



UNIVERSIDAD EUROPEA DE MADRID

ESCUELA DE ARQUITECTURA, INGENIERÍA Y DISEÑO

Máster Universitario en Ingeniería Aeronáutica

TRABAJO FIN DE MÁSTER

El Futuro de la Movilidad Aérea Urbana

Lourdes María Fernández Casas

Junio 2024

Título: El Futuro de la Movilidad Aérea Urbana

Autor: Lourdes María Fernández Casas

Tutor: Ernesto de la Fuente Cantarino

Titulación: Master Universitario en Ingeniería Aeroespacial (Habilitante)

Curso: 2º



RESUMEN

La movilidad aérea urbana (UAM), la cual será operada por aeronaves de despegue y aterrizaje vertical totalmente eléctricos (eVTOL), representa una nueva manera para el transporte urbano y suburbano cuyo objetivo persigue la descongestión del tráfico de una manera sostenible y eficiente. Empresas pioneras como son Lilium, Joby Aviation o Crisalio se encuentran en desarrollo de estas aeronaves, haciendo especial esfuerzo en la disminución del ruido, en la seguridad y en la eficiencia. En Europa, la Agencia de Seguridad Aérea (EASA) se encuentra también en desarrollo de un marco regulatorio y normativo para la operación correcta de los eVTOL y los vertipuertos, donde se realizarán las operaciones. En España también se quiere implementar este nuevo medio de transporte, donde empresas como Ferrovial Aeropuertos, DatActionS o Crisalia están en desarrollando y trabajando en la UAM para implantar este medio de transporte en ciudades clave del país. La aceptación social y la percepción de seguridad de los ciudadanos son críticos para el éxito de este medio. Ese Trabajo Fin de Máster tiene como objetivo principal analizar el estado actual de la movilidad aérea y analizar el futuro del mismo, evaluando las tecnologías actuales que se encuentran en desarrollo, la infraestructura que será necesaria, la normativa y regulaciones que se deberán de cumplir y la aceptación por parte de la sociedad. A través de un análisis, se podrán observar tanto desafíos actuales como posibles oportunidades para la integración de la movilidad aérea urbana.

Palabras clave: UAM, eVTOL, vertipuerto, EASA

ABSTRACT

Urban air mobility (UAM), which will be operated by fully electric vertical take-off and landing (eVTOL) aircraft, represents a new way for urban and suburban transportation whose objective is to decongest traffic in a sustainable and efficient way. Pioneering companies such as Lilium, Joby Aviation or Crisalio are developing these aircraft, making special efforts to reduce noise, safety and efficiency. In Europe, the Aviation Safety Agency (EASA) is also developing a regulatory framework for the correct operation of eVTOLs and vertiports, where operations will be carried out. In Spain they also want to implement this new means of transport, where companies such as Ferrovial Aeropuertos, DatActionS or Crisalia are developing and working at the UAM to implement this means of transport in key cities in the country. Social acceptance and citizens' perception of security are critical to the success of this medium. The main objective of this Master's Thesis is to analyze the current state of air mobility and analyze its future, evaluating the current technologies that are under development, the infrastructure that will be necessary, the regulations and regulations that must be complied with and acceptance by society. Through an analysis, both current challenges and possible opportunities for the integration of urban air mobility can be observed.

Key words: UAM, eVTOL, vertipuerto, EASA

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer en primer lugar a mi familia, que siempre ha estado ahí para apoyarme y aconsejarme en todos los ámbitos de mi vida.

También agradecer a mis amigas que me han acompañado durante tantos años y que siempre han estado ahí.

A todos los profesores que me han estado formando durante el desarrollo del máster y que siempre han tenido un hueco para echar una mano.

A mi tutor Ernesto, que siempre ha estado disponible para ayudar y aconsejarme en el desarrollo del proyecto.

Muchas gracias a todos.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	5
ABSTRACT	5
AGRADECIMIENTOS	6
ILUSTRACIONES	8
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	10
1.1. Objetivos	10
1.2. Estructura del proyecto	10
CAPÍTULO 2. MOVILIDAD AÉREA	11
2.1. Prototipos de aeronaves	11
2.2. Infraestructuras, vertipuertos	22
CAPÍTULO 3. NORMATIVAS Y REGULACIONES	34
3.1. Espacio aéreo	34
3.2. VTOL	39
3.3. Vertipuertos	42
CAPÍTULO 4. DISEÑO E INTEGRACIÓN DE VERTIPUERTOS EN ENTORNOS URBANOS Y SUBURBANOS	46
4.1. Planificación	46
4.2. Diseño	60
CAPÍTULO 5. IMPACTO AMBIENTAL	67
CAPÍTULO 6. IMPACTO SOCIAL	70
CAPÍTULO 7. EL FUTURO DE LA MOVILIDAD AÉREA URBANA. CONCLUSIONES	74
REFERENCIAS & BIBLIOGRAFÍA	76

ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Imagen conceptual de la Movilidad Aérea Urbana	11
Ilustración 2. Prototipo Integrity	12
Ilustración 3. Lilium Jet.....	13
Ilustración 4. Motor de Lilium a reacción eléctrico.....	13
Ilustración 5. Especificaciones del demostrador CityAirbus	15
Ilustración 6. Boceto y prototipo de Vahana	16
Ilustración 7. CityAirbus NextGen	16
Ilustración 8. Joby Aviations eVTOL aircraft.....	17
Ilustración 9. Prototipo Volocity de Volocopter.....	19
Ilustración 10. EH216 de la Policía Nacional	20
Ilustración 11. Archer Aviation Midnight eVTOL.....	21
Ilustración 12. Vertical Aerospace VX4	22
Ilustración 13. Concepto de vertipuertos en diferentes áreas	24
Ilustración 14. Diseño real de VoloPort mostrado durante el Intelligent Transport Systems World Congress en Singapur en 2019	24
Ilustración 15. Diseño del Urban Air Port en zona terrestre, marítima y aire	26
Ilustración 16. Posibles localidades estratégicas en Alemania. Red de infraestructura Lilium ..	28
Ilustración 17. Comparativa medios de transporte entre las ciudades Nueva York – Philadelphia	29
Ilustración 18. Posible localidad estratégica en Nueva York.....	29
Ilustración 19. Posible localidad estratégica en Dubai.....	30
Ilustración 20. Posibles localizaciones estratégicas en la India.....	31
Ilustración 21. Propuestas de ubicación de vertipuertos para operar el VX4.....	32
Ilustración 22. (a) (b) (c)	43
Ilustración 23. Representación parada emergencia	43
Ilustración 24. FATO + Safety area	44
Ilustración 25. Fases para la puesta en marcha de una instalación aeroportuaria	47
Ilustración 26. ESQUEMA 1. Competencia de la Comunidad Autónoma.....	50
Ilustración 27. ESQUEMA 2. Competencia del Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible	50
Ilustración 28. Posible infraestructura en Madrid	56
Ilustración 29. Posible infraestructura en Barcelona	57
Ilustración 30. Posible infraestructura en Valencia	58
Ilustración 31. Posible infraestructura en el País Vasco	58
Ilustración 32. Posible infraestructura en Sevilla.....	59
Ilustración 33. Posible infraestructura en Málaga	60
Ilustración 34. Área FATO. Fuente: PTS-VPT-DSN	61
Ilustración 35. Áreas de seguridad. Fuente: PTS-VPT-DSN	62
Ilustración 36. Despegue y aterrizaje, superficie. Fuente: PTS-VPT-DSN.....	62

Ilustración 37. Longitud de la anchura mínima para el despegue y aterrizaje. Fuente: PTS-VPT-DSN.....	63
Ilustración 38. Parámetros del área de despegue y aterrizaje. Fuente: PTS-VPT-DSN	64
Ilustración 39. Área pista de rodaje. Fuente: PTS-VPT-DSN.....	64
Ilustración 40. Áreas destacadas de un vertipuerto	65
Ilustración 41. Propuesta de diseño de un vertipuerto en una superficie en tierra.....	66
Ilustración 42. Propuesta de diseño de un vertipuerto en zona costera/puerto marítimo.....	66
Ilustración 43. Propuesta de diseño de un vertipuerto en una superficie elevada (ej. Azotea). 66	
Ilustración 44. Utilidad percibida hacia la UAM por parte de los ciudadanos de Barcelona. Fuente: EASA	71
Ilustración 45. Beneficios que podría traer la UAM a las ciudades. Fuente: EASA	71
Ilustración 46. Actitud general hacia la UAM por parte de los ciudadanos de Barcelona. Fuente: EASA	71
Ilustración 47. Beneficios de los aerotaxis para los ciudadanos de Barcelona. Fuente: EASA ...	72
Ilustración 48. Nivel de aceptación de los aerotaxis pilotados o autónomos. Fuente: EASA	72
Ilustración 49. Preocupaciones sobre los vertipuertos. Fuente: EASA	72
Ilustración 50. Preocupaciones ambientales con respecto a los aerotaxis. Fuente: EASA	73
Ilustración 51. Declaraciones negativas con respecto a los aerotaxis en Barcelona. Fuente: EASA	73

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

La Movilidad Aérea Urbana, conocida por sus siglas UAM, en inglés Urban Air Mobility, es un concepto que une la ingeniería aeroespacial con el transporte dado el futuro incremento de la población que vivirá en núcleos urbanos. Se estima que solo aproximadamente el 32% de la población vivirá en 2050 fuera de estos núcleos urbanos.

Este incremento provoca un gran problema en cuanto a la infraestructura de la movilidad, ya que podemos observar en la actualidad problemas dentro de las ciudades como los largos periodos de transporte de un punto a otro debido a la congestión del tráfico, lo que produce un tiempo malgastado en cuanto a productividad, contaminación, etc.

A raíz de detectar diferentes problemas respecto a este tema, surgió la necesidad de incrementar el diseño de las ciudades junto a la tecnología utilizada para enfocarse en el plano espacial y no solo en el terrestre, para así usar el aire como medio de transporte no solo de población, sino de mercancías.

El proyecto de la movilidad aérea urbana se enfoca principalmente en potenciar la reducción de ruido y la contaminación, enfocándose en la sostenibilidad que queremos conseguir en el futuro, respetando así al medio ambiente. Para ello, se quiere integrar usando energías renovables.

1.1. Objetivos

El objetivo de este proyecto es realizar un estudio actual sobre que se espera sobre la movilidad aérea urbana y su futuro, enfocándonos en las posibilidades que traerá, tipos de vehículos utilizados, espacio donde podrían desarrollarse los distintos tipos de vertipuertos. Todo ello respetando las normativas y regulaciones que se están llevando a cabo para este tipo de vehículos y movilidad. Además, se deberá de tener en cuenta tanto la sostenibilidad y el medio ambiente, como el impacto social y económico que tendrá en la población.

