Esto representa, anualmente, una cantidad de 15.3 millones de horas.

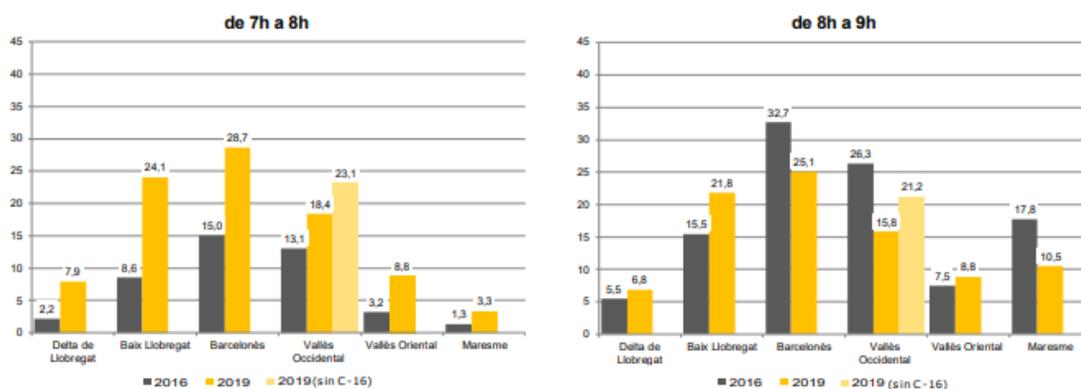


Ilustración 7 Tiempo perdido por usuario

Otro efecto secundario que tienen las congestiones y el tráfico en general, es su componente contaminante.

La contaminación en Barcelona por partículas en suspensión y dióxido de nitrógeno (NO₂) causada en buena parte por el tráfico, llega a triplicar los nuevos valores de referencia de calidad del aire fijados por la Organización Mundial de la Salud (OMS). [7]

Los dos contaminantes más presentes en el aire son las partículas PM₁₀ y el gas NO₂. Estas partículas flotan en el aire y penetran con facilidad en el aparato respiratorio e incluso pueden pasar y fijarse en los vasos sanguíneos. Entorno a un 20% de estas partículas es generado por los motores, los neumáticos y los frenos de los vehículos. El gas NO₂ es un gas irritante que procede en gran medida de la combustión de los vehículos a motor. Se calcula que hasta un 60% puede provenir del tráfico.

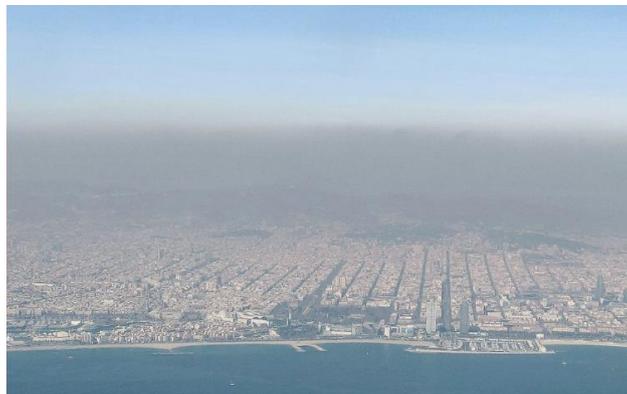


Ilustración 8 Vista de Barcelona bajo la capa de contaminación [8]

La UAM se presenta como una posible solución para estos problemas, ya que ayudaría en lo siguiente:

- Descongestión del tráfico en las vías de acceso a Barcelona
- Mejorar la movilidad
- Reducir el tiempo de transporte
- Disminuir la contaminación

1.4 Enfoques de la movilidad aérea

Existen dos posibles enfoques a la hora de desarrollar el negocio de los aerotaxis según el objetivo. Por un lado, existen empresas que están desarrollando aerotaxis que ya han anunciado que no venderán sus prototipos. Estas empresas plantean una gestión privada de los aerotaxis con un objetivo económico, es decir, buscan un modelo de negocio que les permita maximizar los ingresos de este innovador servicio. Por otro lado, existen empresas que han optado por fabricar y desarrollar proyectos de eVTOLs para vender a organismos públicos. Este es el caso de Volocopter, que ha firmado un acuerdo con el ayuntamiento de París para convertirse en el proveedor de estos vehículos para las olimpiadas de 2024 [9]. Este segundo enfoque tiene como objetivo principal mejorar la movilidad urbana.

Actualmente en aviación también se trabaja mucho con leasing, incluso incorporando tripulación por lo que un tercer modelo es posible, que es el alquiler de los aparatos a terceros que operen el servicio. Este modelo sigue teniendo un enfoque más empresarial, y el operador de las aeronaves decidiría que modelo seguir.

A continuación, se presentan algunas de las diferencias a destacar entre estos dos modelos:

	Enfoque Privado	Enfoque Público
Objetivo	Maximización de ingresos	Reducción de la congestión en movilidad urbana
Público Objetivo	- Turistas - Personas de alto poder adquisitivo	- Población general
Precio	Competitivo en el sector privado (mayor al inicio y menor a medida que aparezca más competencia)	Pensado para que sea asequible para la población general y competitivo con alternativas de movilidad
Capacidad de las naves	Capacidad limitada a números bajos	Búsqueda de la capacidad máxima
Localización Vertipuertos	- Aeropuertos - Hubs de hoteles - Puntos de interés turístico	- Zonas de alta ocupación de puestos de trabajo - Centros neurálgicos de las ciudades - Poblaciones de extrarradio con gran movilidad hacia la ciudad

Tabla 1 Comparación de los enfoques público y privado

Este proyecto plantea un enfoque híbrido. El objetivo principal pertenece al enfoque público con lo que se busca descongestionar los actuales puntos más problemáticos en cuanto a la movilidad de la zona metropolitana de Barcelona. Estos puntos son las vías de entrada a la ciudad por lo que para la localización de los vertipuertos en el extrarradio de Barcelona se tendrán en cuenta los patrones de movilidad de los ciudadanos locales. Sin embargo, debido a la naturaleza turística de la ciudad de Barcelona, en el interior de la ciudad también se tendrán en cuenta los puntos y rutas de interés turístico. Además, se beneficiarán de ello los propios ciudadanos de Barcelona, ofreciendo una alternativa más de transporte urbano, y facilitando la movilidad en el área urbana.

En un futuro, se busca que el transporte con taxis aéreos conviva como uno más entre la oferta de transporte público urbano. Para ello, es imprescindible que se ofrezca a un precio asequible para la población general y que garantice un nivel de conveniencia y seguridad equivalente a los medios de transporte ya existentes.

CAPÍTULO 2. ESTUDIO DE LOS VEHÍCULOS DE LA UAM

A la hora de evaluar la implementación de la UAM en el área metropolitana de Barcelona, es primordial conocer primero el mercado actual de drones, eVTOLS y aeronaves que existen para el posterior diseño de los vertipuertos y de la red de vías aéreas. De esta manera, se podrán diseñar con cierta flexibilidad para abarcar el máximo número posible de diferentes aeronaves que operarán en dichas infraestructuras.

2.1. Enfoque metodológico

Al analizar el mercado, se comprueba que hay una gran cantidad de aerotaxis entre los que elegir para la movilidad aérea urbana. Los vehículos aéreos autónomos y los coches voladores ya no son ciencia ficción. Los principales fabricantes de automóviles y aviación y las empresas de tecnología están trabajando en soluciones innovadoras para la movilidad urbana.

De hecho, existen más de 70 fabricantes en todo el mundo, incluidos Boeing, Airbus y Bell Helicópteros, con más de mil millones de inversión realizada desde septiembre de 2018. [10]

A continuación se realiza una lista detallada de las diferentes aeronaves propuestas y posteriormente se selecciona la más óptima para la zona metropolitana de la ciudad de Barcelona. Se tienen en cuenta las prestaciones del vehículo, como su autonomía y las características de seguridad; las características de su diseño, como el número de pasajeros que pueden llevar. En un futuro se deberán considerar también aspectos económicos como como la disponibilidad en el mercado europeo y los precios de dichas aeronaves.

La UAM es un medio de transporte en desarrollo y su implementación operativa está prevista en un futuro cercano. Esto hace que actualmente existan aún muchos drones que están en fase de desarrollo, mientras que otros ya son totalmente funcionales, aunque en proceso de certificación.

Dadas las incógnitas de futuro que presenta este medio de transporte, se tendrán en cuenta sobre todo los prototipos de aerotaxis que ya son funcionales, aunque también se dará cabida a prototipos no funcionales que puedan resultar viables para este proyecto, que plantea un enfoque híbrido.

2.2 Volocity

Volocopter GmbH es un fabricante de aviones alemán con sede en Bruchsal fundado en 2011. Uno de los pioneros de la movilidad aérea urbana, lleva 11 años trabajando en una alternativa aérea para navegar por la jungla urbana. Hasta ahora, su diseño más atractivo es su taxi aéreo VoloCity (Ver Ilustración [10]), de cero emisiones. Es

la primera aeronave de este tipo que cumple con los exigentes estándares de seguridad estipulados por la Agencia Europea de Seguridad Aérea (EASA). [12]



Ilustración 9 Volocity [12]

De hecho, como se ha comentado con anterioridad, planean lanzar vuelos comerciales en París en el año 2024. Los operadores de transporte público y los aeropuertos de la ciudad francesa han elegido a Volocopter como su socio eVTOL y las pruebas conjuntas ya están en marcha. En diciembre de 2021, en el aeródromo de Pontoise, en París, el aerotaxi realizó su primer vuelo tripulado como un ensayo para los Juegos Olímpicos. [13]

Su propuesta, el Volocity, es una aeronave totalmente eléctrica con 18 rotores y de 2 asientos, uno para el piloto y otro para un pasajero. En un futuro, estos aerotaxis prometen ser totalmente autónomos, y entonces podrá transportar a 2 pasajeros. Tiene la capacidad de despegar y aterrizar verticalmente y alcanza una velocidad de 110km/h.

Los taxis aéreos VoloCity cuentan con múltiples sistemas redundantes, lo que hace que este eVTOL sea muy seguro. Además, los 18 rotores operan dentro de un rango de frecuencia muy bajo, haciendo que estas aeronaves sean hasta cuatro veces más silenciosos que un helicóptero pequeño. [11]

2.3 Lilium Jet

El siguiente prototipo viene de la mano de la compañía Lilium GmbH, una empresa aeroespacial alemana fundada en 2015 por cuatro ingenieros.

El 16 de mayo de 2019, la empresa Lilium reveló que había anunciado su primer vuelo de un prototipo al que llamaron Lilium Jet de 5 plazas. El sistema de propulsión de esta aeronave sorprendió, siendo muy diferente a lo visto anteriormente. El prototipo del Lilium Jet está propulsado por 36 ventiladores con conductos totalmente eléctricos que permiten un despegue y aterrizaje vertical además de un vuelo horizontal eficiente. [14]

Poco después, la compañía confirmó que el Lilium jet que habían estado promocionando durante los últimos dos años era solo un prototipo de prueba y que la compañía sabía que no iba a cumplir con los objetivos de rendimiento necesarios. Presentaron un nuevo eVTOL, que es una versión ampliada del actual Lilium Jet de siete, y tendrá una capacidad de seis pasajeros (Ver Ilustración [11]).

Con esta propuesta, apuestan por un vehículo asequible, seguro, ecológico, produciendo cero emisiones durante el vuelo y, en general, factible a corto plazo.

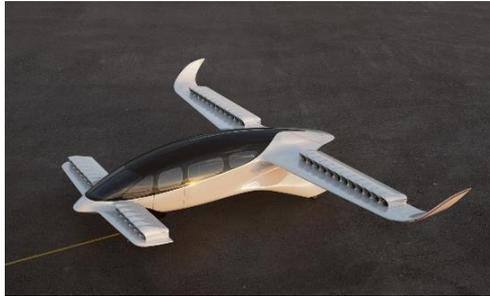


Ilustración 10 Lilium Jet [14]

El avión es entre seis y siete veces más silencioso que un helicóptero convencional. Además, Lilium ha desarrollado un conducto para absorber la mayor cantidad de ruido posible de los motores eléctricos, haciéndolo más silencioso aún. Cada motor es totalmente independiente de los otros, por lo que la falla de una sola unidad no puede afectar a los motores adyacentes.

2.4 S4-eVTOL

El siguiente eVTOL lo desarrolla la empresa americana Joby Aviation. Fundada en 2009 por Joe Ben Bevirt, director ejecutivo e ingeniero jefe, Joby Aviation es una empresa aeroespacial emergente ubicada en Santa Cruz y San Carlos, California (EE. UU.), que está desarrollando eVTOLs rápidos, silenciosos y asequibles. [16]

Empezó con el diseño de un prototipo de 2 plazas llamado s2- eVTOL, pero después de un largo periodo de silencio y secretismo, confesaron que, entre 2014 y 2017, realizaron varios vuelos con un modelo mejorado de 4 plazas llamado S4 eVTOL.



Ilustración 11 S4-eVTOL [17]

No fue hasta el 15 de enero de 2020 que se revelaron las primeras imágenes de la versión de producción del eVTOL de cinco asientos totalmente eléctrico de Joby Aviation (Ver Ilustración [12]). A través de su programa Agility Prime, la Fuerza Aérea de los Estados Unidos (USAF) otorgó la aprobación de aeronavegabilidad al Joby S4, y se espera que ingrese al servicio militar en 2023.

Joby Aviation ha dicho que, habiendo completado la certificación, comenzará operaciones comerciales con el avión S4 eVTOL durante 2024. [17]

2.5 Supernal-A1 Hyundai

El 6 de enero de 2020, Uber y Hyundai Motor Company anunciaron una nueva asociación para desarrollar Uber Air Taxis para la futura red de viajes aéreos compartidos de Uber. Hyundai presentó su nueva maqueta de avión eléctrico de despegue y aterrizaje vertical llamado Supernal-A1 (Ver Ilustración [13]).

El fabricante surcoreano producirá y desplegará los vehículos aéreos, y la empresa americana brindará los servicios de apoyo al espacio aéreo y conexiones con el transporte terrestre. Ambas partes están colaborando en conceptos de infraestructura para respaldar el despegue y el aterrizaje de esta nueva clase de vehículos. [18]

La aeronave tiene múltiples características de seguridad, incluida la propulsión eléctrica distribuida (DEP), que consiste en utilizar varios motores eléctricos repartidos por el avión en lugar de utilizar sólo uno o dos motores eléctricos más potentes, que son más pesados y requieren hasta un tercio más de energía para funcionar. De esta manera aumenta la seguridad, haciendo el sistema más redundante. Pero lo más interesante es que un paracaídas de emergencia también será una característica estándar en caso de en caso de emergencia y para evitar una catástrofe.

En noviembre de 2021, Hyundai explicó que planeaba comenzar la producción en serie de su avión de pasajeros eVTOL en el año 2028.



Ilustración 12 Supernal A1 Hyundai [18]

2.6 Bell Nexus 4-EX

Otro modelo no funcional, pero muy prometedor, es el que presentó el fabricante estadounidense de helicópteros Bell Helicópteros Textron (Ver Ilustración [14]). Los principales objetivos del programa Bell Nexus son la seguridad, la accesibilidad y la sostenibilidad y su modelo dice cumplir con los 3. [19]

La seguridad, que es la principal preocupación para Bell, está garantizada ya que utiliza propulsión eléctrica distribuida y sensores que pueden determinar cuándo fallarán las piezas antes de que ocurra.

En cuanto a la accesibilidad, consideran que su prototipo será asequible económicamente para todo el público y también permitirá que personas de cualquier edad, peso o altura puedan volar en su aeronave.

Y por último cumple con el objetivo de sostenibilidad. La aeronave tendrá cero emisiones durante el vuelo y los niveles de ruido serán bajos.



Ilustración 13 Bell Nexus 4-EX

2.7 VX4 Vertical Aerospace

Este último prototipo de aerotaxi es el eVTOL con el mayor número de reservas que hay en el mercado [15]. Se llama VX4, y lo desarrolla la compañía inglesa Vertical Aerospace, que fue fundada en el año 2016 (Ver Ilustración [15]).

Con velocidades de más de 320km/h, casi silencioso durante el vuelo, cero emisiones y un bajo costo por kilómetro por pasajero, el VX4 ostenta una cartera de más de 1.400 pedidos en firme. Entre sus socios más destacados se encuentran compañías como American Airlines, quien acordó una adquisición de 50 aeronaves con posibilidad de hacerse con 350 unidades adicionales posteriormente. [20]

La aeronave VX4 fue anunciada inicialmente como uno de los modelos eléctricos más capaces de la industria, ya que tiene una velocidad máxima muy elevada en comparación con sus competidores. Su autonomía de vuelo será de 160 kilómetros con sus baterías al 100% de carga.



Ilustración 14 VX4 Vertical Aerospace

Para su desarrollo, la compañía británica contó con empresas tan destacadas dentro del sector aeronáutico como Rolls-Royce, Honeywell o Leonardo.

Actualmente, Vertical Aerospace tiene como objetivo la consecución de la certificación simultánea de la Agencia de Seguridad Aérea de la Unión Europea (EASA) y la Autoridad de Aviación Civil de Reino Unido (CAA), con la finalidad de iniciar los servicios de transporte de pasajeros en ambas regiones a partir del año 2025. [21]

2.8 Comparación de prototipos

A continuación mostramos en una tabla las diferentes prestaciones de cada prototipo que se han analizado para poder compararlos entre ellos.

	Capacidad	Alcance	Velocidad	Tamaño	Ruido	Seguridad
Volocity	2	35 km	110 km/h	11,3 m (Ø)	65 dB	DEP/ Parachute
Lilium jet	6	250 km	280 km/h	13,9 x 8,5 m	72 dB	Safety level 10 ⁻⁹
S4 – eVTOL	5	241 km	322 km/h	10,7 x 7,3 m	35 dB	DEP
SA1 Hyundai	5	97 km	290 km/h	15 x 10,6 m	60 dB	DEP/ Parachute
Bell Nexus	5	97 km	241 km/h	12,2 x 12,2 m	70 dB	DEP
VX4	5	161 km	320 km/h	15 x 13 m	35 dB	DEP

Tabla 2 Comparación de prototipos eVTOL

Se puede obtener una lista más completa de las diferentes aeronaves y sus características, en la página *evtol news* [20]. También están recogidas en el Anexo 1.

Como se puede observar en la tabla adjuntada, prácticamente todas las aeronaves escogidas tienen una capacidad de 5 o más pasajeros. Se han descartado con anterioridad las que solo tenían capacidad para 2 o menos pasajeros ya que no tendrían suficiente impacto como para marcar una diferencia en la congestión del tráfico en las grandes urbes. Es por ello que, aunque sea el taxi aéreo más testeado del mercado, y el que vaya a salir con más presteza en él, se descarta el Volocity de la compañía de Volocopter.

En cuanto al alcance que tiene cada aeronave, se separan en 2 grupos. Las que superan los 150km de autonomía, como son el Lilium Jet, el S4 de Joby Aviation y el VA-X4, y las que no superan los 100km, que son la propuesta de Hyundai SA-1, y el prototipo de Bell Helicópteros. A pesar de esta desigualdad, no se tendrá en cuenta esta especificación a la hora de comparar, ya que el proceso de cambiar una batería es suficientemente corto como para no ser determinante. Las baterías de

recambio pueden cargarse en el mismo vertipuerto, y el proceso de intercambio no supera los 5 minutos. [11]

La velocidad máxima que pueden alcanzar estos prototipos en cambio sí que puede tener un factor importante en la movilidad aérea urbana. A más velocidad, menos tiempo invertido en la ruta y más viajes puede realizar cada aerotaxi. Al observar la tabla, se observa que hay dos aeronaves que destacan sobre las demás. La más rápida es el S4 de Joby Aviation, con una velocidad sorprendente de 322km/h. Le sigue de cerca el VA-X4 de Vertical Aerospace, con una velocidad máxima de 320km/h.

Otro factor muy importante que puede marcar la diferencia a la hora de escoger el prototipo más adecuado para la UAM en el área metropolitana de Barcelona, es el tamaño de cada aerotaxi. Aunque no sea determinante en cuanto al número de pasajeros que puede transportar, sí que lo es a la hora de construir los vertipuertos. El centro de Barcelona carece de mucho espacio y sus vertipuertos no serán muy extensos. Cuanta más pequeña es la aeronave, más se pueden estacionar en un solo vertipuerto, aumentando así el flujo de aerotaxis sin necesidad de construir vertipuertos más grandes.

Para que funcione la movilidad aérea urbana, es importante que el impacto social sea el menor posible. Y por eso todas las empresas que están desarrollando aerotaxis ponen mucha importancia en el ruido que producen. El Lilium Jet y el Bell Nexus son de las aeronaves más ruidosas que hay entre las seleccionadas, con unos 70dB. Para que se entienda, 70 dB podría compararse con una conversación en voz muy alta, griterío o tráfico intenso de ciudad. Los prototipos más silenciosos son el VA-X4 y el S4 de Joby Aviation, que no superan la potencia de 35dB. Es el sonido que se escucha dentro de una biblioteca.

Aun así, el sonido de los demás prototipos en una altura de crucero seguiría siendo imperceptible para los ciudadanos de a pie. El ruido de las aeronaves solo tendría un impacto en los vertipuertos. Por tanto, consideramos que ninguno de los prototipos deja de ser válido para la UAM a causa de este factor.

La seguridad, siendo clave para cualquier transporte urbano, y muy necesaria para la aceptación social, tampoco resulta ser un factor determinante, ya que todos los prototipos cumplen con los estándares de seguridad estipulados por las autoridades. Además, todos tienen el sistema de propulsión eléctrica distribuida DEP, que como se ha comentado anteriormente, consiste en utilizar varios motores eléctricos repartidos por el avión en lugar de utilizar sólo uno o dos motores eléctricos más potentes, que son más pesados y requieren hasta un tercio más de energía para funcionar.

En conclusión, después de hacer algunos descartes, las dos aeronaves que se adecuan más a las necesidades del Área Metropolitana de Barcelona son el S4-eVTOL de Joby Aviation y el VA-X4 de Vertical Aerospace. Pero al ser considerablemente más pequeña la primera, finalmente se decide que este proyecto se basará en el análisis de la movilidad aérea urbana en Barcelona a partir del uso del S4-eVTOL de Joby Aviation.

CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DEL ÁREA OPERATIVA

Este proyecto abarca toda el área metropolitana de Barcelona, que engloba hasta 36 municipios. Para facilitar el trabajo a realizar, este apartado se separa en dos partes principales: la ciudad de Barcelona, y el resto de municipios.

Una tercera parte consiste en el análisis de los tres centros más importantes de conexión de pasajeros que vienen del extranjero a Barcelona.

3.1 Los 3 puntos clave de tráfico de pasajeros

En Barcelona se pueden identificar tres grandes infraestructuras con un gran flujo de pasajeros. Son las principales puertas de entrada y salida a Barcelona, si no tenemos en cuenta las carreteras. Los 3 puntos clave del Área Metropolitana de Barcelona de tráfico de pasajeros son el aeropuerto de Barcelona, el puerto de Barcelona y la estación de tren de AVE de Sants.

3.1.1 Puerto de Barcelona

La Ciudad Condal acoge el puerto europeo que más cruceros recibe, por delante de las Baleares y Civitavecchia, en Italia. Además, el puerto de la capital catalana, justo antes de la pandemia, ocupaba el quinto puesto en el mundo por detrás de Miami, Fort Lauderdale, Cañaveral y Cozumel.

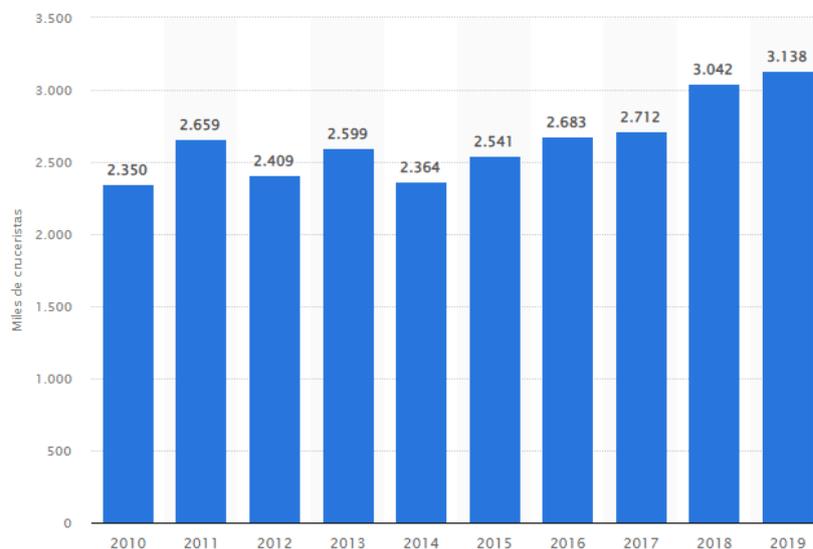


Ilustración 15 Evolución de cruceristas en el puerto de Barcelona [23]

Como se puede observar en la anterior gráfica (Ver Ilustración [16]), el número de turistas que llega a Barcelona por mar tampoco deja de crecer. En el año 2019 Barcelona alcanzó su récord histórico, con un total de 3.138.000 pasajeros. Se prevé un crecimiento del número de cruceristas hasta llegar a los 3,5 millones de pasajeros y 900 cruceros anuales en 2030.

Además del número de personas que desembarcan de cruceros, también hay que tener en cuenta a los que llegan en Ferry. En el año 2019, llegaron en ferry otro total de 1.490.000 pasajeros. En total, por el puerto de Barcelona pasaron 4.628.000 pasajeros. [24]

Como es de esperar, la actividad de cruceros se concentra entre mayo y octubre, y hay días en los que se llegan hasta los 25.000 cruceristas diarios. En Agosto desembarcaron unos 726.000 turistas.

3.1.2 Estación de trenes AVE Estación de Sants

Otro método de transporte muy utilizado para venir a Barcelona es el tren Renfe de Alta Velocidad Española, es decir, el AVE. El 20 de febrero de 2008 entró en servicio el tramo Roda de Bará-Barcelona, haciendo posible viajar entre Madrid y Barcelona (659 km) en un tiempo aproximado de 2h30. Desde ese día, más de 40 millones de viajeros han optado por esta alternativa para desplazarse entre las dos principales ciudades de España.

De estos más de 40 millones de pasajeros, 4,3 millones han viajado en el AVE durante el curso de 2019. Ha sido el año en el que más gente se ha decidido por este servicio, que una constante tendencia al alza. De hecho, el número de clientes del AVE Barcelona-Madrid se ha duplicado prácticamente desde el primer año completo, en 2008, en el que se alcanzaron los 2 millones de viajeros (Ver Ilustración [17]).

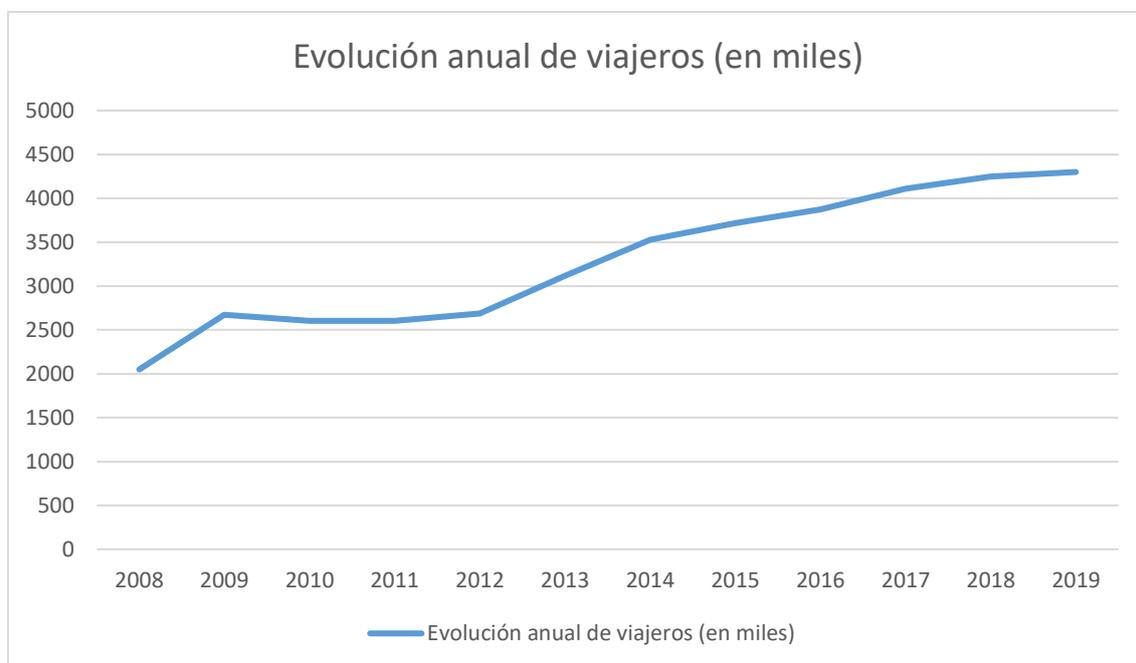


Ilustración 16 Evolución de viajeros de AVE del corredor BCN-MAD [25]

3.1.3 Aeropuerto Josep Tarradellas Barcelona-EI Prat

Y por último, el método que más usan los turistas para llegar a la ciudad catalana es el avión.

El aeropuerto Josep Tarradellas Barcelona-EI Prat se encuentra 15 kilómetros al suroeste del centro de Barcelona y a 3 kilómetros del Puerto de Barcelona. Es el primer aeropuerto en extensión y tráfico de Cataluña y el segundo aeropuerto con mayor tráfico de España detrás del Aeropuerto Adolfo Suárez Madrid-Barajas.

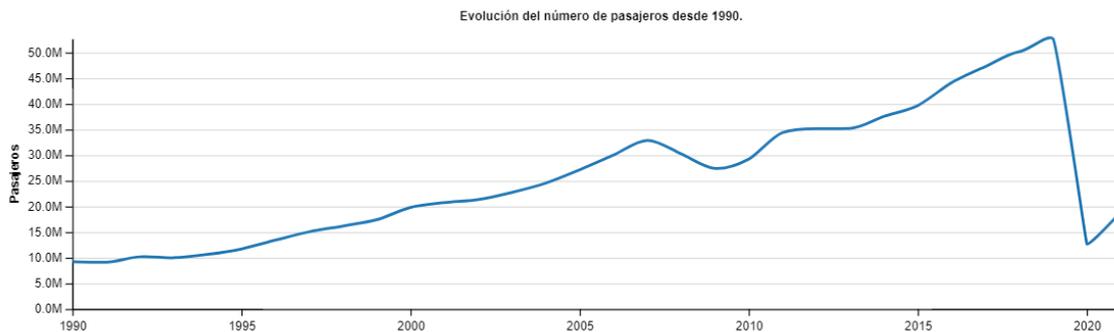


Ilustración 17 Evolución de pasajeros en el aeropuerto Josep Tarradellas [26]

Gracias a los 212 destinos que conectan con la capital catalana, en 2019 pasaron por sus instalaciones 52,7 millones de pasajeros. Ese mismo año, su crecimiento aumentó un 5% con respecto a 2018, realizándose más de 344 mil operaciones. [27]

Como se puede observar en la gráfica aportada (Ver Ilustración [18]), el número de pasajeros no deja de aumentar año tras año, y no se espera que deje de hacerlo.

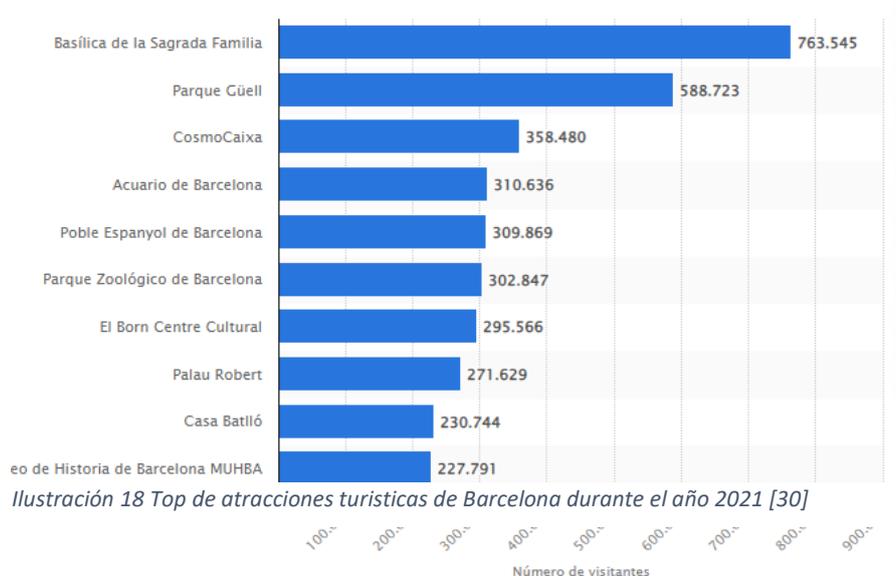
3.2 Municipio de Barcelona

A la hora de escoger los lugares más eficientes donde colocar cada vertipuerto, se analizan diferentes factores:

- Para empezar, se pretende que haya una buena conexión con el aeropuerto Josep Tarradellas de el Prat, con el puerto de Barcelona y con la estación de tren SANTS, debido a lo visto en el apartado 3.1.
- A continuación, se analizan los lugares de interés del AMB. Es decir, los lugares más visitados de Barcelona.
- También se intenta que la conectividad entre los vertipuertos de la UAM y otros medios de transporte sea la mejor posible, emplazándolos cerca de estaciones de metro y/o estaciones de buses.
- Y por último se tendrán en cuenta, considerando que se busca tener enlace directo con el aeropuerto, los hoteles más visitados de Barcelona, que además puedan albergar un vertipuerto en sus azoteas. De esta manera, se facilitará la conexión de los turistas que llegan al aeropuerto con sus hoteles.

3.2.1 Polos de atracción

Como se ha explicado anteriormente, los datos que se analizan y presentan en este proyecto son datos anteriores a la pandemia, del año 2019 ya que son datos más realistas y que se asemejaran más a los que pueda haber en un futuro cercano. La pandemia limitó muchísimo el turismo de Barcelona y los patrones de movilidad. A continuación, un ejemplo. Estos son los datos de las atracciones turísticas más visitadas de Barcelona en plena pandemia:



Y estos que se muestran a continuación, son los datos anteriores a la pandemia.

Posición	Atracción turística	Visitantes	Ubicación
1	Basílica de la Sagrada Família	4.717.796	Eixample
2	Parque Güell	3.154.349	Gràcia
3	Museo FCB	1.661.156	Les Corts
4	Aquàrium	1.609.373	Ciutat Vella
5	Poble Espanyol	1.239.388	Sants-Montjuic
6	Born Centre Cultural	1.161.755	Ciutat Vella
7	La Pedrera	1.080.519	Eixample
8	Museo Picasso	1.072.887	Ciutat Vella
9	Casa Batlló	1.065.222	Eixample
10	Cosmocaixa	1.002.965	Sarrià-Sant Gervasi

Tabla 3 Top de atracciones turísticas de Barcelona en el año 2019 [31]

Además de la evidente diferencia en la cantidad de turistas, vemos que el museo del FC Barcelona no entró ni en el top10, como el museo Picasso o la casa Batlló. Es por ello que para continuar con el trabajo, se tienen en cuenta los datos pre pandemia.

La intención es que se ubique al menos un vertipuerto en cada uno de los distritos de Barcelona. Por ello, a continuación se detallan los polos de atracción más destacados en cada distrito.

- Distrito del Eixample → Basílica de la Sagrada Familia
- Distrito de Gracia → Parque Güell
- Distrito de Les Corts → Museo Futbol Club Barcelona
- Distrito de Ciutat Vella → Aquarium de Barcelona
- Distrito de Sants Montjuic → Poble Espanyol
- Distrito de Sarria Sant gervasi → Cosmocaixa
- Distrito de Horta-Guinardo → Laberinto de Horta
- Distrito de Nou Barris → Parque Central de Nou Barris
- Distrito de Sant Andreu → La Maquinista Shopping Center
- Distrito de Sant Marti → Mercat dels Encants

3.2.2 Conexiones con otros transportes urbanos

Para que estos polos de atracción puedan ser candidatos a tener un vertipuerto en sus alrededores, se analiza la conexión de estos polos de atracción con otros transportes urbanos.

Basílica de la Sagrada Familia:

A unos pocos metros, encontramos la estación de metro Sagrada Familia. Tiene conexión con las líneas L2 y L5, además de una parada de autobuses.

Park Güell:

Al estar en la zona alta de Barcelona, las paradas de metro más cercanas están ambas a 20 minutos caminando, y son las estaciones de Lesseps y Vallcarca, ambas de la línea 3. También tiene cerca una parada de autobús urbano en la Travessera de Dalt (líneas H6 y D40) y se tardan 10 minutos caminando.

Museo Futbol Club Barcelona:

El museo del Futbol Club Barcelona se encuentra en el estadio Camp Nou, situado a pocos minutos de la Avenida Diagonal, una de las principales arterias de la ciudad que recorre Barcelona de un lado a otro. Este estadio tiene muy buenas conexiones con el transporte público. A menos de 5 minutos encontramos dos estaciones de metro: la estación Collblanc de la L5 y la estación de Les Corts de la L3. Además, hay dos paradas del tranvía que te llevan cerca del estadio del Camp Nou: Pío XII y Avinguda de Xile. Ambos pertenecen a los tranvías T1, T2 y T3, que parten de la plaza Francesc Macià.

Aquarium de Barcelona:

El Aquarium se encuentra en una de las zonas más turísticas de Barcelona y por tanto, de fácil acceso. La línea L3 tiene la parada Drassanes al lado del Monumento a Colón y La Rambla del Mar, mientras que la parada de la línea L4 que lleva por nombre Barceloneta está en la parte baja de Via Laietana. Desde ambas se llega en pocos minutos a destino. Además, a menos de 15 minutos caminando, está

Barcelona-Estació de França. De ella parten casi todas las líneas regionales y de Media Distancia de Cataluña.

Poble Espanyol:

Este espacio se encuentra a pocos metros de la fuente mágica de Montjuic. Hay distintas formas de llegar al Poble Espanyol, pero todas desde Plaza España. Se dispone de la estación que lleva el nombre de la plaza, con conexiones con las líneas L1 y L3 y una parada de Ferrocarriles FFCC, también en la plaza. Desde ahí puedes ir andando, ya que solo está a unos 15 minutos.

El Born Centre Cultural y Museo Picasso:

Estos lugares se encuentran a 4 minutos de distancia caminando entre sí y se encuentran a pocos pasos del parque de la Ciutadella. Tienen dos paradas de metro cercanas: estas son Jaume I y Barceloneta de la L4, y Arc de Triomf, de la L1. Además también a muy pocos metros, encontramos la Estación de Francia.

La Pedrera y Casa Batlló:

Ambas se encuentran en Paseo de Gracia, no muy lejos una de otra. Esta calle es de las más famosas de Barcelona y muy concurrida. Justo enfrente de la casa Batlló y a pocos minutos de la Pedrera, se encuentra la estación de tren Passeig de Gràcia. Es una de las estaciones de tren más céntricas de Barcelona. Tienen parada las líneas de metro L2, L3 y L4. También tiene conexión con trenes de Rodalies, y se puede llegar desde el Aeropuerto.