Por ello, el objetivo principal de este proyecto es el estudio de la integración de la movilidad aérea dentro de los núcleos de población.

1.2. Estructura del proyecto

Este proyecto se dividirá en siete capítulos, tal y como se presenta en el índice del proyecto (página 7) donde podremos observar los diferentes capítulos que se van a desarrollar y donde en cada uno se especificarán detalles con respecto al tema.

CAPÍTULO 2. MOVILIDAD AÉREA

Como se ha mencionado en la Introducción, la Movilidad Aérea Urbana (UAM) es el futuro en cuanto al transporte de personas y mercancía en entornos de densa población, tanto urbanas como suburbanas, como técnica para solucionar problemas de aumento de población, lo que conlleva a un aumento del tráfico terrestre, provocando una congestión del mismo. Lo que se quiere conseguir con la UAM es la descongestión del tráfico de una manera sostenible y accesible para la población.



Ilustración 1. Imagen conceptual de la Movilidad Aérea Urbana

Los ámbitos socioeconómicos, de aceptación social, normativa y regulaciones, seguridad y la gestión del tráfico entre otros, se tratarán durante el desarrollo de este proyecto.

Actualmente se están desarrollando diferentes tipos de aeronaves con el mismo propósito, teniendo en común la característica eVTOL.

2.1. Prototipos de aeronaves

En primer lugar, para la gestión de la movilidad aérea urbana se están llevando a cabo diferentes prototipos, actualmente en desarrollo, con los que se podrá realizar dicha misión, para diferente volumen de personas/cargamento. Por ello, se quiere seguir la línea de aeronaves EVTOL, cuyas siglas significan en inglés Electric Vertical Take-Off and Landing. Como su nombre indica, son aeronaves cuyo despegue y aterrizaje se realiza de manera vertical, sin necesidad de una pista de despegue y aterrizaje de grandes dimensiones. Además, se le une la característica de eléctrico, lo que ayudará a mantener la línea de sostenibilidad y reducción de CO₂ que se quiere seguir, disminuyendo el uso de combustibles fósiles en el futuro.

La producción de los eVTOL aún está en proceso de desarrollo donde ya existen diversos modelos.

Podemos encontrar numerosos prototipos que podrían llegar a incorporarse para el futuro de la UAM. A continuación, vamos a hablar sobre diferentes prototipos que están en desarrollo con el objetivo de ver en qué punto nos encontramos en la actualidad.

Crisalion Mobilty

Crisalion Mobility, la antigua Umiles Next, fundada en 2019, es una empresa española que se encuentra desarrollando prototipos de aeronave de despegue y aterrizaje vertical totalmente eléctricas (eVTOL) para el transporte de pasajeros y carga para operaciones tanto urbanas como suburbanas.

Crisalion ha desarrollado tecnología clave y patentada, denominada FlyFree. FlyFree es una tecnología de propulsión que controla los movimientos que realiza el eVTOL en todas las direcciones, proporcionando estabilidad y seguridad. Para conseguirlo, se desarrolló un software que controla las unidades de propulsión de manera individual para la estabilidad, maniobrabilidad y eficiencia de las operaciones con la aeronave.

Su primer Prototipo denominado Concept, sirvió para probar el software FlyFree, con el cual realizaron numerosos vuelos entre 2019 y 2022.

Su actual prototipo, es un eVTOL de corto-medio alcance denominado Integrity. Está diseñada para transportar hasta cinco pasajeros y contará con un piloto. Tiene un alcance máximo de 130 kilómetros y una velocidad aproximada de 180 km/h. Esta pensado para la realización de múltiples aplicaciones de la UAM, donde destacan el transporte de pasajeros, emergencias y el transporte de carga. También están en desarrollo de vehículos eléctricos terrestres totalmente autónomos controlados por un centro de control para garantizar la seguridad en todo momento.

Actualmente se encuentran en proceso de diseño y certificación. En marzo de 2024 presentaron en las instalaciones de Mobility City las innovaciones y su aeronave Integrity. Anunciaron que estará disponible para empezar las operaciones urbanas y suburbanas a partir del año 2030.



Ilustración 2. Prototipo Integrity

Lilium Jet



Ilustración 3. Lilium Jet

La empresa alemana Lilium GmbH está desarrollando un proyecto, denominado Lilium Jet para su uso en la movilidad aérea urbana.

Lilium GmbH fue cofundada en 2015, desarrollando varios prototipos donde destaca el Lilium Pegasus, prototipo de siete asientos, el cual se está llevando a cabo junto con Aciturri y Aernnova. Su planteamiento inicial fue la entrada en servicio de su Lilium Jet como servicio de taxi aéreo para 2025.

Lo más destacable además de su característica VTOL, son sus motores, basados en los motores comerciales pero más simples e impulsados por un motor eléctrico con cero emisiones.

Podremos encontrar diferentes configuraciones, variando la cantidad de asientos desde cuatro a seis e incluso podrá atender por completo el mercado de logística quitando todos los asientos. Además, busca la certificación tanto con la Agencia Europea de Seguridad Aérea (EASA) como con la Administración Federal de Aviación (FAA).