Cosmocaixa:

Este museo se encuentra a la vera de la Ronda de Dalt. Su parada de metro más cercana es Av. Tibidabo, de la L7, que además conecta con los ferrocarriles de la Generalitat de Catalunya, que llegan hasta Plaza Catalunya.

3.2.3 Emplazamiento de vertipuertos

Para definir ubicaciones que sean adecuadas para el emplazamiento de vertipuertos, se tienen en cuenta los hoteles por dos motivos. El primero, es que Barcelona carece de espacio para tales infraestructuras, y las azoteas de los hoteles son espaciosas y libres de obstáculos. Además se encuentran elevadas y las fases de ascenso y descenso de los aerotaxis no serían tan pronunciadas, ahorrando batería. El segundo, que son destinos de los turistas cuando llegan a Barcelona, ya sea desde el aeropuerto, desde el puerto o en tren.

La información respecto a los hoteles se ha encontrado con la herramienta de Booking. [29]

En un principio se consideró aprovechar helipuertos de infraestructuras existentes como hospitales. Sin embargo, se descartó la idea ya que son zonas que necesitan tener un fácil acceso para las urgencias, y construir un vertipuerto no sería beneficioso.

3.2.3.1 Sants-Montjuic

Como ya se ha comentado, uno de los vertipuertos se encontrará en la estación de Sants. Además de ser un punto clave al ser la estación de AVE, el lugar está rodeado de hoteles de renombre:

- Nobu Hotel
- Expo Hotel
- Barceló Sants

Hay diferentes opciones para su ubicación exacta. Una de ellas es en la azotea de algunos de los hoteles mencionados anteriormente, o incluso en la misma estación de Sants.

Otro de los vertipuertos se emplazará en el puerto de Barcelona, entre el muelle de Poniente y la plaza de Drassanes. El lugar tiene a pocos metros los siguientes hoteles:

- Hotel Miramar Barcelona
- Grums Hotel And Spa

Además, se encuentra a pocos metros del muelle donde desembarcan los cruceros. El emplazamiento exacto podría ser en el propio muelle.

3.2.3.2 Les Corts

En Les Corts, la atracción turística más visitada es el museo del Futbol Club Barcelona. Alrededor de esa zona, se encuentran grandes hoteles:

- Hotel Sofía Barcelona
- Hotel NH Barcelona Stadium

Debido a estos factores, esta zona se convierte en una ubicación perfecta para un vertipuerto. Tiene hoteles de renombre cerca, el museo del Barça y además muy buena conexión con otros transportes públicos.

El vertipuerto podría construirse en alguna zona del mismo estadio del Camp Nou, o, como se ha sugerido anteriormente, en una azotea de algún hotel.

3.2.3.3 Sarrià-Sant Gervasi

En Sarrià-Sant Gervasi, se ubican dos hoteles a pocos metros uno del otro:

- Hotel Boutique Mirlo Barcelona
- Hotel aBaC

Se podría emplazar en este barrio el vertipuerto ya que además de ser una zona hotelera, se encuentra el Cosmocaixa muy cerca y tiene una estación de ferrocarriles con línea directa al centro de Barcelona.

Esta zona tiene menos opciones donde colocar la estación de aerotaxis. La ubicación escogida se encuentra al lado de la ronda de Dalt, enfrente del Cosmocaixa, donde hay zona sin edificar.

3.2.3.4 *Horta-Guinardò*

Esta zona de Barcelona no tiene una gran oferta de hoteles. Al lado de la estación de metro de Mundet, aun así, se encuentra el siguiente hotel:

- Hotel Alimara Barcelona

En esta zona podría ser interesante emplazar un vertipuerto ya que además de tener una línea de metro, a pocos minutos caminando está el parque del laberinto de Horta, y también el campus de la UB de Mundet.

Un posible emplazamiento de la estructura sería en el propio campus de la UB. Y para poder tener una conexión cercana al parque Güell, que es otro punto de interés, emplazaremos un vertipuerto más al este de la Plaza de la Fuente Castellana, en una zona bastante amplia sin edificar.

3.2.3.5 *Nou Barris*

Nou Barris no tiene oferta de hoteles. Tampoco tiene una gran demanda turística ni puntos de interés muy llamativos. Aun así, con la intención de no dejar a ningún vecino de Barcelona sin la opción de poder disfrutar de esta nueva movilidad aérea, se emplazará un vertipuerto.

A pesar de lo dicho anteriormente, Nou Barris puede ser un enclave estratégico para ayudar a descongestionar el tráfico, ya que una de las carreteras donde más retenciones sufren los barceloneses es la C-58, en la entrada de Barcelona. Este tramo justo pasa por Nou Barris.

Se ha identificado un posible espacio (Ver Ilustración [19]) cerca de la estación de metro de la línea L11, Casa de l'Aigua, en una zona no edificada y de fácil acceso desde la C-58.

3.2.3.6 *Sant Andreu*

En Sant Andreu se ubica el centro comercial de Westfield La Maquinista. Es el centro comercial más grande de Catalunya y lo visita una media de 300.000 personas cada semana. Justo al lado, encontramos además uno de los pocos hoteles de la zona:

- Hotel Catalonia la Maquinista.

Con una buena conexión con la red de metro, gracias a la parada Bon Pastor de las líneas L9 y L10, se ubicará un vertipuerto en el parque de la Maquinista o proximidades.

3.2.3.7 Sant Martí

En la zona del parque del Fórum, tiene lugar una zona bastante hotelera donde destacan los siguientes hoteles:

- AC Hotel Barcelona Fórum
- Hilton Diagonal Mar
- Vincci Marítimo Hotel

Además de la oferta hotelera y de su ubicación, cerca de la playa, se observa que también es una zona de paso de la B-10, la ronda del litoral, otra de las carreteras que sufren severas retenciones cada mañana. Por este motivo, y teniendo en consideración que tiene la parada de metro el Maresme/Fórum de la línea L4, que conecta directamente con Paseo de Gracia, se decide emplazar otro vertipuerto. En concreto en la zona del parque del Fórum, o incluso en la azotea del centro comercial Diagonal Mar.

3.2.3.8 Ciutat Vella

En la zona este del distrito de Ciutat Vella, al lado del parque de la Ciutadella, se encuentran dos grandes atracciones turísticas: El Born Centre Cultural y el Museo Picasso. Además, a pocos metros de ahí, también aguarda la estación de trenes Estación de Francia, de la que parten casi todas las líneas regionales y de Media Distancia de Cataluña.

En cuanto a su oferta hotelera, en esta zona pueden hospedarse los turistas en dos hoteles de gran interés:

- Hotel Ciutadella Barcelona
- K+K Hotel Picasso.

Por tanto, teniendo en cuenta todos estos factores, se decide emplazar un vertipuerto también en la zona de la estación de Francia

3.2.3.9 Eixample:

Y así como en la Ciutat Vella, el distrito del Eixample también acoge a dos de las atracciones turísticas más visitadas de cada año. Ambas se encuentran en el Paseo de Gracia, y son las famosas edificaciones de la Pedrera y la Casa Batllò. Además es una zona muy céntrica con una gran oferta hotelera. A pocos metros de estos puntos de interés hay una gran cantidad de hoteles que reciben miles de turistas cada año:

- Majestic Hotel and Spa Barcelona
- Mandarin Oriental
- Hotel Condes de Barcelona

También se encuentra la estación de metro y cercanías, Passeig de Gracia.

La elección de la ubicación de un vertipuerto en esta zona ha sido más complicada que en las anteriores. El centro de Barcelona, como se ha comentado anteriormente, carece de espacios amplios sin edificar y el Eixample tampoco tiene grandes azoteas debido al diseño de sus islas.

El sitio escogido es una azotea que hay en un conjunto de edificios en la esquina de Gran Vía de les Corts con Paseo de Gracia.

En el Eixample se encuentra el edificio más visitado no solo de Barcelona, sino de toda Catalunya. En el año 2019, acogió a una cantidad de 4.717.000 visitantes. Se trata de la Basílica de la Sagrada Familia.

Por todo lo mencionado, se colocará un vertipuerto en sus cercanías. No solo por su famoso monumento, sino porque es una zona muy céntrica de Barcelona. El vertipuerto se ha decidió instalar en la azotea del Hotel Radisson Blu 1882 Barcelona, a 4 minutos de la Sagrada Familia y a 7 de la estación de metro.

3.2.3.10 Gràcia

En Gracia, justo en la zona Norte de Diagonal, con Paseo de Gracia, se localiza también una zona con una gran concentración de hoteles:

- El Palauet Barcelona
- Suites Center Barcelona
- Hotel Casa Fuster
- Be Mate Paseo de Gracia

La zona resulta muy adecuada ya que, bajando de la Diagonal, encontramos la parada de metro de Diagonal y también está, unos metros más allá, la Pedrera. Además, al ser zona céntrica de Barcelona, ayudamos a liberar carga de trabajo al vertipuerto de la Sagrada Familia.

Se propone construir la infraestructura para aerotaxis en la azotea del hotel Casa Fuster.

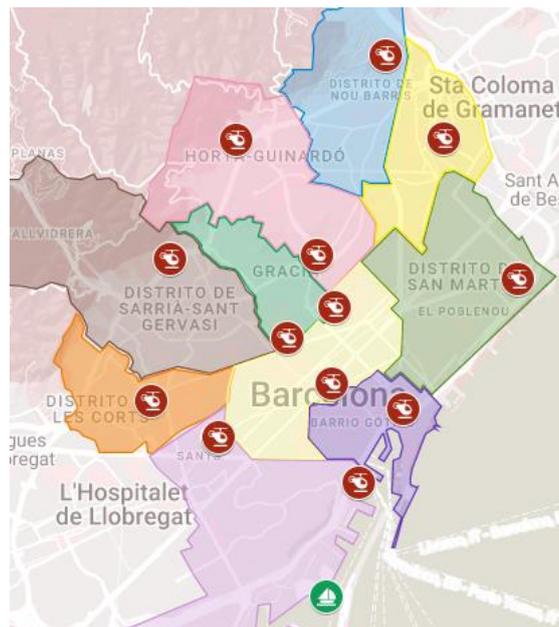


Ilustración 19 Ubicaciones de vertipuertos en la ciudad de Barcelona

3.3 Área Metropolitana de Barcelona

El área metropolitana de Barcelona engloba 36 municipios. Su organismo rector fue creado en 2010 y, con 3 338 800 habitantes, es una de las áreas más pobladas de Europa. [32]

Ya se ha analizado como estarán emplazados los vertipuertos en el municipio más grande de esta área, que es Barcelona. A continuación se analizan los que le rodean y completan el área metropolitana.

Los factores a tener en cuenta a la hora de definir localizaciones para los vertipuertos diferirán relativamente de los escogidos al analizar Barcelona.

En este caso, el principal objetivo será la descongestión de tráfico en las entradas de Barcelona. Se analizará cada municipio para ver cuales tienen un impacto más elevado.

Estos son los criterios que se tienen en cuenta:

- Cerca de un 80% de la congestión se concentra en los corredores de Barcelona, el Vallés Occidental y el Bajo Llobregat. Por tanto, se buscará tener una buena conexión entre los municipios por los que pasen estos corredores y el centro de Barcelona.
- Se analizará la demografía de estos municipios y para colocar vertipuertos, se tendrán en cuenta el número de habitantes y el porcentaje de habitantes que abandonan su municipio para trabajar.
- Puntos de interés turístico que puedan ser la causa de una gran movilidad de turistas.
- Un fácil acceso desde las vías más importantes hasta los vertipuertos.
- Y por último, que la conectividad entre los vertipuertos de la UAM y otros medios de transporte sea la mejor posible, emplazándolos cerca de estaciones de tren de cercanías y/o estaciones de autobús.

3.3.1 Polos de atracción poblacionales

Como se puede ver en la ilustración adjuntada anteriormente [Ilustración 6], la congestión se produce en las entradas de Barcelona, y son vehículos que provienen en su mayoría del Vallés Occidental y del Bajo Llobregat

3.3.1.1 Vallés Occidental

El Vallés Occidental limita al norte con el Bagès y el Moyanés, al este con el Vallés Oriental, al oeste con el Bajo Llobregat y al sur con el Barcelonés. La comarca es uno de los principales nudos de comunicaciones de Cataluña y de España, y diversos ejes la cruzan en todas direcciones:

- La autopista C-58, que cruza la comarca de norte a sur, y une el norte de Barcelona con Manresa a través de Moncada y Reixac, Cerdanyola del Vallés, Sabadell y Tarrasa.

- La autopista C-33, que une Moncada y Reixac con Mollet del Vallés y sirve para conectar el norte de Barcelona con la autopista AP-7 en dirección noreste.

Las poblaciones del Valles Occidental que forman parte del AMB y que se han de tener en cuenta son las que se muestran en la siguiente tabla (Ver Tabla[4]).

Población	Sant Cugat	Cerdanyola del Vallès	Ripollet	Montcada y Reixach	Barberà del Vallès	Badia del Vallès	Castellbisbal
Habitantes	92 977	57 855	39 179	36 803	33 334	13 415	12 539

Tabla 4 Habitantes de las poblaciones del Vallés Occidental

Castellbisbal no superan los 25.000 habitantes, así que se descarta a la hora de construir un vertipuerto ya que no tendría un impacto notable en la descongestión del tráfico.

En cambio, muy cerca de Badia del Vallès, se encuentra el aeropuerto de Sabadell. El aeropuerto de Sabadell es el más importante de aviación general en España, además de ser el segundo aeropuerto catalán con más operaciones.

Por lo tanto, a pesar de ser una población con un número de habitantes inferior a los 25.000 habitantes, Badia del Vallès no queda descartada.

3.3.1.2 Baix Llobregat

El Baix Llobregat es la tercera comarca más poblada de la comunidad autónoma con 825 9632 habitantes, sólo superada por las del Barcelonés y el Vallés Occidental. Limita con el Vallés Occidental y con el Barcelonés por el este y por su comarca también pasan vías muy importantes:

- La A-2 y la B-23 cruzan la comarca de norte a sur.
- LA C-32 y C-31 cruzan la parte inferior de la comarca de oeste a este, y donde terminan estas empiezan la B-20 y la B-10, las dos vías donde más retenciones se sufren a diario.

El Baix Llobregat lo constituyen 30 municipios, pero solo 22 de ellos forman parte del Área Metropolitana de Barcelona [Ver Anexo 4]. Además, de estos 22, se pueden descartar 7 municipios, ya que no superan los 25.000 habitantes y, como en los descartados del Valles Occidental, se considera que un vertipuerto no tendría un gran impacto en la movilidad urbana. Por tanto, se analizarán 15 municipios como potenciales lugares donde construir vertipuertos.

Además, de los 5 municipios del Valles Occidental y de los 15 de la comarca del Baix Llobregat, se tienen en cuenta también los 3 municipios que acompañan a Barcelona en la comarca del *Barcelonés*: Hospitalet de Llobregat, Badalona, y Santa Coloma de Gramanet.

La última comarca que tiene municipios que forman parte del área que estamos estudiando es la del *Maresme*. Aporta 2 municipios, que son Tiana y Montgat, pero ninguno supera los 15.000 habitantes.

3.3.2 Movilidad de personas por trabajo

A continuación, para poder intuir el impacto que tendrían estos vertipuertos, se analiza la población de estos municipios, y si necesitan abandonar dicho municipio para movilizarse a su puesto de trabajo.

Barcelona tiene una población ocupada de 710.400 personas, con una tasa de ocupación del 54,1%.

Esta población es la gente que tiene un empleo. De ellos, un 75% trabaja en la ciudad. El 25% restante trabaja en las afueras de Barcelona. Esto significa que **177.600** personas han de movilizarse para salir de Barcelona. [33]

Los 20 municipios considerados como potenciales acogedores de un vertipuerto cumplen con el requisito de que: o más del 50% de sus puestos de trabajo son cubiertos por mano de obra de otros municipios o, más del 50% de sus habitantes ocupados se van a otros municipios a trabajar. Barcelona capital es el único mercado que incumple esta regla, como ocurre en todos los núcleos de los mercados regionales urbanos.

Se encuentran los datos de las personas que han de movilizarse a partir del número de personas ocupadas del municipio y del porcentaje de ellos que trabajan fuera de él (Ver Tabla [5]).

Municipio	Comarca	Habitantes	Trabaja n fuera / Vienen de fuera	Población que ha de movilizarse
Barcelona	Barcelonés	1.664.182	25% / +35%	177.600
Hospitalet de Llobregat	Barcelonés	269 382	+60% / 35%	62.235
Badalona	Barcelonés	223 166	60% / 40%	55.402
Santa Coloma de Gramanet	Barcelonés	120 443	+70% / 40%	33.182
San Cugat del Vallés	Vallés Occidental	92 977	60% / +65%	27.058
Cornellá de Llobregat	Bajo Llobregat	89 458	+65% / +65%	25.804
Sant Boi de Llobregat	Bajo Llobregat	84 500	+60% / +50%	22.497
Castelldefels	Bajo Llobregat	67 460	+60% / +35%	18.584

Viladecans	Bajo Llobregat	67.197	+70% / +45%	21.568
El Prat de Llobregat	Bajo Llobregat	65 385	50% / 70%	14.566
Sardañola del Vallés	Vallés Occidental	57 855	65% / +65%	16.770
Esplugas de Llobregat	Bajo Llobregat	47 150	75% / +70%	15.087
Gavá	Bajo Llobregat	47 057	+65% / 60%	13.720
San Feliu de Llobregat	Bajo Llobregat	45 467	70% / 55%	14.684
Ripollet	Vallés Occidental	39 179	+70% / 50%	12.381
San Adrián de Besós	Barcelonés	37 447	+75%/+65%	11.633
Moncada y Reixach	Vallés Occidental	36 803	65% / 65%	10.840
San Juan Despí	Bajo Llobregat	34 267	+65% / 70%	10.591
Barberá del Vallés	Vallés Occidental	33 334	70% / +75%	10.592
San Vicente dels Horts	Bajo Llobregat	30 768	70% / 55%	8.772
San Andrés de la Barca	Bajo Llobregat	27 569	+60% / 60%	7.352
Molins de Rey	Bajo Llobregat	25 940	+70% / 60%	8.790

Tabla 5 Estadísticas de movilización de la población de los municipios del AMB [33]

En esta tabla no se encuentran los municipios con una población inferior a 25.000 habitantes. [Ver Anexo 4]

Si se suma la cantidad de gente que se desplaza de estos 20 municipios para ir a trabajar a otro municipio, el resultado es de aproximadamente **589.116** personas.

3.3.3 Puntos de Interés del AMB

En cuanto a los puntos de interés que puede haber en estas regiones, hay 5 que destacan sobre los demás:

Punto de Interés	Visitantes	Municipio
The Style Outlets	2.700.000	Viladecans
Canal Olímpico de Catalunya	220.000	Castelldefels
Espais Naturals del Delta del Llobregat	168.267	El Prat del Llobregat
Catalunya en miniatura	120.364	Torrelles de Llobregat
Museo de las matemáticas	104.605	Cornellà del Llobregat

Tabla 6 Puntos de interés del AMB [31]

Estas localizaciones pueden ser causantes de grandes movilizaciones y por ello son un factor que se tiene en cuenta llegado el momento de ubicar vertipuertos.

3.3.3.1 Conexiones con otros transportes urbanos

The Style Outlets: Viladecans: The Style Outlets se encuentra a 15 minutos de Barcelona y a 10 minutos del puerto de Barcelona y del aeropuerto de El Prat. Para poder llegar a él, se dispone de diferentes opciones. Para empezar, a menos de 100 metros se encuentra una estación de tren de Renfe Rodalies. Esta estación, Viladecans, conecta directamente con Barcelona. También tiene una parada de autobuses, donde llegan líneas de Plaza España, Plaza Reina María Cristina y Castelldefels.