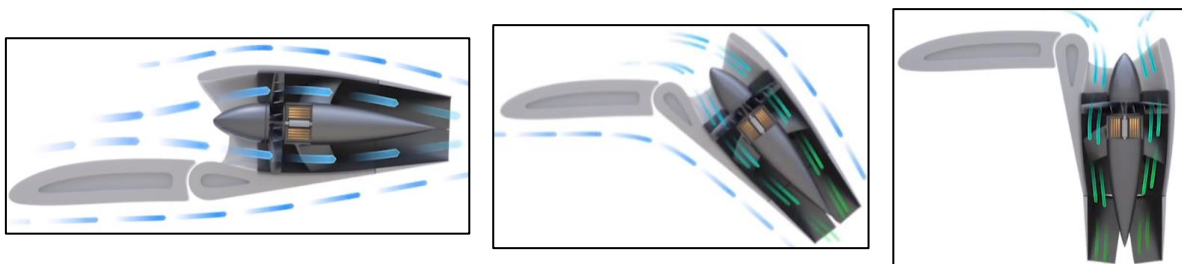


Ilustración 4. Motor de Lilium a reacción eléctrico

Por lo tanto, Lilium Jet se describe como una aeronave de despegue y aterrizaje VTOL, sistema de múltiples rotores eléctricos pequeños distribuidos en sus alas, y una propulsión eléctrica, que le proporciona una gran reducción del ruido, haciéndolo más silencioso y sostenible. En la propuesta de diseño, presentan una capacidad de entre cuatro a seis pasajeros o transporte de mercancía, alcanzando un máximo de 300 kilómetros y hasta 300 km/h. En un principio, el Lilium Jet será operado por un piloto, garantizando así la seguridad y la confianza inicial de los pasajeros en la aeronave.

A día de hoy se pueden encontrar algunos desafíos entre los que se encuentran la certificación y seguridad, el desarrollo de la infraestructura (vertipuertos), la gestión del tráfico aéreo y el impacto y aceptación social.

En noviembre de 2023, desde la web oficial de Lilium, se anunció la aprobación de diseño por parte de EASA, lo que confirma que cumple con los estándares regulatorios de desarrollo de aviones comerciales según la Parte 21. Por lo tanto, Lilium puede diseñar y tener un certificado de tipo según las reglas SC_VTOL de EASA. Además, esta aprobación le ayudará en el proceso de certificación con la FAA y ayudará a la aceptación social de la movilidad aérea urbana.

En cuanto al desarrollo de la infraestructura, Lilium y Fraport, una compañía de transporte alemana, anunciaron en enero de 2024 a través de la web oficial de Lilium que colaborarán en el estudio de una posible infraestructura para su red comercial en aeropuertos en Alemania y otros países pertenecientes a la Unión Europea. Su objetivo principal es enfocarse en el diseño de redes de vertipuertos en los aeropuertos y las zonas de alrededor. Han anunciado la inclusión de Aeropuertos como Stuttgart, Munich, Nuremberg, Colonia-Bonn y Düsseldorf.

Lilium por su parte está realizando estudios para implementar dichas redes de eVTOL con aeropuertos, teniendo en cuenta el tráfico aéreo, las ubicaciones de esta infraestructura, y las posibles rutas, gracias a diferentes acuerdos con asociaciones y partes públicas y privadas con el objetivo de potenciar la aviación eléctrica. Su mayor desafío es determinar qué impacto supondría esta red eVTOL en el entorno aeroportuario.

El Grupo Lufthansa también se asoció junto a Lilium, asentando las bases de una asociación estratégica para operar dicha red aérea. Su objetivo es asociarse en cuanto a las operaciones tanto en tierra como en vuelo, el mantenimiento de dichas aeronaves, la formación del personal, etc.

A su vez, Lilium junto a AJW Group colaborarán en la gestión de materiales y componentes de la aeronave, incluyendo reparaciones y distribuciones, para las operaciones de la aeronave eVTOL.

En cuanto al mercado fuera de la Unión Europea, CITIC Offshore Helicopter, empresa cuya sede reside en China, se ha asociado junto a Lilium para la instalación de una red aérea de

eVTOL de Lilium para ser instaurada en primer lugar en la Gran Bahía de China, la isla de Hainan y Tianjin. A su vez, Lilium se ha asociado con otros proveedores de China, con el objetivo de expandir su mercado.

En diciembre de 2023, se estimaba una cifra aproximada de demanda en el mercado de nueve mil doscientos aviones eVTOL Lilium Jet hasta 2035.

CityAirbus NextGen

La empresa europea Airbus, concretamente Airbus Helicopters esta trabajando en un prototipo para la movilidad aérea urbana eVTOL.

Su concepto de transporte de personas entre entornos urbanos y suburbanos, conocido como CityAirbus NextGen, cuenta con este medio de transporte para complementar a aquellos existentes y crear una manera nueva del transporte.

Airbus ha desarrollado dos demostradores eVTOL, el CityAirbus y el Vahana de los cuales tras años invertidos en estos conceptos surgió el CityAirbus NextGen, una nueva generación de eVTOL con mejoras en cuanto al diseño.

El CityAirbus, estaba pensado para ser un vehículo de cuatro asientos y pilotado de manera remota, es decir, sin necesidad de un piloto a bordo. Este diseño, también con despegue y aterrizaje vertical, utiliza motores totalmente eléctricos para lograr dicha movilidad urbana sin producir emisiones contaminantes. Dicho prototipo realizó diferentes pruebas de vuelo y tierra para estudiar las operaciones seguras y la autonomía alcanzable. Su último vuelo fue en 2021.



Ilustración 5. Especificaciones del demostrador CityAirbus

Por otro lado, el demostrador Vahana, era un prototipo de una única plaza también pensado para tener aterrizaje y despegue vertical, además de ser totalmente eléctrico.