Canal Olímpico de Catalunya: Este canal fue inaugurado en 1992 con motivo de la celebración de las competiciones de piragüismo en aguas tranquilas de los XXV Juegos Olímpicos y actualmente está abierto al público para practicar y aprender el piragüismo, el remo, el esquí náutico, cable esquí o el windsurfing. El bus L95 que sale de Plaza Catalunya es la única alternativa que dispone el canal para llegar a él. Tiene una estación de tren de Renfe Rodalies en Castelldefels, pero se encuentra a 30 minutos caminando.

Catalunya en miniatura: Este parque temático que representa la comunidad autónoma de Catalunya, se encuentra en Torrelles de Llobregat, en medio de la montaña y su acceso en transporte es más complicado. Únicamente hay una línea de autobús que te deja en el pueblo de Torrelles. El origen está en c/ Riera Blanca esquina Travesera de las Corts y es de la compañía “Soler i Sauret”.

Museo de las Matemáticas: Este museo, ubicado cerca del centro del municipio de Cornellà, tiene muy buena conexión con el transporte público. Tiene en sus alrededores la parada de metro de la línea L5, Gavarra, y una parada de los Ferrocarriles de la Generalitat, Almeda.

3.3.4 Emplazamiento de los vertipuertos

La estrategia que se sigue a la hora de ubicar vertipuertos en el exterior de Barcelona consistirá en crear un cinturón de vertipuertos que pasará a llamarse el cinturón vertipuertario, alrededor del núcleo de la AMB de tal forma que los usuarios que vengan de fuera del área metropolitana o de las partes más fronterizas se dirijan a los vertipuertos, dejen su vehículo ahí y viajen en aerotaxi a Barcelona.

Así también podrán beneficiarse de este sistema de transporte las grandes poblaciones que rodean el AMB, como son Mataró, Granollers, Sabadell, Terrassa, Martorell y Sitges, que aportan mucha población y movilidad hacia Barcelona.

De esta manera, se aliviará el tráfico en los corredores de entrada a Barcelona, y los usuarios llegarán mucho más rápido a su destino. Otra ventaja que tiene este sistema es que además del tiempo que ganaran en el viaje, también lo ganaran en cuanto a buscar aparcamiento en Barcelona.

Por lo tanto, los vertipuertos han de estar en zonas amplias donde pueda construirse un parking para que dejen sus vehículos ahí. También se pretende emplazarlos cerca de los núcleos de las poblaciones, para que los locales puedan acceder en bici o caminando.

3.3.4.1 Molins de Rei

Con una población de 26.000 personas de las cuales, un 70% trabajan fuera, y colindante con los pueblos del Papiol i Pallejà, Molins de Rei se convierte en un municipio adecuado para la construcción de un vertipuerto. Además, al norte se encuentra la población de Martorell, que también tiene una gran cantidad de personas que se desplazan a Barcelona.

Se ubicará en un espacio amplio no edificado, con superficie para construir un parque de estacionamiento y a 6 minutos caminando de la estación de tren de Molins de Rei.

3.3.4.2 Sant Vicenç dels Horts:

Este municipio se presenta como un lugar perfecto en el que ubicar un vertipuerto. Colindante de 4 municipios que no llegan a los 10.000 habitantes, como son La Palma de Cervelló, Cervelló, Torrelles de Llobregat y Santa Coloma de Cervelló, Sant Vicenç dels Horts es un lugar al que todos los vecinos se pueden acercar para coger transporte a Barcelona.

Además, se ubica en un espacio al que se puede llegar caminando 4 minutos desde la estación de Ferrocarriles de Sant Vicenç dels Horts.

3.3.4.3 Badia del Vallès

Se emplaza un vertipuerto en esta población debido a su cercanía con el Aeropuerto de Sabadell. De esta manera, se crea una conexión directa entre este aeropuerto y el de Barcelona, además de con Barcelona ciudad.

3.3.4.3 Barberà del Vallés:

Este municipio carecerá de vertipuerto ya que es colindante con Badia del Vallès, población que ya tiene un vertipuerto, y sus habitantes podrán beneficiarse de él.

3.3.4.4 Sant Joan Despí:

Con 10.591 personas que necesitan movilizarse a su puesto de trabajo fuera del municipio, se define el emplazamiento de un vertipuerto a 50 metros de la estación de Renfe Rodalies que recibe el nombre del municipio y a 100 metros de la parada de tranvía la FontSanta.

3.3.4.5 Moncada y Reixac y Ripollet:

Moncada y Reixac está en la frontera este del área metropolitana de Barcelona y por su municipio pasan las vías C-33 y C-17. Además, es colindante con el pueblo de Ripollet.

En la frontera entre estos dos pueblos, se encuentra la estación de tren de Moncada-Ripollet, y justo enfrente hay una superficie sin edificar donde se emplazará el vertipuerto que servirá de conector entre estos dos pueblos y Barcelona.

3.3.4.6 Sant Adrià del Besos:

Este municipio tiene a pocos minutos en coche el vertipuerto del Fórum, en el Distrito de Sant Martí. Además, al noreste de Sant Adrià del Besos se encuentra Badalona, que si tiene un vertipuerto al que podrán acceder los ciudadanos de este municipio. En conclusión, esta urbe no dispondrá de un vertipuerto.

3.3.4.7 Sant Feliu de Llobregat:

Prácticamente en pleno centro de esta urbe, a unos metros de la estación de tren de Rodalies se edificará el vertipuerto de Sant Feliu de Llobregat. Esta localización tiene una ventaja y es que a tan solo 3 minutos caminando, se encuentra el aparcamiento municipal gratuito Antiguo Campo de Fútbol de la Rambla. Un espacio enorme donde los usuarios de estos aerotaxis podrán aparcar sus vehículos.

3.3.4.8 Gavà:

Los ciudadanos de Gavà que se tienen que movilizar a Barcelona, han de coger la C-32 y luego entrar en la B-20 o la B-10, dos corredores con grandes congestiones en hora punta.

Por este motivo se ubica un vertipuerto bastante céntrico que estará a 8 minutos andando de la estación de tren.

Además, este vertipuerto podrá cubrir la demanda de las poblaciones de Begues y Sant Climent de Llobregat, que no disponen de su propia estación de taxis aéreos.

3.3.4.9 Esplugues de Llobregat:

Por Esplugues cruza la vía B-23, que conecta con la Diagonal y la B-20 en la entrada de Barcelona.

Vertipuerto emplazado a pocos metros de la estación de tranvía del Pont d'Esplugues.

3.3.4.10 Cerdanyola del Vallés:

En este municipio se cruzan las vías C-58 y la AP-7. Además, este municipio podría ser el conector entre los pueblos Barberà del Vallés y Badía del Vallés con Barcelona. También podrá favorecer la conexión de Barcelona con la ciudad de Sabadell.

El lugar escogido para la ubicación del vertipuerto, aunque algo alejado de la estación de tren de Cerdanyola, a unos 20min caminando, está muy cerca del centro del pueblo y es un descampado de grandes dimensiones donde podría construirse un gran vertipuerto, además de un considerable parque de estacionamiento.

3.3.4.11 El Prat del Llobregat:

El Prat de Llobregat va a carecer de vertipuerto ya que a pocos minutos en coche está el Aeropuerto de Barcelona, donde estará uno de los vertipuertos más importantes del área metropolitana de Barcelona.

3.3.4.12 Viladecans:

Viladecans es una población grande y colocar un vertipuerto en su zona urbana ayudará a descongestionar la entrada sur de Barcelona. Además, se encuentra un punto de interés como es el Style Outlet de Viladecans.

El sitio seleccionado está a tan solo 10 minutos de la estación de tren, a menos de 10 minutos del Outlet y enfrente de un centro comercial. Además, está muy cerca del núcleo de la población y es una zona con oferta hotelera.

3.3.4.13 Castelldefels:

Castelldefels, a pesar de tener los vertipuertos de Gavà y Viladecans siguiendo la C-32, también dispondrá del suyo propio.

Esto se hace debido a que así podrá cubrir parte de la demanda de los pueblos de la comarca del Garraf, como Sitges o Vilanova, donde gran parte de su población también se ha de movilizar a Barcelona para trabajar.

Además, es una zona con una fuerte concentración de hoteles. En pocos metros encontramos los hoteles:

- Best Western Hotel Mediterráneo
- Hotel Playafels
- Hotel Bel Air.

El vertipuerto se encuentra cerca de esta zona de oferta hotelera y cerca de la estación de tren de Castelldefels Playa.

3.3.4.14 Sant Boi de Llobregat:

Colindante con Sant Climent del Llobregat y Santa Coloma de Cervelló, y a pocos minutos de Torrelles de Llobregat, también acoge un vertipuerto, para aliviar carga de trabajo al vertipuerto de Sant Vicenç dels Horts y cubrir la zona de Sant Boi del Llobregat.

El vertipuerto se instala en un espacio encontrado en una zona céntrica del pueblo.

3.3.4.15 Cornellà de Llobregat:

Esta urbe de la provincia de Barcelona también tiene una gran densidad de población. El vertipuerto se ubica en una posición estratégica, vecina al centro comercial Splau y al RCDE Stadium. Tiene fácil acceso por la A-2.

3.3.4.16 Sant Cugat del Vallés:

Este pueblo que bordea los límites del área metropolitana de Barcelona, será el conector de grandes ciudades como Terrassa o Sabadell con Barcelona. El vertipuerto se ubica a 8 minutos de la estación de Ferrocarriles, en una zona céntrica y a pocos metros del único hotel de 4 estrellas de Sant Cugat, el Hotel Sant Cugat.

3.3.4.17 Santa Coloma de Gramanet:

Esta ciudad de más de 100.000 habitantes, es además la que tiene una de las tasas más elevadas de personas que trabajan fuera del municipio, con un 70%.

Es por ello y porque tiene dos vías importantes cruzándola, como son la B-20 y la C-58, de manera perpendicular, que esta ciudad acogerá hasta 2 vertipuestos. Ambos están ubicados cerca de estas grandes carreteras, para que tengan un fácil acceso.

3.3.4.18 Badalona:

Badalona dobla en habitantes a Santa Coloma de Gramanet, y a sus espaldas se encuentran los pueblos de Tiana y Montgat, que también forman parte del Área Metropolitana de Barcelona.

Esta ciudad la cruzan paralelamente tanto la B-20 como la C-31, y ambas sufren retenciones en la entrada de Barcelona.

Se ha decidido que esta urbe también tendrá dos vertipuestos, para dividir la demanda, que no solo será de la población de Badalona, sino también de Tiana y Montgat, y otros pueblos del Maresme, como Mataró.

Uno de los vertipuestos se encontrará prácticamente en la frontera con las dos poblaciones mencionadas anteriormente, mientras que el otro se encontrará en un punto céntrico de Badalona. También se ha tenido en cuenta el fácil acceso a estas infraestructuras desde los corredores de entrada a Barcelona.

máximas se circunscriben a un cilindro de 8 km de radio y una altura de 900 metros

Así como la entrada al CTR está permitida bajo ciertos protocolos, la entrada a este espacio está totalmente prohibida.

A continuación se muestra el espacio que quedaría restringido entre el CTR de LEBL y los ATZ de ambos aeródromos.

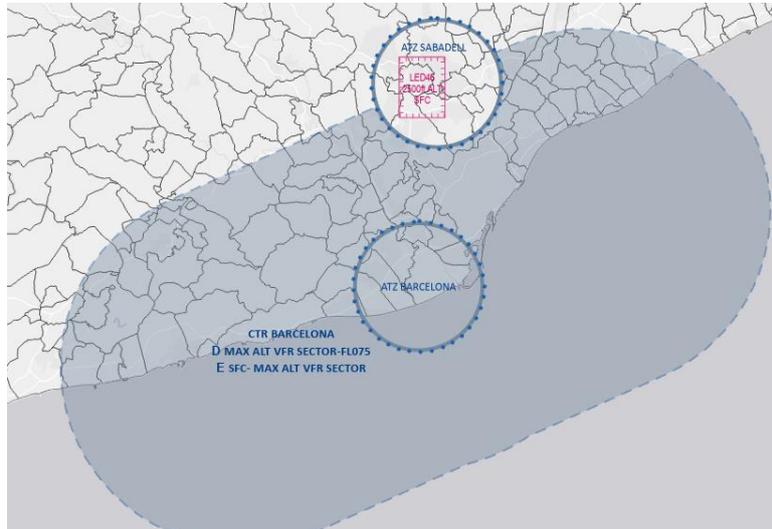


Ilustración 21 Espacios Aéreos Controlados de los aeropuertos LEBL y QSA [36]

En la imagen (Ver Ilustración [22]) también se muestra la zona peligrosa LED46.

Esta es un espacio aéreo en el cual pueden desplegarse en determinados momentos actividades peligrosas para el vuelo de las aeronaves. Antes de iniciar un vuelo que afecte a una zona peligrosa (D), el piloto obtendrá toda la información necesaria sobre las actividades de la misma y horario en que tendrán lugar.

A continuación se detallan los municipios afectados por estas zonas:

- Quedan dentro de la zona restringida al vuelo del ATZ del aeropuerto de Barcelona los municipios de Gavà, Viladecans, Sant Boi de Llobregat, el Prat de Llobregat, Cornellà de Llobregat y Hospitalet de Llobregat, además de la parte más al sur de Barcelona.
- Quedan dentro de la zona restringida al vuelo del ATZ del aeropuerto de Sabadell los municipios de Sant Cugat del Valles, Cerdanyola del Vallés, Badía del Vallés, Barberà del Valles, Ripollet y Moncada y Reixac.

En total, de los 36 municipios que constituyen el Área Metropolitana de Barcelona, 13 están afectados por estos espacios aéreos controlados.

Además, sería imposible crear las líneas de vuelo que conectasen los municipios del área metropolitana con el aeropuerto. El problema es que estos aerotaxis volarían a baja altitud y no hay aún una regulación ni normativa que abarque la Movilidad Aérea Urbana. La Agencia de Seguridad Aérea de la Unión Europea (EASA) espera proponer un marco regulatorio de esta nueva movilidad para finales de 2022 o inicios de 2023.

Como se puede observar, limitando por el norte a la ciudad de Barcelona, se encuentra una gran zona montañosa conocida como El Parque Natural de la Sierra de Collserola. Este espacio natural protegido español se sitúa entre los ríos Besós y Llobregat y tiene una superficie de 8259 hectáreas. Separa la planicie de Barcelona con la depresión del Vallés y su colina más alta es la del Tibidabo, con una altura de 512m. [37]

Al sur de Barcelona, cerca del puerto, también se observa una variación de color. Se trata de la montaña de Montjuic y tiene una altura de 177 metros sobre el nivel del mar.

3.4.2.2 Obstáculos urbanos

Los obstáculos urbanos son los rascacielos de Barcelona y alrededores. También se encuentran dentro de estos obstáculos la Central Térmica de Sant Adrià del Besos, torres de comunicaciones y una torre del teleférico que sube a Montjuic.

A continuación se muestra un mapa con todos los obstáculos urbanos que superan los 100 metros de altura. [Ver Anexo 6]

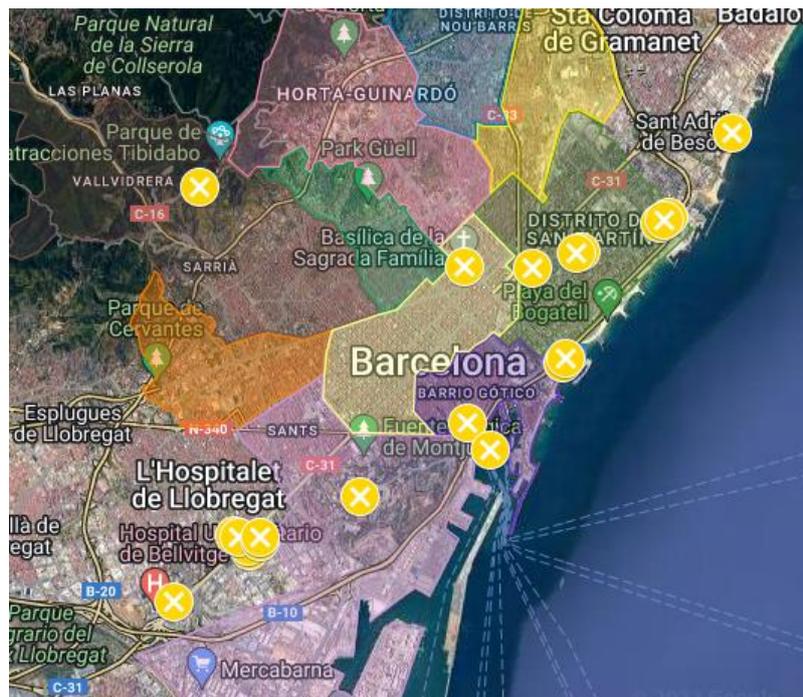


Ilustración 23 Mapa de obstáculos para la UAM

Como se puede observar (Ver Ilustración [24]), las principales zonas donde se encuentran estos rascacielos, y por las que se tratara que no circule una ruta de aerotaxis, son el Puerto Olímpico, La Diagonal desde el parque del fórum hasta la Plaza de Glòries, y la Plaza Europa de Hospitalet de Llobregat.

CAPÍTULO 4. RUTAS AÉREAS

El proyecto plantea dos redes de rutas aéreas diferentes de movilidad aérea. Primero tenemos las rutas orientadas en su totalidad a descongestionar el tráfico urbano, y luego tenemos las rutas orientadas al turismo y a facilitar la movilidad por la ciudad de Barcelona.

4.1 Red Interurbana

Esta red está formada por las rutas que van desde los municipios de la periferia de Barcelona hasta el centro de Barcelona.

De los 13 vertipuertos que se ha decidido colocar en el centro de Barcelona, se descartan para esta red los vertipuertos de los distritos de Sant Gervasi-Sarrià, Horta-Guinardò, Nou Barris, Sant Andreu y Sant Martí. Estos 5 vertipuertos se encuentran en la zona exterior de Barcelona, y las zonas en las que se encuentran son zonas con un número reducido de puestos de trabajo en comparación a las demás.

Además, se puede observar que en el centro de Barcelona se dispondrá de una zona con tres vertipuertos muy cercanos entre ellos. Estos son los dos vertipuertos emplazados en la zona sur de Gràcia y el del Eixample. Estos tres vertipuertos se encuentran cada uno a una distancia inferior a 1,5km de los otros dos y la distancia que hay caminando entre ellos no supera los 15 minutos. Por tanto, para reducir el tráfico de aerotaxis en estos vertipuertos, se repartirán las rutas que provienen del exterior de Barcelona.

Esto resulta en que cada uno de los vertipuertos de la zona periférica tendrá un total de 6 rutas a Barcelona.

Los vertipuertos de Gavà y Viladecans, al estar también a una distancia inferior de 1,5km entre ellos, se repartirán también las rutas a Barcelona, y saldrán 3 de cada una.

Santa Coloma de Gramanet Oeste y Santa Coloma de Gramanet Este se encuentran en la misma situación que Gavà y Viladecans. Están a menos de 1,5km entre sí, así que por su proximidad, se separan destinos de la misma forma.

También se evitará posicionar rutas que sobrevuelen los obstáculos, tanto urbanos como naturales que hay en el Área Metropolitana de Barcelona.

Y como última pauta a seguir, se descartarán las rutas aéreas que no superen como mínimo los 3km de distancia, por diferentes motivos: son viajes cortos que pueden realizarse por vías secundarias sin ser causantes de la congestión de tráfico y el vuelo de un eVTOL tan corto no sería eficiente. Prácticamente tarda más en realizar el despegue que el viaje completo.

Es por ello que las rutas entre el municipio de Esplugues de Llobregat y el vertipuerto de Les Corts queda descartado, así como las rutas con origen en el vertipuerto de Hospitalet de Llobregat y los vertipuertos ubicados en Les Corts y Sants.

- Vertipuerto de Eixample
- Vertipuerto de Horta-Guinardò Sur

Las rutas con origen en el municipio de Hospitalet de Llobregat tienen como destino:

- Vertipuerto del Port de Barcelona
- Vertipuerto de Ciutat Vella
- Vertipuerto de Eixample
- Vertipuerto de Horta-Guinardò Sur

Las rutas con origen en el municipio de Gavà tienen como destino:

- Vertipuerto de Les Corts
- Vertipuerto de Sants
- Vertipuerto de Horta-Guinardò Sur

Y las rutas que salen del vertipuerto de Viladecans terminarán en:

- Vertipuerto de Port de Barcelona
- Vertipuerto de Ciutat Vella
- Vertipuerto de Eixample

Esto se traduce en 3 vertipuertos con rutas a 6 destinos cada uno, otros 2 con 3 destinos cada uno y un último con 4 destinos. Supone una oferta total de 28 rutas aéreas.

Como se puede observar en la [Ilustración 25], estas rutas se agrupan a medida que avanzan dirección Barcelona con el objetivo de minimizar las aerovías, y así facilitar su control.

4.1.1.2 Línea Azul

La línea azul la componen el resto de municipios del Baix Llobregat que siguen el curso del río Llobregat. Su objetivo es descongestionar las vías B-23 y A-2 en dirección sur, vías que sufren importantes retenciones a diario.

Los destinos serán los vertipuertos ubicados en los municipios de Molins de rei, Sant Vicenç dels Horts, Sant Feliu de Llobregat y Sant Joan Despí y todos ellos tendrán como destino los siguientes vertipuertos:

- Vertipuerto de Sants
- Vertipuerto de Les Corts
- Vertipuerto de Port de Barcelona
- Vertipuerto de Ciutat Vella
- Vertipuerto de Horta-Guinardò Sur
- Vertipuerto de Diagonal

Esplugues de Llobregat tiene la excepción explicada anteriormente y operará rutas a todos los vertipuertos anteriores menos al que se ubica en Les Corts.

El número de rutas que forman la Línea Azul es de 29.

4.1.1.3 Línea Verde

Esta línea que operarán los municipios del Vallés Occidental que forman parte del Área Metropolitana de Barcelona pretende disminuir las retenciones que se forman en las vías C-33 y C-58 con sentido Barcelona.

Esta línea de rutas aérea de la UAM la aprovecharán los municipios de Sant Cugat del Vallés, Cerdanyola del Vallés, Badia del Vallès y Moncada y Reixac y tendrán como destinos:

- Vertipuerto de Sants
- Vertipuerto de Les Corts
- Vertipuerto de Port de Barcelona
- Vertipuerto de Ciutat Vella
- Vertipuerto de Horta-Guinardò Sur
- Vertipuerto de Sagrada Família

Será una línea con menos rutas que las anteriores. En total la formarán 24 rutas, con 4 ubicaciones de origen y 6 destinos.

4.1.1.4 Línea Amarilla

La última línea que se ha creado es la línea amarilla y solo tiene como origen dos municipios de la comarca del Barcelonés, que son Badalona y Santa Coloma de Gramanet. Aun así cada uno de estos municipios dispondrá de dos vertipuertos.

Esta línea tiene como objetivo ayudar al descongestionamiento de las vías B-20 y C-31 que pasan por estos municipios y recogen además todo el tráfico proveniente de la comarca del Maresme.

Los vertipuertos de Badalona Oeste y Badalona Este tendrán destinos en:

- Vertipuerto de Sants
- Vertipuerto de Les Corts
- Vertipuerto de Port de Barcelona
- Vertipuerto de Ciutat Vella
- Vertipuerto de Horta-Guinardò Sur
- Vertipuerto de Sagrada Família

El vertipuerto de Santa Coloma de Gramanet Oeste terminará en:

- Vertipuerto de Sants
- Vertipuerto de Les Corts
- Vertipuerto de Horta-Guinardò Sur

Y el vertipuerto de Santa Coloma de Gramanet Este se dirigirá a:

- Vertipuerto de Port de Barcelona
- Vertipuerto de Ciutat Vella
- Vertipuerto de Sagrada Família

En total esta línea dispondrá de 18 rutas, con 4 ubicaciones de origen y 6 de destino.

4.2. Red de Barcelona

La siguiente red de aerotaxis está orientada a facilitar la llegada de los turistas del aeropuerto, Sants y el Puerto de Barcelona a sus destinos en la ciudad. También pretende facilitar la movilidad urbana conectando los distritos entre sí.

Esta red ocupa un espacio mucho más reducido que la anterior. El diseño de las rutas pretende poder conectar todos los vertipuertos entre sí. Los vertipuertos solo tendrán conexiones con los vertipuertos que se encuentren a más de 3km de distancia por las mismas razones mencionadas en el apartado anterior. Para evitar llenar el espacio aéreo de Barcelona de taxis aéreos y facilitar su control, se unifican las rutas en una especie de cinturón exterior y se crea un corredor central al que se puede acceder desde los cuatro puntos cardinales, norte, sur, este y oeste.

Será necesario por lo tanto una buena gestión del tráfico aéreo y una buena organización para evitar congestionar las rutas.

4.2.1 Rutas de la red de Barcelona

Debido al elevado número de rutas que puede ofrecer esta red de movilidad aérea urbana, se enfoca este apartado descartando las rutas que se consideran como no adecuadas para ser operadas debido a su cercanía.

A continuación se muestra una tabla (Ver Tabla [7]) donde se exponen las rutas descartadas. Para ello, se ha trazado una circunferencia con centro en cada uno de los vertipuertos con un radio de 3km y se descartan como posibles destinos todos los vertipuertos que se encuentren dentro del radio de la circunferencia.

Teniendo en cuenta las condiciones mencionadas anteriormente, las rutas que se descartaran de la red de Barcelona son las siguientes:

Vertipuerto	Vertipuertos en un radio inferior a 3km	Rutas totales descartadas
Nou Barris	Sant Andreu	1
Sant Andreu	Nou Barris	1
Sant Martí	Ninguno	0
Ciutat Vella	Puerto de Barcelona, Eixample, Diagonal, Sagrada Familia	4
Port de Barcelona	Ciutat Vella, Eixample y Sants	3
Sants	Les Corts, Diagonal, Eixample y Puerto	4
Les Corts	Sarrià-Sant Gervasi y Sants	2
Sarrià-Sant Gervasi	Horta-Guinardò, Diagonal, Les Corts	3
Horta-Guinardò Norte	Horta-Guinardò Sur y Sarrià-Sant Gervasi	2
Horta-Guinardò Sur	Sagrada Familia, Horta-Guinardo, Diagonal y Eixample	4

Sagrada Familia	Horta Guinardò Sur, Diagonal, Eixample y Ciutat Vella	4
Diagonal	Sarrià-Sant Gervasi, Sants, Eixample, Sagrada Familia, Horta-Guinardò Sur i Ciutat Vella	6
Eixample	Ciutat Vella, Puerto, Sants, Horta-Guinardò Sur, Sagrada Familia y Diagonal	5

Tabla 7 Rutas descartadas de la red de Barcelona

El número total de rutas descartadas es de 18 rutas. Se entiende como ruta la conexión bilateral entre dos vertipuertos, no importa cuál sea el destino y cual el origen. Por ejemplo, las rutas Sants-Diagonal y Diagonal-Sants se consideran como una sola. Por tanto, el número total de rutas se calcula de la siguiente manera:

N de rutas posibles = $12+11+10+9+8+7+6+5+4+3+2+1 = 78$ rutas.

Restando las rutas descartadas, el número de rutas es: $N = 78-18 = 60$ rutas.

Ya solo falta tener en cuenta que todos estos vertipuertos también estarán conectados con el aeropuerto, sumando al número obtenido 13 rutas más. Una por cada vertipuerto de destino desde el vertipuerto del aeropuerto Josep Tarradellas.

Habrà por tanto un total de **73 rutas**, que conectaran los 13 vertipuertos del área de Barcelona y el vertipuerto del Aeropuerto entre ellos.

En la imagen que se adjunta a continuación se representan las aerovías que seguirán todas estas rutas. Evidentemente, se han tenido en cuenta los obstáculos a la hora de diseñar las aerovías por las que seguirán las rutas los aerotaxis.

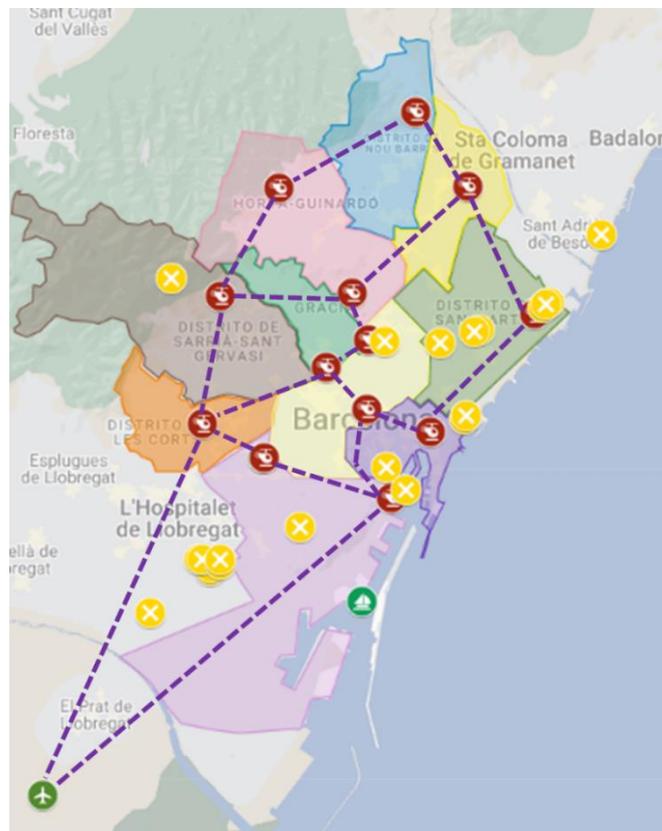


Ilustración 25 Rutas Aéreas de la Red de Barcelona

4.3 Ganancia de tiempo gracias a la UAM

Para que este nuevo transporte urbano funcione y pueda convertirse en una solución para la congestión del tráfico en Barcelona, es necesario que mucha gente se decante por usar este servicio. Para ello, se han de mostrar las ventajas que tiene, no solo para la sociedad, sino para el propio individuo.

La más atractiva es probablemente el tiempo que tardará el pasajero en llegar a su destino. Para calcular el tiempo de vuelo empezaremos por definir las distintas fases de vuelo que atraviesa un eVTOL.

A continuación se analiza el tiempo que tardan estas aeronaves en volar cada ruta y la diferencia con el tiempo que se tardaría en realizar este mismo trayecto, pero en coche.

4.3.1. Fases de vuelo de un eVTOL

Un eVTOL es una aeronave capaz de despegar y aterrizar verticalmente. Estas aeronaves pasan por 5 fases en el vuelo (Ver Ilustración [27]):

- Ascenso Vertical o Escalada: En la primera fase del vuelo la aeronave se eleva de manera totalmente vertical hasta alcanzar una altura segura para evitar los obstáculos del alrededor del vertipuerto
- Ascenso Inclinado: Cuando ha superado la altura de seguridad, el vehículo continúa con su ascenso con una leve inclinación. De esta manera, se gasta menos energía y se empiezan a cubrir metros de ruta.
- Una vez alcanzada la altura de crucero, entra en fase de crucero, donde se realiza un vuelo horizontal y alcanza su máxima velocidad de vuelo.
- Descenso inclinado: Cuando ya se encuentra cerca del destino, la aeronave se inclina levemente para comenzar el descenso.
- Descenso Vertical: Una vez alcanzado el destino, la aeronave empieza el descenso totalmente vertical, hasta posarse sobre la plataforma de aterrizaje.

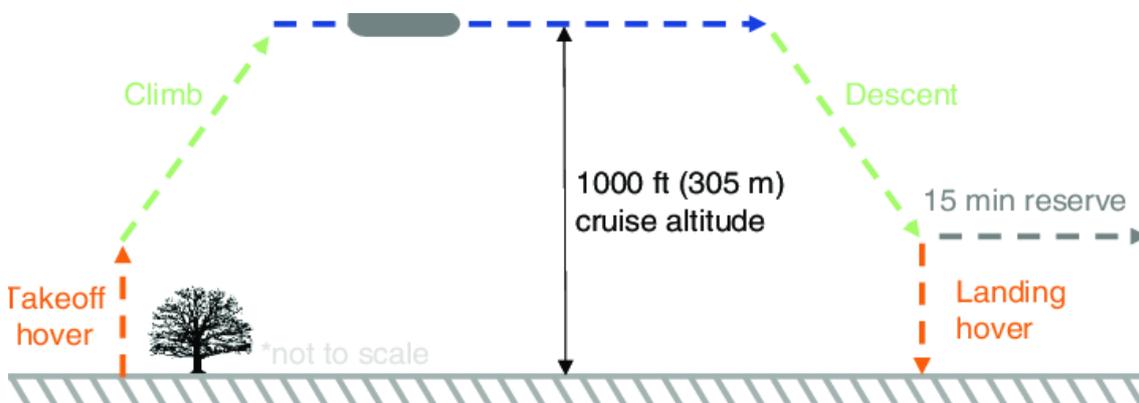


Ilustración 26 Las 5 fases de vuelo de un eVTOL

Joby Aviation, a día de hoy, no ha compartido información específica sobre las prestaciones de su aerotaxi. Aun así, se conoce que esta compañía adquirió Uber

Elevates e integraron sus servicios. Uber Air sí que publicó un documento donde exponían los requisitos que esperaban tener en sus vehículos aéreos. Se cogen los datos aportados en este documento [38] como referencia, teniendo en cuenta que puede variar en un futuro.

Durante la primera fase, la velocidad vertical de la aeronave va de 0 a 2.54 m/s.

La velocidad vertical en la fase de ascenso sigue siendo de 2.54m/s y su velocidad horizontal es de 1.2 veces su velocidad de pérdida.

La velocidad de pérdida de un avión es la velocidad mínima a la que una aeronave es capaz de volar. La velocidad de pérdida del S4-eVTOL es de $V_{STALL} = 35 \text{ m/s}$

Durante la fase de crucero, el VTOL puede alcanzar su velocidad máxima. La velocidad máxima del S4-eVTOL de Joby Aviation es de 322 km/h, o 89.44 m/s.

En la fase del descenso inclinado las velocidades son las mismas que durante el ascenso inclinado y durante la fase del descenso vertical, la velocidad vertical es de 1.54m/s.

Para obtener un tiempo orientativo, se estima que la altitud media que ha de ascender y descender un eVTOL es de 80 metros.

Por tanto, el tiempo invertido en las etapas de ascenso y descenso son:

$$t_{climb} = \frac{80}{2.54} = 31.5 \text{ s}$$

$$t_{descent} = \frac{80}{1.54} = 52 \text{ s}$$

Debido a la poca información acerca de las prestaciones de estas aeronaves, parte de las cuales siguen en desarrollo, estos tiempos son orientativos y pueden cambiar en un futuro. Las condiciones climáticas también pueden afectar a estos tiempos.

4.3.2 Comparación del tiempo empleado entre el taxi aéreo y el coche

A continuación se pretende comparar la diferencia de tiempo que tardaría un taxi aéreo en ir de un destino al otro con el tiempo que emplea un coche en recorrer el mismo trayecto.

La velocidad del S4-eVTOL de Joby Aviation es de 322 km/h. Además, el trayecto a seguir es prácticamente una línea recta hasta el destino, con excepción de algunos giros necesarios para evitar los obstáculos.

Los tiempos que se manejan en la movilidad aérea urbana son tan cortos que la comparación se hace con las rutas más largas de cada línea de rutas aéreas.

En la red de Barcelona, la distancia más larga que se puede recorrer es, sin contar con las conexiones al aeropuerto, del vertipuerto de Nou Barris hasta el vertipuerto del Puerto de Barcelona.

Esta ruta aérea cubre una distancia de 11.8 km. El tiempo en el que tarda en cubrir esta distancia el taxi aéreo es de:

$$t = 11.8 \text{ km} \times \frac{1 \text{ h}}{322 \text{ km}} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} = 2.2 \text{ min}$$

Cabe recordar que estos tiempos son orientativos y se usan como referencia. Que el aerotaxi alcance su velocidad máxima dependerá tanto de la altitud que necesite alcanzar como de la ruta que recorre.

2.2min equivalen a 132 segundos. Se le suma el tiempo necesario en el despegue y aterrizaje y se obtiene un tiempo final de **215.5 segundos**.

Esto significa que todas las rutas que cubre la red de Barcelona de taxis Aéreos se cubrirán en un tiempo inferior a 4 minutos. Para hacer la comparación, este mismo trayecto en coche, con tráfico fluido es de 22 minutos. La ganancia de tiempo es de 18 minutos.

A continuación se proceden a analizar las ganancias de tiempo en las rutas más largas de cada línea de la red Interurbana.

Ruta más larga	Distancia eVTOL (km)	Tiempo eVTOL (min)	Distancia Coche (km)	Tiempo coche (min)	Tiempo ganado (min)
Sant Cugat - Puerto	21.9	5.47	33.7	39	33.5
Castelldefels - Horta Guinardó Sur	25	6.05	30.1	29	23
Molins de rei - Ciutat Vella	15.2	4.22	22.5	24	19.8
Badalona - Puerto	14.7	4.13	18.1	26	21.9

Tabla 8 Ilustración 25 Comparación del tiempo consumido entre el coche y el VTOL

Con tráfico fluido y sin sufrir retenciones, los usuarios que realizasen estos trayectos en coche tardarían de 20 a 34 minutos. En cambio, con el nuevo transporte de movilidad urbano, los usuarios solo invertirían entre 4 y 6 minutos de su tiempo (Ver Tabla [8]).

En el hipotético caso de que estos usuarios realizaran estos trayectos en hora punta, es decir, entre las 7h y las 8h de la mañana, la ganancia de tiempo sería mucho mayor. Los usuarios que circulan por las Rondas de Barcelona (B-10 y B-20) sufren demoras que superan los 28 minutos. Las personas que se desplazan por el corredor del Bajo Llobregat (A-2 y B-23) pierden 24 minutos. Y los que utilizan el corredor del Vallés Occidental (C-16, C-58 y AP-7) pierden 23 minutos.

Si se vuelven a calcular los tiempos teniendo en cuenta esta información, se obtiene la siguiente tabla (Ver Tabla [9]).

Ruta más larga	Distancia eVTOL (km)	Tiempo eVTOL (min)	Distancia Coche (km)	Tiempo coche (min)	Tiempo ganado (min)
Sant Cugat - Puerto	21.9	5.47	33.7	62	56.5
Castelldefels - Horta Guinardó Sur	25	6.05	30.1	57	51
Molins de rei - Ciutat Vella	15.2	4.22	22.5	48	43.8
Badalona - Puerto	14.7	4.13	18.1	54	49.9

Tabla 9 Comparación del tiempo consumido entre el coche y el VTOL en hora punta

Los usuarios que cubren este trayecto mediante taxis aéreos, en comparación con los que lo realizan en coche, tienen una ganancia de tiempo de 50 minutos de media.

La diferencia entre el uso de los diferentes transportes de movilidad urbana también se aprecia en las rutas más cortas de cada línea.

Ruta más corta	Distancia eVTOL	Tiempo eVTOL	Distancia a Coche	Tiempo coche	Tiempo ganado
Hospitalet - Eixample	5.5	2.02	7.3	17	15.0
Esplugues - Eixample	7	2.30	8.4	20	17.7
Montcada i reixac - Horta Guinardó Sur	9.2	2.71	13.3	19	16.3
Santa Coloma de Gramanet - Horta Guinardó Sur	5.3	1.99	10.5	15	13.0

Tabla 10 Comparación del tiempo consumido entre el coche y el VTOL en las rutas más cortas

Los resultados muestran que el taxi aéreo recorre las rutas más cortas de la red Interurbana con una ganancia de tiempo de 15.5 minutos de media en comparación con los mismos trayectos recorridos en coche (Ver Tabla [10]).