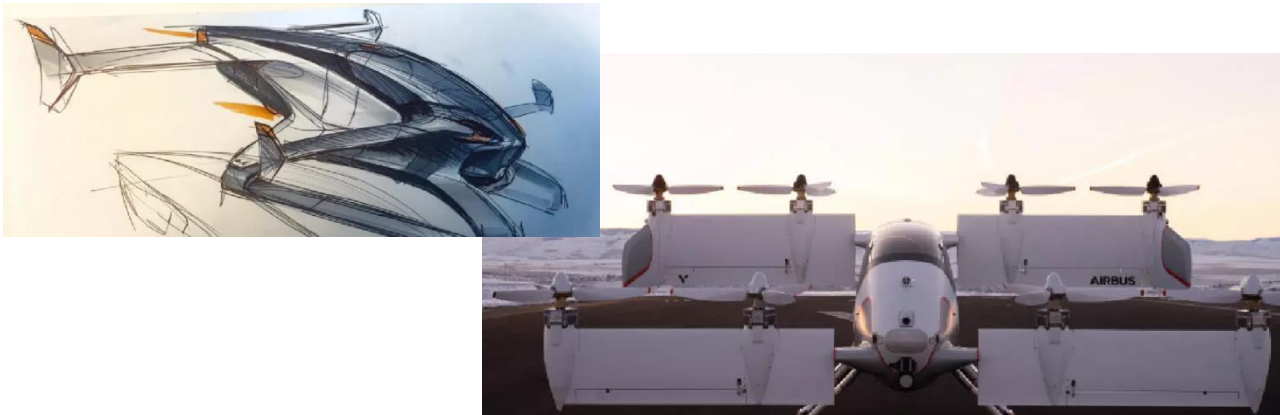


Ilustración 6. Boceto y prototipo de Vahana

Este prototipo realizó aproximadamente 138 vuelos de prueba, donde querían demostrar principalmente un correcto despegue y aterrizaje vertical de manera eléctrica y comprobar el correcto alcance de la autonomía y así evitar peligros futuros. Su último vuelo se realizó en 2019, dando paso a CityAirbus.

Estos prototipos sirvieron para avanzar en la tecnología y sentar las bases para su actual prototipo, el CityAirbus NextGen.

Actualmente dicho prototipo cuenta con un alcance operativo de 80 km y una velocidad de crucero de hasta 120 km/h.



Ilustración 7. CityAirbus NextGen

Dicho prototipo presenta un diseño de cola con forma de V, alas fijas y un total de ocho hélices eléctricas que aseguran un funcionamiento al estilo eVTOL. El diseño tiene también en cuenta un vuelo silencioso, dado que está pensado para volar por zonas tanto urbanas como suburbanas, permitiendo así una buena integración y aceptación social. Esta

pensado tanto para transporte de pasajeros, como servicios médicos e incluso para el turismo.

CityAirbus NextGen deberá cumplir con la certificación de la EASA SC-VTOL (Special Condition for small-category VTOL aircraft).

El pasado 7 de marzo de 2024, Airbus presentó su prototipo, cuyo primer vuelo se realizará a finales de 2024. Las pruebas finales para la puesta en marcha de cara al vuelo se realizarán en su nuevo centro de pruebas en Donauwörth, donde seguirán probando los motores además de diferentes sistemas, aviónica y controles de vuelo.

Asimismo, Airbus está realizando diferentes gestiones comerciales en relación con la gestión del tráfico aéreo para lo que llama “Advanced Air Mobility” (AAM), donde firmó un acuerdo con LCI (Lease Corporation International) para desarrollar diferentes modelos de negocio para la comercialización y financiación de este nuevo modelo de transporte. El objetivo de esta asociación es el impulso y la creación conjunta de ecosistemas y hojas de ruta, estudiando el mercado y los diferentes pronósticos para así desarrollar la industria de la movilidad aérea urbana.

Joby Aviation’s eVTOL Aircraft

Joby Aviation, compañía respaldada por empresas de los Estados Unidos de America, por su parte está desarrollando un avión con las mismas características e VTOL, cuya misión principal será la de operar como taxi aéreo además de transporte de carga.

El eVTOL cuenta con una capacidad para cuatro pasajeros y el piloto, donde se podrán alcanzar una distancia de vuelo de aproximadamente 240km (con una sola carga) y velocidades hasta 300 km/h.



Ilustración 8. Joby Aviations eVTOL aircraft

La primera entrega de Joby Aviation a la Fuerza Aérea de Estados Unidos ha sido realizada donde además la NASA utilizará dicho avión para el estudio de la inclusión de este en el espacio aéreo urbano, siendo introducido como un taxi aéreo.

Tanto Joby como la Fuerza Aérea realizaran diversos vuelos de manera conjunta para así demostrar las capacidades de dicha aeronave para así poder lanzar el servicio para pasajeros sobre el año 2025.

Además, Joby Aviation se ha aliado con Emiratos Árabes Unidos para operar dicho eVTOL en Dubai durante seis años a partir de 2026.

También ha establecido un acuerdo con Skyports, empresa especializada en vertipuertos, con el objetivo de construir y operar cuatro vertipuertos en Dubai. Los cuatro puntos clave que establecerán para el servicio de taxi aéreo, actualmente serán el Aeropuerto Internacional de Dubai, Palm Jumeirah, Dubai Marina y Dubai Downtown.