En hora punta, la ganancia de tiempo media en estas rutas es de 32.5 minutos.

En conclusión, la nueva movilidad aérea ofrecería una ganancia de tiempo a los usuarios que utilizasen su servicio en hora punta de entre 32.5 y 50 minutos por trayecto.

CAPÍTULO 5. CAPACIDAD DE LA UAM

Para poder conocer el impacto que tendría esta nueva movilidad aérea urbana, se ha analizado la capacidad de que tiene la red de rutas aéreas propuesta para operar taxis aéreos y así poder estimar cuánta gente puede movilizar este nuevo transporte.

Al ser los vertipuertos del centro de Barcelona más reducidos que los del exterior, la capacidad viene condicionada por la cantidad de trabajo que pueden soportar estos vertipuertos. Es decir, por la capacidad teórica de operaciones que pueden realizarse en un espacio de tiempo definido en estas infraestructuras.

Otro factor que puede reducir la capacidad de transporte de pasajeros es el estado de las condiciones climatológicas. Por ejemplo, la nieve, la lluvia y la niebla pueden reducir la visibilidad de los sensores eléctricos y los ojos humanos y aumentar el riesgo de pérdida de separación entre vehículos. Además, las bajas temperaturas aumentan el riesgo de formación de hielo y las condiciones de viento fuerte reducen el nivel de seguridad de la capacidad de vuelo de un vehículo a través de un espacio aéreo denso. [39]

Barcelona no es una ciudad que sufre frecuentemente condiciones climatológicas adversas para la UAM [40], así que no se tendrán en cuenta para calcular la capacidad de este transporte urbano.

El espacio en Barcelona es limitado, y hasta ahora no existen ejemplos claros de vertipuertos que puedan emplazarse en azoteas de edificios u hoteles. Por ello, se ha procedido a diseñar un vertipuerto que encaje con las necesidades de la ciudad de Barcelona (Ver Anexo [7]). El resultado obtenido es que estos vertipuertos tendrán espacio de estacionamiento para 4 aerotaxis y dos áreas de aterrizaje y despegue.

5.1 Capacidad de pista:

La capacidad de pista es el número máximo de movimientos utilizando combinaciones de despegue y aterrizaje de aeronaves en una pista determinada, en condiciones meteorológicas definidas para periodos de tiempo específicos.

Para empezar, se definen los tiempos de ocupación de pista. Estos tiempos son el tiempo gastado por la aeronave desde que cruza el umbral, o en nuestro caso, se posiciona en el centro del área de despegue y/o aterrizaje hasta que abandona la pista¹.

Tiempo de Ocupación de Pista durante el Despegue TOPD = 31.5s

Tiempo de Ocupación de pista durante el Aterrizaje TOPP = 52 s²

Se define también el tiempo de rodaje que necesita el eVTOL para ir desde su posición de espera hasta el área de despegue y viceversa.

¹ Se entiende como pista el espacio vertical hasta que termina la fase de ascenso.

² Valores obtenidos en el apartado 4.3.1

GTT (Ground Taxi Time) = 30 s

Además, cuando una aeronave despegue, la siguiente aeronave que le precede no puede comenzar la fase del despegue hasta que la primera aeronave no finalice la etapa de la escalada o despegue vertical. Esto se debe a la separación de seguridad que ha de haber entre dos aeronaves que despegan o aterrizan consecutivamente.

Con los datos que se tiene, y teniendo en cuenta que todos los vertipuertos tienen dos áreas de despegue, se puede calcular la CTP (Capacidad Teórica de la Pista).

El procedimiento de uso de las pistas consiste en el despegue de los 4 aerotaxis en dos turnos, seguido del aterrizaje de otras 4 aeronaves en 2 turnos.

Al ser el $GTT < TOPD$, el intervalo de tiempo que pasa entre el inicio de la fase de despegue de ambas aeronaves es de $TOPD = 31.5$ s.

Por tanto, una pista tiene una capacidad de permitir el despegue de 2 aeronaves cada 63 segundos. Esto resulta en que estos vertipuertos tienen una capacidad de despegar 4 aeronaves por cada 63s.

De la misma manera, si el $TOPP$ es de 52 segundos, estos vertipuertos tienen una capacidad de permitir el aterrizaje de 4 aeronaves cada 104 segundos.

A continuación sí que se tiene en cuenta el GTT.

Para que puedan ocupar el espacio los aerotaxis que van a aterrizar, han de abandonar la pista los que vienen de aterrizar.

Por lo tanto, pasan 30 segundos desde que aterriza una aeronave hasta que ocupa su posición de estacionamiento y otra pueda empezar la fase de aterrizaje.

De nuevo, las aeronaves que han aterrizado en 2da posición, despegan desde el área de despegue, y las que están en el estacionamiento, se dirigen a pista.

Este es el procedimiento que seguirán estos primeros diseños de vertipuertos.

Cabe destacar que no se tiene en cuenta el tiempo de carga de estas aeronaves eléctricas ya que los vertipuertos de la zona exterior de Barcelona son de tipo a ras del suelo. Estos tienen una capacidad muy superior a los vertipuertos de tipo urbano y por lo tanto, pueden disponer de hasta espacio para 8 vehículos. Mientras operan 4 aeronaves, pueden estar cargándose las otras 4.

Teniendo en cuenta el tiempo de embarque y desembarque, el resultado de la capacidad que tienen estos vertipuertos es de 8 operaciones cada 5 minutos.

Es decir, la capacidad de los vertipuertos urbanos es de **96 operaciones por hora**.

Esto supone, si todas las aeronaves van a su máxima capacidad, que la capacidad de pasajeros que han de soportar estos vertipuertos es de **384 pasajeros por hora**.

5.2. Capacidad de la red Interurbana de la UAM.

La red Interurbana está compuesta por:

- 19 vertipuertos del Área Metropolitana de Barcelona

- 8 vertipuertos del centro de Barcelona ciudad

Los vertipuertos del centro de Barcelona son los encargados de repartirse toda la demanda de taxis aéreos proveniente de los municipios periféricos.

- Los vertipuertos de Diagonal y Eixample tienen rutas directas con 4 vertipuertos.
- El vertipuerto de Sagrada Familia tiene conexión con 7 vertipuertos.
- El vertipuerto de Sants recibe aerotaxis de 16 vertipuertos diferentes.
- Y los vertipuertos de Les Corts, Port de Barcelona, Ciutat Vella y Horta-Guinardò Sur, son los más grandes, con conexión con 17 vertipuertos.³

Esto se traduce en que 99 aerotaxis repartidos en 19 municipios van a 8 vertipuertos con capacidad para 32 aerotaxis.

Y de la misma manera, 32 aerotaxis repartidos en los 8 vertipuertos del centro de Barcelona, también tienen conexión con los 19 municipios con vertipuerto del AMB.

En total, esta red Interurbana está formada por 131 taxis aéreos.

Por lo tanto, si cada uno de los 8 vertipuertos que limitan la capacidad de esta red, tiene una capacidad de 96 ops/h, la capacidad total de los vertipuertos que forman el conjunto de la red de rutas aéreas interurbanas es de 768 ops/h.

En conclusión, la red interurbana puede desplazar a 3072 pasajeros por hora. Y en cuanto los vehículos sean autónomos y el asiento de piloto pueda ocuparlo otro pasajero, podrá desplazar 3840 pasajeros por hora.

El tiempo ganado medio por usar esta nueva movilidad en hora punta es de 41.5 minutos⁴.

$$t_{ganado} = \frac{41.5}{60} \times 3840 = 2656h$$

De 07:00h a 09:00, cuando las retenciones son más pronunciadas, se ahorrarían más de **5300 horas** en la carretera.

Si van una media de 2 personas por coche, el número de vehículos retirados de la carretera en las dos horas de máxima congestión es de **3840 coches**.

Este sistema por tanto, no terminaría con la congestión en los corredores de entrada a Barcelona, pero si ayudaría a mitigarla.

³ Datos obtenidos del apartado 4.1.1

⁴ Media obtenida del apartado 4.3.1

CAPÍTULO 6. LA UAM ECONÓMICAMENTE

Como se ha comprobado, la ganancia de tiempo que promete este diseño de implementación de la Movilidad Aérea Urbana, con las rutas y el número de taxis aéreos propuestos es muy elevada.

A continuación se divide la evaluación del coste económico en:

- Costes operativos: Es el coste por milla que supone operar la aeronave.
- Costes por pasajero por milla: Es el precio que le va a costar al pasajero usar este servicio, según el trayecto que recorra.

6.1 Costes operativos

- **Coste Capital**

Para empezar, la inversión inicial varía mucho en función de si es necesaria la compra de estas aeronaves. Como primera opción, la administración podría hacerse propietaria de la cantidad de aerotaxis necesarios y ser ella misma la que los gestione. Como segunda opción, estas vehículos podrían alquilarse directamente a los fabricantes, e incluso delegar su gestión y mantenimiento a una compañía como Joby Aviation.

El precio del S4-eVTOL aún no se ha revelado, pero su anterior modelo tenía un precio aproximado de 200.000€. [41]

Para abastecer a la red Interurbana, se necesitaría una inversión de 25 millones de euros solamente en las aeronaves.

- **Coste de la aseguradora**

Se asume que el operador estaría obligado a tener un seguro completo como es común en la industria de la aviación comercial.

Como aun no existen casos, tomamos como ejemplo el seguro de los helicópteros, que son las aeronaves actuales más próximas a los evtols.

Estos seguros tienen un coste medio del 3% del precio del vehículo.

- **Coste energético**

Este coste se define por el precio del kilovatio por hora.

La potencia requerida aumenta acorde al tamaño de la aeronave. Cuanto más grande es una aeronave (es decir, más asientos) mayor es la potencia requerida. Por lo tanto, aumenta el costo por milla del vehículo. En cambio, el costo energético por pasajero y milla es similar en todos los taxis aéreos de 2 o más pasajeros, e incluso decrece.

- **Coste del personal**

Durante los primeros años de la UAM, y hasta que no sean autónomos los aerotaxis, se precisará de un piloto a tiempo completo por aeronave y además de un trabajador en tierra. El personal de tierra desempeñará múltiples funciones, incluido el registro de pasajeros, el control de seguridad o cualquier otro servicio relacionado con el cliente.

Según un estudio de Uber Elevate [42], se calcula que el sueldo de un piloto de eVTOLS rondará los 50.000 euros anuales. El personal de tierra tendrá un sueldo aproximado de 20.000 euros.

- **Coste de la infraestructura**

Al tener estas aeronaves la capacidad de aterrizar y despegar verticalmente, el espacio que requieren los taxis aéreos no es muy grande. El coste puede elevarse debido a los costes de instalación de la línea eléctrica y dependiendo del diseño de la terminal de pasajeros, que puede incluir comodidades adicionales como áreas de descanso, tiendas, cafeterías, etc.

Además, es posible que la adaptación de azoteas y otras superficies escogidas para el emplazamiento de vertipuertos, especialmente en la zona urbana de Barcelona, requieran obras con un elevado coste de construcción. En los vertipuertos interurbanos, necesitarán parkings considerables.

- **Otros costes**

Hay que tener en cuenta otros costes, como posibles impuestos, y como pueden ser los de mantenimiento de las aeronaves e instalaciones. Se necesitará un equipo de mecánicos e ingenieros.

6.2 Coste operativo por pasajero y milla

El coste operativo medio por milla de vehículo aumenta a medida que aumenta el tamaño del vehículo (es decir, aumenta el número de asientos). En cambio, el coste operativo promedio por pasajero y milla disminuye a medida que aumenta el número de asientos

Teniendo en cuenta todos estos factores, son varias las compañías que han realizado su estudio y han podido calcular un futuro posible precio por pasajero y milla.

Lilium Jet es de las empresas más optimistas, y esperan que el coste por pasajero y milla sea aproximadamente de 2.31€ pax/milla. La NASA, en cambio, es de las más pesimistas y han calculado que el precio medio pax/milla de una aeronave para 4 pasajeros sea de 6.40€. [43]

Las aeronaves con mayor velocidad y menores requisitos de mantenimiento pueden reducir aún más su coste operativo. Además, se espera que con las mejoras

tecnológicas en el sector que están por venir, se pueda reducir el coste de operación en un 60 %. [44]

En la red de Barcelona, la distancia más larga que se puede recorrer es, sin contar con las conexiones al aeropuerto, del vertipuerto de Nou Barris hasta el vertipuerto del Puerto de Barcelona.

Esta ruta aérea cubre una distancia de 11.8 km.

En la red Interurbana, la ruta más larga la cubre Castelldefels - Horta Guinardó Sur, con una distancia de 25km, y la más corta es Santa Coloma de Gramanet - Horta Guinardó Sur, de 5.3km.

El trayecto más largo de la red de Barcelona tendría un coste de entre 17€ y 47€.

Las rutas de la red Interurbana, según el estudio realizado por la NASA, tendrían un coste que iría desde los 21€ hasta los 100€. Según Lilium, más optimista, los costes se moverían entre los 7.6€ y los 36€ (Ver Tabla[11]).

	Precio Max.(NASA)	Precio Min. (Lilium)
Nou Barris-Puerto BCN (11.8km)	47€	17€
Castelldefels - Horta Guinardó Sur (25km)	99.5€	36€
Santa Coloma de Gramanet - Horta Guinardó Sur(5.3km)	21€	7.6€

Tabla 11 Coste por pasajero en diferentes rutas

Como se puede observar, actualmente este sistema de transporte no se podría comparar con el transporte público actual, mucho más económico. Se asemeja un poco más al taxi. Por ejemplo, la ruta de Castelldefels - Horta Guinardó en taxi, cuesta, de día, 31.75€. [45]

CONCLUSIONES

Este trabajo tiene como objetivo evaluar la implementación de la Movilidad Aérea Urbana en el Área Metropolitana de Barcelona. Los resultados obtenidos han sido los siguientes.

Para empezar, al estudiar los patrones de movilidad del área de Barcelona, se ha comprobado que efectivamente hay un problema. En una ciudad tan avanzada como Barcelona y con una densidad de población tan elevada, el transporte se convierte en un elemento clave y necesario. Todos los transportes urbanos comparten el factor en común de que todos se desplazan por el suelo. Esto supone una falta de espacio que tiene como consecuencia grandes retenciones. Se ha comprobado que a diario se pierden hasta 63.000 horas en las vías de acceso. Hay pocas soluciones para este problema, pero una de ellas es la de aprovechar el espacio aéreo. Por ese motivo, el Área de Barcelona podría albergar perfectamente una red de movilidad aérea urbana.

Es importante explicar que se pueden dar dos enfoques a este nuevo sistema de transporte urbano. El primero es un enfoque más social, destinado a solucionar la descongestión del tráfico en las grandes urbes. Este enfoque se centraría entonces en facilitar las conexiones entre Barcelona y los municipios periféricos, ya que se ha visto que el 90% de las retenciones ocurren en los corredores de entrada a la capital catalana. Aun así, analizando la ciudad de Barcelona, también podría enfocarse a facilitar la movilidad entre puntos de interés en el centro de Barcelona. Este sistema sería beneficioso para la población autóctona y podría ofrecer a los turistas la oportunidad de visitar todas sus atracciones turísticas en menos de 2 horas de trayecto. La solución que se ha aportado es un enfoque híbrido, donde se tienen en cuenta ambas visiones.

En cuanto a los prototipos de taxis aéreos que existen en el mercado, hay una gran cantidad de opciones. Estos prototipos que se están desarrollando son muy adecuados como transporte urbano para la ciudad de Barcelona ya que son totalmente silenciosos y no contaminan. Además, tienen una velocidad muy elevada y pretenden ser autónomos en un futuro y el control de las vías aéreas y la gestión de estos vehículos no debería ser un problema.

Lo siguiente que se ha hecho ha sido, a partir de un análisis del área de Barcelona, emplazar los diferentes vertipuertos por toda la ciudad. El proyecto que se ha realizado es un proyecto a pequeña escala de lo que se espera que sea en un futuro una primera fase de la UAM. Este proyecto propone que Barcelona tenga 13 vertipuertos, pero al ser los aerotaxis vehículos de poca capacidad, sería mucho más efectivo crear una gran red de vertipuertos. Uno de los problemas que se encontrará la implementación de la UAM es el poco espacio disponible para la ubicación de estos puertos aéreos. La solución pasa por ubicarlos en las azoteas de edificios altos como hoteles o centros comerciales. En contraposición, en los municipios del cinturón exterior del Área Metropolitana, sí que hay espacio suficiente para colocar estos vertipuertos.

La red de rutas aéreas que se ha propuesto cumple con los objetivos de los dos enfoques mencionados anteriormente. Se ha creado una red de rutas aéreas por el

interior de Barcelona, que conecta los polos de atracción y todos los distritos entre sí. Esta red acerca a la población de Barcelona. La gente podrá cruzar Barcelona en 3 minutos, cuando antes lo hacía en media hora. Y también se ha creado una red de rutas que enlaza los municipios que rodean Barcelona con el núcleo de la ciudad. Esta red consigue ahorrar tiempo a sus usuarios y aliviar el tráfico en las vías de entrada a Barcelona.

Finalmente, se comprueba que este proyecto a pequeña escala de lo que debería ser en un futuro la UAM, y con una capacidad limitada, tiene grandes beneficios, no solo para el individuo, sino también para la sociedad.

De 07:00h a 09:00, cuando las retenciones son más pronunciadas, con solo 8 vertipuertos que enlazan los municipios del exterior de Barcelona con el centro, el tiempo total que se ahorran los usuarios es de 5300h diarias. Horas que se perderían en la carretera en retenciones kilométricas suponiendo un costo muy elevado.

Además, esto supone retirar un número aproximado de 3840 vehículos de las vías de entrada a Barcelona en hora punta. Aunque no supone un gran impacto, ayudaría a mitigar la descongestión de estos corredores, que también tendría efecto en la contaminación producida. Gracias a esta nueva movilidad urbana, Barcelona se convertiría en una ciudad mucho más limpia, más eficiente, y con mucho menos tráfico en sus carreteras. Pero para que esto sea posible, la UAM deberá superar su primer desafío: la aceptación social.

Además, el coste por pasajero por milla es bastante elevado y no puede competir con los precios del transporte público. Esto hace que a pesar de ser un sistema de transporte ideado para que pudiese acceder toda la población, la UAM, en un principio solo será accesible para un nicho de población con buen nivel económico. De todas formas, se espera que gracias a los avances tecnológicos, el precio de ir en taxi aéreo descienda considerablemente, hasta convertirse, al fin, en un transporte accesible para todo el mundo.