Actualmente, Joby Aviation cuenta con una instalación en Ohio donde pretende fabricar 500 eVTOL al año. Además ya ha obtenido la tercera de las cinco etapas del proceso de certificación con la FAA además de haber realizado pruebas de vuelo en Nueva York de manera totalmente exitosa.

Esta aeronave ha sido la primera eVTOL en Estados Unidos en llegar a esta fase del proceso de certificación con la FAA (Administración Federal de Aviación de los Estados Unidos) para la obtención de su certificado de tipo, donde además ha realizado pruebas de vuelo con pilotos a bordo y ha formado a cuatro pilotos de la fuerza Aérea Americana.

Volocopter's VoloCity

VoloCity, es otro prototipo eVTOL diseñado y producido por la empresa Volocopter de origen alemán. Este prototipo es la cuarta generación tras el Volocopter VC200/2X. Su primer vuelo con pasajeros en el interior se produjo en el año 2022. Actualmente se plantea la idea de ser usado en los juegos olímpicos de 2024.

Este prototipo consta de 18 motores y dos estabilizadores verticales. Además de contar con un piloto (o la posibilidad futura de piloto automático), podrá llevar un pasajero. Tiene un alcance de 35 kilómetros y una velocidad de crucero de 100 km/h, destinado especialmente a la misión de aero taxi. Su principal objetivo es transportar pasajeros entre estaciones de tren y aeropuertos, de manera totalmente sostenible ya que también será totalmente eléctrico y está diseñado para evitar el ruido sobre la población urbana.

Dicho modelo, al igual que el resto de prototipos, se rige por las regulaciones de certificación de SC-VTOL de la EASA, ya mencionadas anteriormente. Actualmente, se encuentra en proceso de obtener la certificación de tipo.



Ilustración 9. Prototipo Volocity de Volocopter

Ya ha realizado más de dos mil vuelos de prueba. Como se ha mencionado, en primer lugar por impacto social y seguridad, serán pilotados por un piloto, pero el objetivo futuro es el del piloto automático, ofreciendo así un servicio autónomo y el transporte de dos pasajeros.

Este prototipo se ha diseñado principalmente para que sea seguro, donde explican en su página oficial que tanto los rotores, los motores eléctricos, baterías y la aviónica cuenta con reemplazos para evitar posibles fallos y ofrecer seguridad. En cuanto al ruido, operan en el rango de frecuencia donde se anulan entre sí, haciéndolos mucho más silenciosos que un helicóptero.

Este prototipo ya ha realizado vuelos de prueba en diferentes ciudades como Dubái, Hamburgo o Singapur. Volocopter estableció diferentes colaboraciones con las ciudades para integrar este prototipo en el transporte urbano y se encuentran en proceso de crear colaboraciones para establecer diferentes infraestructuras.

EHang 216

EHang 216, un eVTOL de la empresa China, está diseñado para operar con completa autonomía y para el transporte de personas.

Está diseñado para tener un alcance de 30 kilómetros y una velocidad máxima de 130 km/h. Transportará hasta 2 pasajeros, equipado con 16 rotores en ocho brazos y motores eléctricos individuales. Algo característico de esta aeronave es la gestión integral por un centro de mando y el control inteligente, tecnología altamente avanzada de navegación y control que permite que sea totalmente autónomo pero supervisando las operaciones de vuelo, garantizando así la seguridad.

El EHang 216 ha realizado más de 37 mil vuelos en diferentes países dentro de Asia, Europa, América y Oriente Medio. En España concretamente, la Policía Nacional tiene una aeronave EH216. En 2022 la Policía Nacional realizó de manera exitosa los primeros vuelos a bordo de este EH216, cuyas misiones principales serán las de dar respuesta ante emergencias y seguridad en zonas con difícil acceso.



Ilustración 10. EH216 de la Policía Nacional

Es la primera aeronave que realiza un vuelo en España y en Europa usado por la Policía, produciendo así un gran avance en cuanto al transporte de pasajeros.

El objetivo de EH216 es ser usado como aerotaxi de manera totalmente autónoma por zonas urbanas y suburbanas.

Archer Aviation Midnight

La empresa con sede en Estados Unidos, Archer Aviation está desarrollando varios modelos eVTOL, para el transporte por ciudades equipada con motores eléctricos.

La aeronave denominada Midnight, con capacidad para cuatro pasajeros y un piloto está diseñada para tener un alcance de aproximadamente 100 kilómetros y una velocidad máxima de hasta 241 km/h. Está diseñado con 12 hélices eléctricas, 6 de ellas inclinables para el modo crucero y otras seis destinadas al despegue y aterrizaje vertical.

Su objetivo actual es centrarse en zonas de gran congestión de tráfico, para en un futuro desarrollar una infraestructura de aerotaxi por diferentes ciudades, haciéndolo económico para la población, e intentar la reducción de costes de mantenimiento y costes operacionales. Además, está centrado también en la reducción de ruido para no tener un gran impacto social, además de centrarse en la seguridad.

La aeronave Midnight se encuentra en las fases finales de certificación con la FAA y se espera que para 2025 ya se realicen vuelos comerciales en Nueva York y Los Ángeles. En agosto de 2023 obtuvo su Certificado de Aeronavegabilidad Espacial de la FAA con el que empezó los vuelos de prueba.

Además, a finales de 2023, Archer Aviation firmó un acuerdo de asociación con InterGlobe Enterprises con el objetivo de extender el uso de este aerotaxi por la India en el año 2026. El objetivo de esta asociación es la de financiar y construir una infraestructura para poder operar en la India. Actualmente se plantea la venta para la India de aproximadamente 200 Maker.



Ilustración 11. Archer Aviation Midnight eVTOL

Vertical Aerospace's

Vertical Aerospace, empresa con sede en Reino Unido y desarrolladora del eVTOL para cuatro pasajeros y un piloto, con cero emisiones (totalmente eléctrico), esta en proceso de producción de su aeronave silenciosa para el transporte de pasajeros por zona urbana.

Su prototipo VX4 ya ha realizado múltiples vuelos de prueba. Está diseñado para alcanzar una velocidad de crucero de hasta aproximadamente 241 km/h y un alcance de aproximadamente 160 kilómetros.

Su principal objetivo es la descongestión del tráfico terrestre, ofreciendo un servicio de movilidad, totalmente sostenible por zonas urbanas.

En primer lugar contó con un boceto llamado VA-X1, dando paso posteriormente al actual modelo, el VX4. Consta de un total de 12 hélices distribuidos en cuatro rotores y cola en V.

En cuanto a la certificación, Vertical Aerospace se encuentra trabajando en ello junto a la EASA y la Autoridad de Aviación Civil del Reino Unido.

Vertical Aerospace tiene previsto empezar la producción de su aeronave en 2024/2025. La fase de vuelos de prueba comenzó en Reino Unido en el año 2022, realizando dichos vuelos de manera exitosa. Actualmente tiene más de mil pedidos anticipados.

La empresa ha realizado diferentes alianzas con diferentes aerolíneas como American Airlines, con el objetivo de crear una estrategia de implementación en el transporte aéreo y crear diferentes infraestructuras y servicios de mantenimiento.

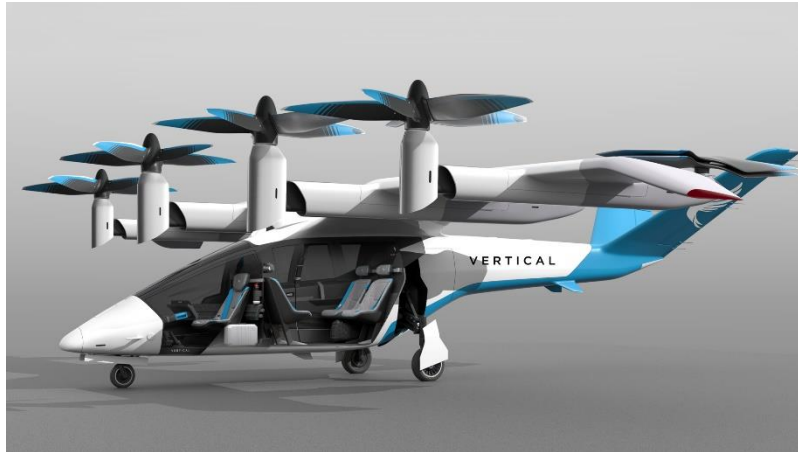


Ilustración 12. Vertical Aerospace VX4

2.2. Infraestructuras, vertipuertos

Un vertipuerto se define como una infraestructura diseñada principalmente para el uso de vehículos con despegue y aterrizaje vertical, es decir, para vehículos que no requieren de largas pistas para volar, concretamente para vehículos VTOL.

El objetivo principal de este proyecto es el estudio de la movilidad aérea urbana, y uno de los puntos clave para el desarrollo de este concepto es la implementación de una infraestructura de vertipuertos capaces de satisfacer las necesidades del transporte, estableciendo puntos clave para el transporte de pasajeros o mercancía en entornos tanto urbanos como suburbanos.

Por su parte, la Agencia Europea de Seguridad Aérea (EASA), realizó un estudio sobre la movilidad aérea urbana sobre la aceptación social para ayudar en el establecimiento de estándares y regulaciones para fijar unos criterios de seguridad y sostenibilidad tanto para las aeronaves como para la infraestructura de vertipuertos.

Los vertipuertos son zonas concretas que facilitarán y garantizarán la seguridad en el uso de los aerotaxis eVTOL en el transporte de pasajeros y mercancía. Es por ello que la ubicación de esta infraestructura deberá estar bien comunicada.

En el capítulo 3 hablaremos en mayor profundidad sobre normativa y regulaciones para el diseño e implementación de estos vertipuertos tanto en zonas urbanas como en zonas más externas de la ciudad, que normas y regulaciones rigen en la actualidad y que normas de diseño se deben de cumplir para garantizar la seguridad.

A continuación, vamos a hablar sobre dos de las empresas más destacadas en el diseño y desarrollo de infraestructuras para operar los eVTOL para la movilidad aérea urbana.

SkyPorts

SkyPorts es una empresa británica, pionera en cuanto al diseño y desarrollo de infraestructuras para la movilidad aérea urbana y también especializada en el reparto y la entrega de carga con drones.

SkyPorts fue fundada en el año 2018 por Duncan Walker y Simon Morrish con el objetivo de crear nuevas formas en cuanto al transporte en zonas altamente pobladas, creando y gestionando la operación de vertipuertos para los taxi aéreos y el reparto de carga por la ciudad con el uso de drones. La empresa británica además cuenta con oficinas en diferentes partes del mundo como son Singapur, Dubái, América o Japón, con el objetivo de expandir la movilidad aérea urbana.