BIBLIOGRAFIA

CAPITULO 1

- [1] Science Direct. Urban air mobility: A comprehensive review and comparative analysis with autonomous and electric ground transportation for informing future research. [En línea]. Disponible: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0968090X21003788> [Acceso: 26-Mar-2022]
- [2] Fly News. Airbus cierra Voom, su servicio de helicópteros. [En línea]. Disponible: <https://fly-news.es/aviacion-comercial/aviacion-ejecutiva/airbus-cierra-voom-servicio-helicopteros/> [Acceso: 26-Mar-2022]
- [3] Habitantes de Barcelona capital 2022 (datos de población). ENTERAT.COM. [En línea]. Disponible: <https://www.enterat.com/actualidad/habitantes-barcelona.php> [Acceso: 26-Mar-2022]
- [4] Idescat. Proyecciones de población. Barcelonès. (2021, 28 octubre). [En línea]. Disponible: <https://www.idescat.cat/pub/?geo=com%3A13&id=proj&lang=es#Plegable=geo> [Acceso: 27-Mar-2022]
- [5] Cataluña - ¿Cuántos turistas llegan a la comunidad? [En línea]. Disponible: <https://www.epdata.es/datos/turistas-internacionales-comunidad-autonoma/68/cataluna/297> [Acceso: 27-Mar-2022]
- [6] Auditoría: Evolución de la congestión en los corredores de acceso a Barcelona (2019). RACC. [En línea]. Disponible: <https://movilidad.racc.es/campanas-de-concienciacion/impacto-de-la-movilidad/congestion/auditoria-evolucion-de-la-congestion-en-los-corredores-de-acceso-a-barcelona-2019/> [Acceso: 27-Mar-2022]
- [7] El País. La contaminación en Barcelona triplica los límites establecidos. (2022). [En línea]. Disponible: <https://elpais.com/espana/catalunya/2022-01-10/la-contaminacion-en-barcelona-llega-a-triplicar-los-nuevos-limites-fijados-por-la-oms.html> [Acceso: 14-Oct-2022]
- [8] Ajuntament de Barcelona. Qualitat Aire. [En línea]. Disponible: <https://ajuntament.barcelona.cat/qualitataire/es> [Acceso: 14-Oct-2022]

CAPITULO 2

- [9] Crespo, M. (2022, 15 abril). VoloCity se adelanta a la competencia para convertirse en el aerotaxi de las olimpiadas París 2024. forococheelectricos. [En línea]. Disponible: <https://forococheelectricos.com/2022/04/velocity-aerotaxi-paris-2024.html> [Acceso: 15-Aug-2022]
- [10] Nasa. UAM Market Study. [En línea]. Disponible: <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20190000517/downloads/20190000517.pdf> [Acceso: 27-May-2022]
- [11] Volocity. (2019, Agosto). Volocity Design Specifications. [En línea]. Disponible: https://www.volocopter.com/wp-content/uploads/20220607_VoloCity_Specs.pdf [Acceso: 5-Jun-2022]

- [12] VoloCity – the urban air taxi by. (2022, 7 junio). Volocopter. [En línea]. Disponible: <https://www.volocopter.com/solutions/volocity/> [Acceso: 13-Jun-2022]
- [13] La Vanguardia. El taxi volador de Volocopter realiza su primer vuelo completo. [En línea]. Disponible: <https://www.lavanguardia.com/tecnologia/20220418/8204695/taxi-volador-volocopter-realiza-primer-vuelo-completo-pmv.html> [Acceso: 11-Oct-2022]
- [14] Lillium jet. evtol.news. [En línea]. Disponible: <https://evtol.news/lillium/> [Acceso: 5-Jun-2022]
- [15] Gianfranco, D. (2021, 2 agosto). Lillium da a conocer nuevos detalles de su vehículo aéreo de 36 motores. Aviacionline.com. [En línea]. Disponible: <https://www.aviacionline.com/2021/07/lillium-da-a-conocer-los-detalles-de-su-nuevo-vehiculo-aereo-de-36-motores/> [Acceso: 5-Jun-2022]
- [16] Joby Aviation Joby eVTOL. FutureFlight. [En línea]. Disponible: <https://www.futureflight.aero/aircraft-program/joby-evtol> [Acceso: 22-Aug-2022]
- [17] Joby Aviation S4. evtol.news. [En línea]. Disponible: <https://evtol.news/joby-s4> [Acceso: 28-May-2022]
- [18] Supernal (Hyundai Motor Company) S-A1. evtol.news. [En línea]. Disponible: <https://evtol.news/hyundai-s-a1/> [Acceso: 28-May-2022]
- [19] Bell Nexus 4ex. evtol.news. [En línea]. Disponible: <https://evtol.news/bell-nexus-4ex/> [Acceso: 28-May-2022]
- [20] Pérez, A. (2022, 15 agosto). Este eVTOL cuenta con el mayor número de reservas y comenzará a volar este verano. Híbridos y Eléctricos. [En línea]. Disponible: <https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/actualidad/evtol-cuenta-mayor-numero-reservas-comenzara-volar-verano/20220809105844061232.html> [Acceso: 22-Aug-2022]
- [21] Vertical Aerospace VX4 (production model). evtol.news. [En línea]. Disponible: <https://evtol.news/vertical-aerospace-VA-1X> [Acceso: 13-Jun-2022]
- [22] evtol-news.com. [En línea]. Disponible: <https://evtol.news.com> [Acceso: 13-Jun-22]

CAPITULO 3

- [23] Statista. (2021, 12 febrero). Cifra anual de cruceristas en el puerto de Barcelona 2010-2020. [En línea]. Disponible: <https://es.statista.com/estadisticas/486740/pasajeros-de-cruceros-en-barcelona/> [Acceso: 18-Jun-2022]
- [24] Servicio de Estadística. (2019, Diciembre). Estadísticas de tráfico del Port de Barcelona. [En línea]. Disponible: https://contentv5.portdebarcelona.cat/cntmng/gd/d/workspace/SpacesStore/68194946-91f5-42e3-bb55-aaecd5fbc688/PortBcnTrafic2019_12_es.pdf [Acceso: 18-Jun-2022]
- [25] Línea AVE Madrid-Barcelona. Evolución mensual de viajeros. 2008-2021. [En línea]. Disponible: https://ajuntament.barcelona.cat/estadistica/angles/Estadistiques_per_temes/Transport_i_mobilitat/Transport/Transport_public_i_ferrocarril/t12.htm [Acceso: 19-Jun-2022]

- [26] Evolución del número de pasajeros del aeropuerto de Barcelona. 2000-2022. [En línea]. Disponible: https://ajuntament.barcelona.cat/estadistica/castella/Estadistiques_per_temes/Transport_i_mobilitat/Transport/Aeroport/p0201.htm [Acceso: 19-Jun-2022]
- [27] Aeropuerto de Barcelona. [En línea]. Disponible: <https://www.aeropuertobarcelona-elprat.com/cast/aeropuerto-de-barcelona.htm> [Acceso: 19-Jun-2022]
- [28] Institut d'estudis regionals i metropolitans de Barcelona. (2022). Informe de movilidad y entorno socioeconómico en el AMB. 3r trimestre 2021. [En línea]. Disponible: <https://iermb.uab.cat/es/estudi/informe-de-movilidad-y-entorno-socioeconomico-en-el-amb-3r-trimestre-2021/>[Acceso: 19-Jun-2022]
- [29] Booking.com: The largest selection of hotels, homes, and vacation rentals. Booking.com. [En línea]. Disponible: <https://www.booking.com> [Acceso: 21-Jun-2022]
- [30] Statista. (2022, 8 junio). Atracciones turísticas más visitadas en Barcelona en 2020. [En línea]. Disponible: <https://es.statista.com/estadisticas/486111/atracciones-turisticas-mas-populares-en-barcelona-espana/> [Acceso: 21-Jun-2022]
- [31] Observatori del Turisme a Barcelona. (2019). Informe de l'activitat turística. [En línea]. Disponible: https://ajuntament.barcelona.cat/turisme/sites/default/files/iat19_0.pdf[Acceso: 22-Jun-2022]
- [32] Area Metropolitana de Barcelona. Wikipedia. [En línea]. Disponible: https://es.wikipedia.org/wiki/%C3%81rea_metropolitana_de_Barcelona [Acceso: 24-Jun-2022]
- [33] Ogáyar, J. J. V. (2016, 12 diciembre). La Región Urbana de Barcelona: más de 1,5 millones de empleos. Iguales y diferentes. [En línea]. Disponible: <https://identification.hypotheses.org/1284> [Acceso: 13-Aug-2022]
- [34] Evolución de la población ocupada en Barcelona y otros ámbitos territoriales. [En línea]. Disponible: https://ajuntament.barcelona.cat/estadistica/castella/Estadistiques_per_temes/Treball_i_teixit_productiu/Treball/EPA/epa/pocu/evocterr.htm [Acceso: 13-Aug-2022]
- [35] ENAIRE. ¿Cómo volar drones en espacio aéreo controlado por ENAIRE?. [En línea]. Disponible: https://www.enaire.es/servicios/drones/lo_necesario_para_volar_tu_dron/volar_espacio_aereo_controlado_enaire [Acceso: 15-Aug-2022]
- [36] AIP. ENAIRE. ZONAS PROHIBIDAS, RESTRINGIDAS, PELIGROSAS Y DE PROTECCIÓN DE PLANES DE VUELO. [En línea]. Disponible: https://aip.enaire.es/AIP/contenido_AIP/ENR/LE_ENR_5_1_en.pdf [Acceso: 15-Aug-2022]
- [37] Parc Natural de Collserola. [En línea]. Disponible: <https://parcnaturalcollserola.cat/>

CAPITULO 4

- [38] UberAir Vehicle Requirements and Missions. [En línea]. Disponible: <https://s3.amazonaws.com/uber-static/elevate/Summary+Mission+and+Requirements.pdf> [Acceso: 24-Aug-2022]

CAPÍTULO 5

[39] Research Gate. Assessing the Impact of a Changing Climate on Urban AirMobility Viability. [En línea]. Disponible:

https://www.researchgate.net/publication/361460175_Assessing_the_Impact_of_a_Changing_Climate_on_Urban_Air_Mobility_Viability [Acceso: 1-Sept-2022]

[40] Weather Spark. Clima promedio en Barcelona. [En línea]. Disponible:

<https://es.weatherspark.com/y/47213/Clima-promedio-en-Barcelona-Espa%C3%B1a-durante-todo-el-a%C3%B1o> [Acceso: 2-Sept-2022]

CAPÍTULO 6

[41] Watt Flight. Joby S2. [En línea]. Disponible: <https://www.wattflight.com/electric-vtol-aircraft/joby-s2/> [Acceso: 13-Oct-2022]

[42] Uber Elevate. White Paper. [En línea]. Disponible:

<https://evtol.news/media/PDFs/UberElevateWhitePaperOct2016.pdf> [Acceso: 13-Oct-2022]

[43] Flying mag. How Much Will It Cost to Fly on eVTOL Air Taxis? [En línea].

Disponible: <https://www.flyingmag.com/evtol-air-taxi-passenger-prices> [14-Oct-2022]

[44] Nasa. UAM Market Study. [En línea]. Disponible:

<https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20190000517/downloads/20190000517.pdf>

[Acceso: 13-Oct-2022]

[45] Taxi Calculator. [En línea]. Disponible: <https://www.taxi-calculador.es/costes-de-taxi>

[Acceso 14-Oct-2022]

ANEXO 7.

[46] Vertipuertos. (2022, 6 septiembre). Ferrovial. [En línea]. Disponible:

<https://www.ferrovial.com/es-es/negocio/aeropuertos/vertiports/> [Acceso: 6-Sept-2022]

[47] EASA. (2022, marzo). Vertiports Prototype Technical Specifications for the Design of VFR Vertiports for Operation with Manned VTOL-Capable Aircraft Certified in the Enhanced Category (PTS-VPT-DSN). [En línea]. Disponible:

<https://www.easa.europa.eu/downloads/136259/en> [Acceso: 5-Sept-2022]

ANEXOS

ANEXO 1: Especificaciones de los eVTOLS.

Fuente: evtol news.

1.1 Volocity

- **Capacidad:** 2 personas incluido equipaje de mano
- **Alcance máximo:** 35 km
- **Velocidad máxima:** 110 km/h
- **Altura:** 2,5 m
- **Diámetro del rotor exterior:** 11,3m
- **Número de rotores:** 18
- **Fuente de alimentación:** 9 paquetes de baterías

1.2 Lilium Jet

- **Capacidad:** 6 pasajeros y 1 piloto
- **Velocidad máxima:** 280 km/h
- **Alcance máximo:** más de 250 km incluidas las reservas
- **Hélices:** 36 ventiladores canalizados
- **Motores eléctricos:** 36 motores eléctricos
- **Fuente de alimentación:** Baterías
- **Envergadura:** 13,9 m
- **Longitud:** 8,5

1.3 S4-eVTOL

- **Capacidad:** 4 pasajeros y un piloto
- **Velocidad máxima:** 322 km/h
- **Alcance máximo:** 241,4 km
- **Hélices:** 6 hélices inclinadas, 4 hélices inclinadas verticalmente
- **Motores:** 6 motores eléctricos de alto rendimiento
- **Fuente de alimentación:** Baterías de litio-níquel-cobalto-óxido de manganeso
- **Envergadura:** 10,7 m
- **Longitud:** 7,3 m
- **Peso:** 1815 kg

1.4 Supernal A1 Hyundai

- **Capacidad:** 4 pasajeros y un piloto
- **Velocidad máxima:** 290 km/h
- **Alcance máximo:** 97 km
- **Hélices:** 8 hélices en total. 4 hélices de rotor basculante para sustentación vertical y horizontal y 4 juegos de hélices co-rotativas apiladas utilizadas solo para vuelo vertical
- **Motores eléctricos:** 8 motores
- **Baterías:** 7 baterías de alta densidad con capacidad de recarga rápida

- **Envergadura:** 15 m

1.5 Bell Nexus 4-EX

- **Capacidad:** 4 pasajeros con equipaje y un piloto
- **Velocidad máxima:** 150 mph (241 km/h)
- **Alcance máximo:** 60 millas (97 km)
- **Hélices:** 4 hélices canalizadas
- **Propulsión:** 4 motores eléctricos
- **Fuente de energía:** Baterías
- **Dimensiones:** 12,2 X 12,2m

1.6 VX4 Vertical Aerospace

- **Capacidad:** 1 piloto y 4 pasajeros
- **Velocidad máxima:** 241 km/h
- **Alcance máximo:** 161 km
- **Hélices:** 8 hélices
- **Motores eléctricos:** 8 motores eléctricos
- **Envergadura:** 15 metros
- **Longitud:** 13 metros

ANEXO 2: Estadísticas del Tráfico de Pasajeros en el Puerto de Barcelona

Fuente: Port de Barcelona

TRÁFICO DE PASAJEROS

Total tráfico de pasajeros (unidades)	Acumulado mensual				% 19-18 acum. Noviembre	% 19-18 acum. Octubre
	2018	2019	Dif. 19-18	%		
Total pasajeros	4.494.196	4.628.562	134.366	3,0%	3,7%	3,1%
Embarque	1.566.778	1.629.638	62.860	4,0%	4,9%	3,7%
Desembarque	1.552.224	1.614.228	62.004	4,0%	5,1%	4,1%
Tránsito	1.375.194	1.384.696	9.502	0,7%	0,9%	1,0%
Ferries línea regular	1.451.979	1.490.644	38.665	2,7%	3,3%	3,4%
Embarque	731.792	752.016	20.224	2,8%	3,3%	3,5%
Desembarque	720.187	738.628	18.441	2,6%	3,2%	3,3%
Cabotaje nacional	845.022	852.253	7.231	0,9%	1,3%	1,8%
Embarque	433.936	439.707	5.771	1,3%	1,8%	2,3%
Desembarque	411.086	412.546	1.460	0,4%	0,7%	1,3%
Cabotaje comunitario	414.103	458.000	43.897	10,6%	11,8%	11,6%
Embarque	201.739	222.910	21.171	10,5%	11,2%	11,4%
Desembarque	212.364	235.090	22.726	10,7%	12,3%	11,9%
Otros ferries	192.854	180.391	-12.463	-6,5%	-6,7%	-7,8%
Embarque	96.117	89.399	-6.718	-7,0%	-6,9%	-8,2%
Desembarque	96.737	90.992	-5.745	-5,9%	-6,5%	-7,4%
Cruceros turísticos	3.042.217	3.137.918	95.701	3,1%	3,9%	2,9%
Embarque	834.986	877.622	42.636	5,1%	6,3%	3,9%
Desembarque	832.037	875.600	43.563	5,2%	6,6%	4,8%
Tránsito	1.375.194	1.384.696	9.502	0,7%	0,9%	1,0%
Mayo	404.585	461.917	57.332	14,2%		1,8%
Junio	456.735	510.846	54.111	11,8%		4,4%
Julio	571.335	573.536	2.201	0,4%		3,4%
Agosto	646.489	726.396	79.907	12,4%		5,4%
Septiembre	534.021	540.423	6.402	1,2%		4,7%
Octubre	505.493	462.225	-43.268	-8,6%		3,1%
Noviembre	275.824	312.672	36.848	13,4%		3,7%
Diciembre	173.576	147.128	-26.448	-15,2%		3,0%
Total	4.494.196	4.628.562				

ANEXO 3. Tabla de los lugares de Interés de la Región de Barcelona

Fuente: Ajuntament de Barcelona

Barcelona regió / Barcelona región / Barcelona region 

Llocs d'interès a Barcelona regió					
Lugares de interés en Barcelona región					
Places of interest in Barcelona region					
		2011	2015	2018	2019
1	La Roca Village	3.100.000	4.300.000	4.500.000	4.500.000 >
2	Viladecans The Style Outlets	-	-	2.500.000	2.700.000
3	Monestir de Montserrat	2.278.671	2.359.847	2.552.315	2.671.280 >
4	Circuit de Barcelona - Catalunya	589.470	570.210	558.443	576.891
5	Canal Olímpic de Catalunya de Castelldefels	213.642	262.000	220.000	220.000
6	Món Sant Benet	110.687	175.881	186.094	194.429
7	Espais Naturals del Delta del Llobregat	130.675	120.905	143.049	168.267
8	Parc Natural del Montseny	171.158	241.116	189.297	136.645
9	Museu de la Ciència i la Tècnica (MNACTEC) - Seu Terrassa	87.552	104.403	107.022	122.262
10	Catalunya en miniatura	70.000	123.063	115.132	120.364
TOTAL Top 10		7.421.328	9.001.268	11.874.222	12.312.787

Font: Oficina Tècnica de Parcs Naturals i els propis equipaments i els llocs d'interès
 Fuente: Oficina Tècnica de Parcs Naturals y los propios equipamientos y lugares de interés
 Source: Oficina Tècnica de Parcs Naturals and the facilities and places of interest themselves

ANEXO 4. Estadísticas por municipio de la población que trabaja fuera de su municipio y de los que vienen a trabajar de otros municipios.

Fuente: Universidad Nacional de Educación a Distancia.

Municipio	Comarca	Habitantes	Trabajan fuera / Vienen de fuera
Barcelona	Barcelonés	1 664 182	25% / +35%
Hospitalet de Llobregat	Barcelonés	269 382	+60% / 35%
Badalona	Barcelonés	223 166	60% / 40%
Santa Coloma de Gramanet	Barcelonés	120 443	+70% / 40%
San Cugat del Vallés	Vallés Occidental	92 977	60% / +65%
Cornellá de Llobregat	Bajo Llobregat	89 458	+65% / +65%
Sant Boi de Llobregat	Bajo Llobregat	84 500	+60% / +50%
Castelldefels	Bajo Llobregat	67 460	+60% / +35%
Viladecans	Bajo Llobregat	67.197	+70% / +45%
El Prat de Llobregat	Bajo Llobregat	65 385	50% / 70%
Sardañola del Vallés	Vallés Occidental	57 855	65% / +65%
Esplugas de Llobregat	Bajo Llobregat	47 150	75% / +70%
Gavá	Bajo Llobregat	47 057	+65% / 60%
San Feliu de Llobregat	Bajo Llobregat	45 467	70% / 55%
Ripollet	Vallés Occidental	39 179	+70% / 50%
San Adrián de Besós	Barcelonés	37 447	+75%/+65%
Moncada y Reixach	Vallés Occidental	36 803	65% / 65%
San Juan Despí	Bajo Llobregat	34 267	+65% / 70%

Barberá del Vallés	Vallés Occidental	33 334	70% / +75%
San Vicente dels Horts	Bajo Llobregat	30 768	70% / 55%
San Andrés de la Barca	Bajo Llobregat	27 569	+60% / 60%
Molins de Rey	Bajo Llobregat	25 940	+70% / 60%
San Justo Desvern	Bajo Llobregat	18 670	
Corbera de Llobregat	Bajo Llobregat	14 882	
Badia del Vallès	Vallés Occidental	13 415	
Castellbisbal	Vallés Occidental	12 539	
Montgat	Maresme	12 200	
Pallejá	Bajo Llobregat	11 622	
Cervelló	Bajo Llobregat	9077	
Tiana	Maresme	8945	
Santa Coloma de Cervelló	Bajo Llobregat	8268	
Begas	Bajo Llobregat	7300	
Torrellas de Llobregat	Bajo Llobregat	6073	
El Papiol	Bajo Llobregat	4172	
San Clemente de Llobregat	Bajo Llobregat	4160	
La Palma de Cervelló	Bajo Llobregat	2992	
Total		3 338 800	

ANEXO 5. Pasos a seguir para poder volar UAS en un CTR, por Enaire

Fuente: AENA

1. Realiza un Estudio Aeronáutico de Seguridad (EAS)/Evaluación y Atenuación del Riesgo Operacional (EARO) que analice los riesgos para el tipo de operación (ConOps) que deseas llevar a cabo en espacio aéreo controlado. Para ello, te facilitamos las siguientes plantillas, que se han desarrollado conjuntamente con AESA y el resto de ATSPs, para que particularices, según el tipo de operación que pretendes realizar, los campos marcados y la remitas junto con el certificado de registro como operador UAS: EARO Genérica, EARO A. Puedes consultar la siguiente infografía. El enlace se abre en una nueva ventana para resolver las dudas más frecuentes en el proceso de coordinación de EAS/EARO.

Podrás completar tu EARO con este catálogo de medidas de atenuación. El enlace se abre en una nueva ventana, incluyendo las medidas que correspondan según tu ConOps.

2. Accede a ENAIRE Planea. El enlace se abre en una nueva ventana, y a través del formulario de solicitud, envía tu EAS/EARO. La División de Seguridad de ENAIRE se pondrá en contacto contigo a través de la aplicación e iniciaréis la coordinación. Una vez finalizado este proceso, te entregaremos evidencia de la coordinación con ENAIRE para que puedas operar en espacio aéreo controlado en las condiciones reflejadas en tu EAS/EARO.

IMPORTANTE: Tu categoría de operación y clase de dron puede requerir autorización de AESA.

3. Una vez que tengas todo lo necesario para realizar tu operación, accede a ENAIRE PlaneaEl enlace se abre en una nueva ventana y consulta el mapa ENAIRE DronesEl enlace se abre en una nueva ventana para comprobar a quién dirigir tu solicitud de operación.

En caso de que sea ENAIRE, utiliza el formulario que encontrarás en la aplicación, y el Departamento de Coordinación Operativa del Espacio Aéreo (COOP) te indicará las condiciones y requisitos que deberás cumplir una vez se haya coordinado la operación.

4. El día que vayas a volar tu dron:

Comprueba los NOTAM en vigor y obtén tu Boletín de Información Previa al VueloEl enlace se abre en una nueva ventana (PIB).

Formula el plan de vuelo siguiendo esta guía específica para operadores RPASEl enlace se abre en una nueva ventana.

Atiende a las instrucciones que pueda darte por radio el controlador aéreo y sigue sus indicaciones como un usuario más del espacio aéreo.

Y, por último, cierra el plan de vuelo con la oficina ARO. Si la operación finalizase más allá del horario de la oficina ARO, realiza el cierre del plan de vuelo al día siguiente lo antes posible.

ANEXO 6. Edificios y estructuras más altas de Barcelona.

Fuente: Wikipedia

#	Edificio	Imagen	Altura (m)	Pisos	Año	Uso	Dirección, distrito y municipio	Ref.
1	Hotel Arts		154	44	1992	Hotel	Carrer de la Marina, 19-21 Ciudad Vieja Barcelona	14
2	Torre Mapfre		154	40	1992	Oficinas	Carrer de la Marina, 16-18 San Martín Barcelona	15
3	Torre Glòries		144	33	2004	Oficinas	Avenida Diagonal, 209-211 San Martín Barcelona	16
4	Habitat Sky		115	31	2008	Hotel	Carrer de Pere IV, 272-286 San Martín Barcelona	17

#	Edificio	Imagen	Altura (m)	Pisos	Año	Uso	Dirección, distrito y municipio	Ref.
5	Hotel Porta Fira		113	26	2010	Hotel	Plaza de Europa, 45-47 Distrito VI Hospitalet de Llobregat	18
6	Torre Realia BCN		112	24	2009	Oficinas	Plaza de Europa, 41 Distrito VI Hospitalet de Llobregat	19
7	Edificio Colón		110	28	1970	Oficinas	Avinguda de les Drassanes, 6-8 Ciudad Vieja Barcelona	10
8	Diagonal Zero Zero		110	25	2011	Oficinas	Avenida Diagonal, 0 San Martín Barcelona	20
9	Hotel Barcelona Princess		109	26	2004	Hotel	Avenida Diagonal, 3 San Martín Barcelona	21

#	Edificio	Imagen	Altura (m)	Pisos	Año	Uso	Dirección, distrito y municipio	Ref.
10	Torre Puig		109	22	2014	Oficinas	Plaza de Europa Distrito VI Hospitalet de Llobregat	22
11	Hesperia Tower		105	28	2006	Hotel	Gran Vía de Hospitalet, 144 Distrito VI Hospitalet de Llobregat	23
12	Hotel Catalonia		105	26	2012	Hotel	Plaza de Europa, 50 Distrito VI Hospitalet de Llobregat	24
13	Antares Barcelona		104	27	2021	Residencial	Rambla de Prim, 6 San Martín Barcelona	25
14	Torre Diagonal		104	27	2016	Residencial	Avenida Diagonal, 131 San Martín Barcelona	26

#	Edificio	Imagen	Altura (m)	Pisos	Año	Uso	Dirección, distrito y municipio	Ref.
15	Torre Werfen		104	25	2009	Oficinas	Plaza de Europa, 21-23 Distrito VI Hospitalet de Llobregat	27
16	Torre Inbisa		104	25	2008	Oficinas	Plaza de Europa, 9-11 Distrito VI Hospitalet de Llobregat	28

#	Edificio	Imagen	Altura (m)	Año	Uso	Dirección, distrito y municipio	Ref.
1	Torre de Collserola		288	1992	Telecomunicaciones	Camino de Vallvidrera al Tibidabo, 12 Sarriá-San Gervasio Barcelona	96
2	Central térmica de San Adrián		200	1976	Central eléctrica	Avenida de Eduard Maristany	97

#	Edificio	Imagen	Altura (m)	Año	Uso	Dirección, distrito y municipio	Ref.
						San Adrián de Besós	
3	Templo Expiatorio de la Sagrada Familia ^{n. 2}		170	2026	Iglesia	Calle de Mallorca, 401 Ensanche Barcelona	99
4	Torre de Comunicaciones de Montjuïc		136	1992	Telecomunicaciones	Calle de Pierre de Coubertin, 7-8 Sants-Montjuïc Barcelona	100
5	Central térmica del Besós		110		Central eléctrica	San Adrián de Besós	101
6	Torre Jaime I		107	1931	Torre de teleférico	Moll de Barcelona, s/n Ciudad Vieja Barcelona	102

ANEXO 7. REQUERIMIENTO DE LOS VERTIPUERTOS

Por definición, un vertipuerto es un tipo de aeropuerto destinado a aeronaves que aterrizan y despegan verticalmente.

Existen dos tipos de vertipuertos muy diferenciados:

- El vertipuerto a ras de suelo con una base muy tradicional consistente en una superficie plana en el suelo casi idéntica a los helipuertos clásicos.
- Un modelo elevado sobre edificios de gran estatura desde los que transportar personas y objetos.

En este proyecto se pretende usar los dos tipos de vertipuertos.

7.1 Vertipuertos a ras del suelo

Estos vertipuertos son los que se encontraran principalmente en los municipios del exterior de Barcelona. Estos municipios disponen de muchas más superficies sin edificar a ras del suelo donde emplazar estas infraestructuras. Al tener más espacio, estos vertipuertos serán más grandes y podrán ubicarse más plataformas de despegue y/o estacionamientos de aerotaxis.

Los usuarios que usarán estos vertipuertos vendrán en su mayoría en vehículo propio así que ha de disponer también de un parque de estacionamiento para coches en sus alrededores.

Además, estos vertipuertos son los que formaran parte de la red Interurbana. Esta red tiene como principal objetivo aliviar la congestión en las vías de entrada a Barcelona. Por tanto, un vertipuerto mayor permitirá aumentar el flujo de pasajeros en dirección a la urbe de Barcelona.

Actualmente, hay varias empresas que ya han diseñado vertipuertos de este estilo.

Ferrovial Vertipuertos es una empresa líder en la gestión de infraestructuras aeroportuarias y lideran el desarrollo de redes de vertipuertos interconectadas y sostenibles en todo el mundo.

Una de sus propuestas de vertipuerto a ras del suelo es la que se muestra en la siguiente imagen (Ver Ilustración [28]).



Ilustración 27 Diseño de vertipuerto por Ferrovial Vertipuertos [39]

El lado Aire de este vertipuerto está diseñado con 2 plataformas de aterrizaje y despegue y tiene espacio para que estacionen hasta 8 aerotaxis más.

El sistema de funcionamiento sería similar al de un aeropuerto convencional. Los pasajeros embarcarían en las aeronaves desde la terminal, y una vez a bordo, ésta se desplazaría por las rutas marcadas en el suelo en amarillo hasta las plataformas de aterrizaje y despegue. De la misma manera, cuando aterrizase un aerotaxi, se desplazaría hasta la terminal para desembarcar a los pasajeros.

El lado Tierra dispone de un gran aparcamiento para coches.

Este modelo de vertipuerto a ras del suelo encaja perfectamente con las necesidades de este proyecto.

7.2 Vertipuertos Elevados

En las grandes urbes como Barcelona, el espacio disponible es muy reducido y el emplazamiento de vertipuertos a ras del suelo es prácticamente imposible.

En las zonas céntricas, como son el Eixample o Ciutat Vella, no hay espacio para la construcción de vertipuertos a ras del suelo. La solución que se ha encontrado a este problema son los vertipuertos elevados.

Estas estructuras están diseñadas para emplazarse en lo alto de edificios de la zona urbana. Este diseño tiene varias ventajas:

- Las aeronaves no necesitan ascender ni descender tanto, derivando en ganancia de tiempo y energía.
- Hay menos obstáculos a su alrededor y las operaciones de aterrizaje y despegue son más seguras.

Estos vertipuertos, aunque necesarios, parece ser que no han sido objeto de tanta atención para las empresas que diseñan vertipuertos. Ferroviario mismo, por ejemplo, no ofrece diseños para este tipo de vertipuertos.

7.3 Diseño de un vertipuerto elevado

Debido a las pocas alternativas ofrecidas para el diseño de un vertipuerto de este estilo, en este apartado se realizará un estudio para diseñar un vertipuerto elevado que se adecue a las necesidades de este proyecto.

Las características de la nave escogida para operar en la UAM de Barcelona son las siguientes:

- **Envergadura:** 10,7 m
- **Longitud:** 7,3 m
- **Peso:** 1815 kg

7.3.1 Especificaciones de un vertipuerto

A continuación, se extraen los requerimientos principales en cuanto a tamaños y distancias de seguridad de los vertipuertos, contenidos en el documento guía publicado por EASA [40].

Los vertipuertos deben comprender un área FATO. Estas áreas son las encargadas de proveer un área libre de obstáculos (a excepción de los objetos esenciales que debido a su función están ubicados en él), y de tamaño y forma suficientes para asegurar los procedimientos de aterrizaje y despegue. También asegura una superficie resistente a los efectos de la corriente descendente generada por los rotores de las aeronaves.

El diámetro de la FATO ha de medir 1,5 veces la "D". Se considera "D" el diámetro del círculo más pequeño que rodea el aerotaxi con proyección sobre un plano horizontal, mientras la aeronave se encuentra despegando o aterrizando con los rotores girando. En el caso del S4-eVTOL a D equivale a 10,7 m.

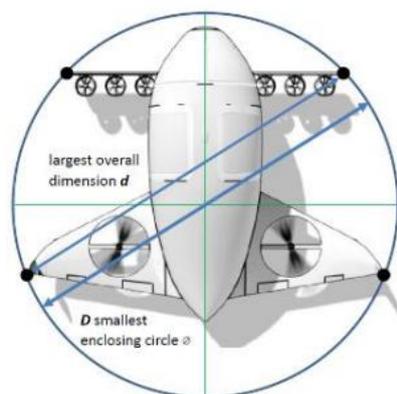


Ilustración 28 Guía para obtener la D de un eVTOL

La FATO ha de estar rodeada por un Área de Seguridad. El objetivo de la SA es proporcionar un área libre de obstáculos que se extienda más allá de la FATO, para compensar los errores de maniobra en condiciones ambientales adversas.

La SA ha de tener una separación con la Fato de 3 metros.

7.3.2 Superficie disponible

Este vertipuerto está pensado para la red de movilidad aérea de Barcelona. Según se ha visto anteriormente, se propone emplazar estos vertipuertos en las azoteas de edificios como hoteles o centros comerciales.

A partir del apartado 3.2.3 de este proyecto, se calculan las dimensiones de las azoteas de algunos de los hoteles y espacios sugeridos gracias a la herramienta de medición de google mapas:

- Expo Hotel Barcelona: 32x44 m
- Hotel Sofia: 22x40 m
- Radisson Blu Hotel: 26x34 m

- Centros Comerciales Diagonal Mar y La Maquinista: 45x45

7.3.3 Diseño del vertipuerto

El objetivo es poder hospedar hasta cuatro taxis aéreos en cada vertipuerto urbano para poder cubrir la demanda de aerotaxis que provienen de la red Interurbana.

Para ello, se ha diseñado el siguiente vertipuerto.

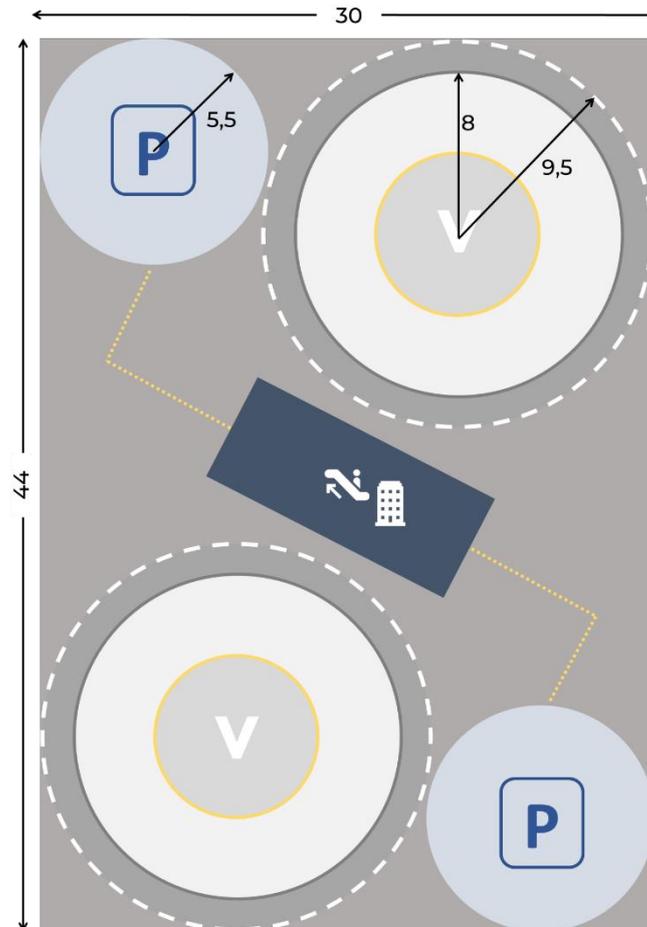


Ilustración 29 Diseño de un vertipuerto elevado

Este vertipuerto de dimensiones 44x30 m contiene dos áreas de aterrizaje y despegue cada una en esquinas opuestas, y en las otras esquinas se encuentran dos estacionamientos de aerotaxis. En el centro se ubica un pequeño edificio de 6 x 12 m que cumple con la función de terminal y es la entrada al vertipuerto. El diseño cumple con las especificaciones propuestas en el apartado 5.3.1. Las FATO tienen un diámetro de 16 m y a su alrededor hay un Área de Seguridad con una distancia de 3 metros.

Si se analizan las superficies analizadas en el anterior apartado, este vertipuerto podría construirse tanto en los centros comerciales como en el Expo Hotel. En el hotel Sofía faltan 4 metros de largo y 8 de ancho. Una solución sería aumentar la superficie de la azotea en 2 metros por cada lado de largo, y 4 por cada lado de ancho. En el Hotel Radisson blue faltan 4 metros de ancho y 10 de largo. De la misma forma, podría aumentarse la superficie de la azotea con plataformas de 2 metros en el ancho y 5 metros de largo en el largo.

A continuación se muestra un boceto hecho a mano para tener una imagen 3D y con perspectiva del vertipuerto elevado diseñado.

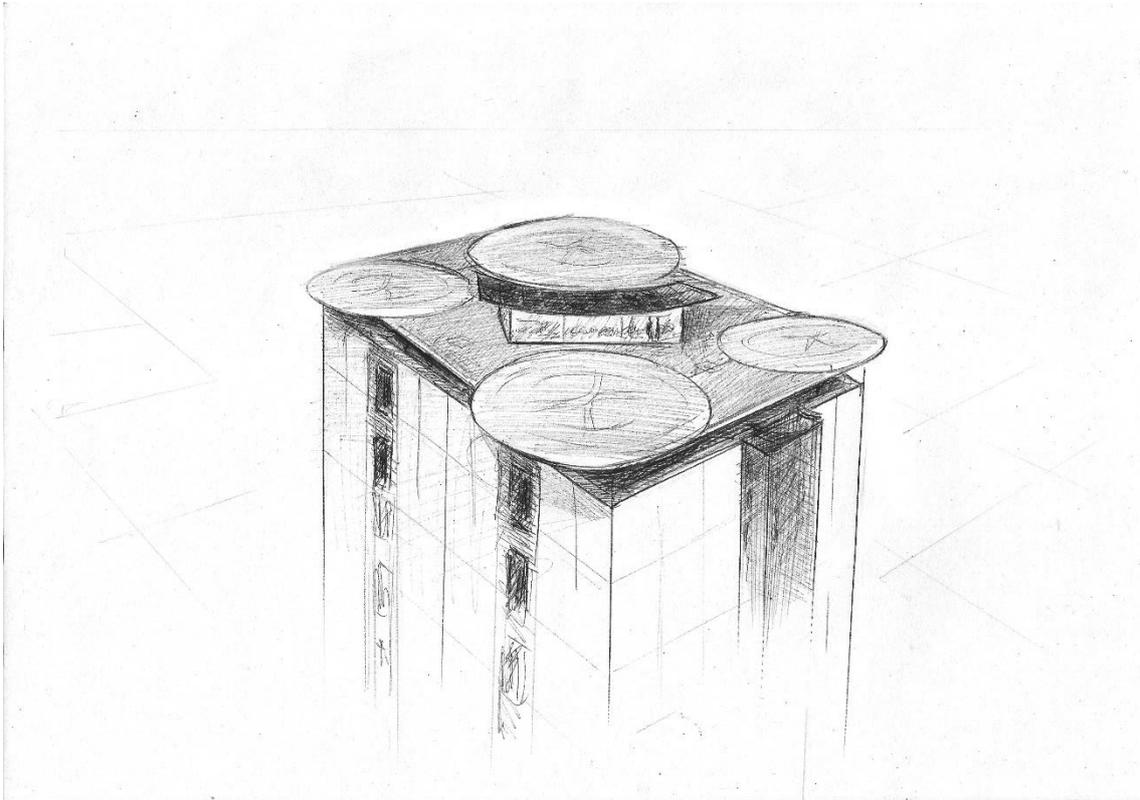


Ilustración 30 Boceto a mano de un vertipuerto urbano