Actualmente, SkyPorts es el líder mundial en cuanto al establecimiento de la infraestructura para los eVTOL. Tiene alianzas con diferentes operadores de aeronaves y partes interesadas, con el objetivo de crear una red eficiente para el transporte, buscando e identificando así los puntos clave para establecer los vertipuertos en las diferentes ciudades interesadas. Para la implementación de cada vertipuerto, Skyports trabaja estudiando el espacio aéreo para diseñar y construir el vertipuerto según convenga, trabajando también con autoridades para obtener los diferentes permisos necesarios para la construcción del mismo.

Además, esta empresa se encargará de las operaciones necesarias para el transporte, trabajando de manera segura y eficaz, procesando los datos de los pasajeros y apoyando las aeronaves desde el control de tierra para controlar la seguridad tanto en el despegue como en el aterrizaje y el crucero.

SkyPorts ha llevado a cabo numerosas colaboraciones estratégicas con diferentes empresas con el objetivo de alcanzar su objetivo de establecer una gran red de vertipuertos para el transporte de personas y mercancías. Estas colaboraciones son esenciales para financiar y extender la infraestructura.

Algunas de las colaboraciones más importantes son con la empresa ya mencionada Volocopter, uno de los líderes en cuanto a diseño de eVTOLs. En 2019, SkyPorts junto con Volocopter diseñaron el primer vertipuerto denominado VoloPort, mostrado públicamente en un congreso en Singapur con el objetivo de mostrar como estos vertipuertos estarán

integrados en los diferentes entornos. Durante el estudio de la implementación de VoloPort, concluyeron con su implementación en áreas de gran afluencia como los aeropuertos y las estaciones de tren, compartiendo espacio aéreo con otros aviones que sigan la filosofía de la movilidad aérea urbana.

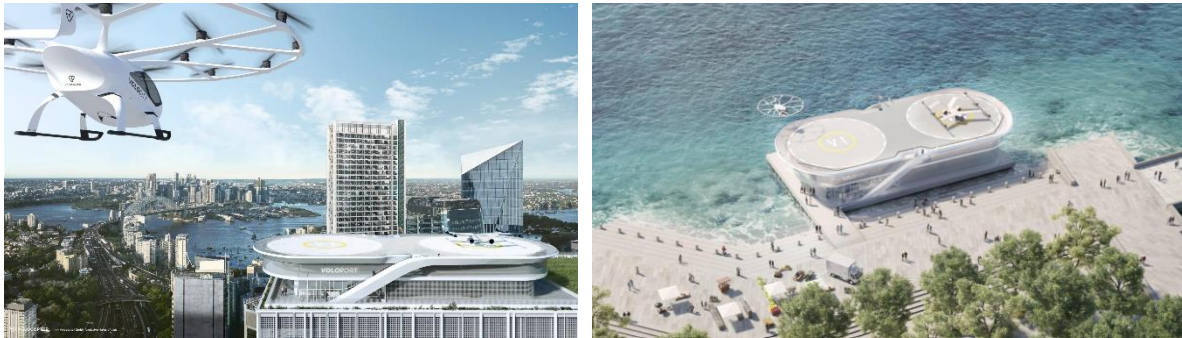


Ilustración 13. Concepto de vertipuertos en diferentes áreas



Ilustración 14. Diseño real de VoloPort mostrado durante el Intelligent Transport Systems World Congress en Singapur en 2019

El objetivo del VoloPort era crear un diseño que pudiera ser implementado en tierra, en el mar o encima de un edificio, garantizando de manera exitosa el despegue y aterrizaje, evitando posibles obstáculos.

Además, están trabajando con la EASA y diferentes autoridades de aviación civil para el desarrollo de los diferentes vertipuertos y cumplir con la normativa establecida.

En el congreso de Singapur en 2019, se reveló todo el procedimiento a seguir para el uso del vertiporto, desde los controles de seguridad, sala de espera y los procedimientos de embarque y desembarque.

Otra de las grandes colaboraciones fue con el aeropuerto de Heathrow, uno de los más transitados del mundo, con el objetivo de estudiar de manera conjunta la integración de vertipuertos en el aeropuerto para establecer conexiones entre el centro de la ciudad y el aeropuerto y así reducir el tiempo de transporte y descongestionar el tráfico.

También ha establecido asociaciones con otras empresas tecnológicas y gobiernos locales para desarrollar diferentes prototipos y opciones de rutas.

En Dubai, SkyPorts junto Joby Aviation y Dubai Roads and Transport Authority (RTA) han diseñado diferentes vertipuertos para lanzar su servicio de transporte en Dubai. Este servicio de transporte empezará a comercializarse en 2025/2026. Actualmente, Skyports tiene los derechos exclusivos para construir y operar vertipuertos en la zona de Dubai tras el acuerdo llegado en 2024. Este acuerdo establece que Skyports tendrá todos los derechos para establecer la infraestructura necesaria para la AAM, Joby será el encargado de operar los taxis aéreos eVTOL y RTA será la autoridad de transporte, supervisando la seguridad de las operaciones.

Actualmente, se han estudiado los cuatro puntos donde desarrollarán los vertipuertos y se ha comenzado con la primera fase de desarrollo, donde a su vez están tratando con la Autoridad de Aviación Civil General (GCAA), la Autoridad Civil de Dubai (DCAA) y los Servicios de Navegación Aérea de Dubai para proceder con el proceso de certificación de los diferentes vertipuertos que se quieren instaurar.

Por otro lado, SkyPorts junto a Groupe ADP crearon en 2022 un banco de pruebas de una terminal de vertipuertos en París, Francia con el objetivo de realizar diferentes pruebas, tanto Skyports para su uso para demostraciones, como diferentes fabricantes de eVTOLs para realizar pruebas de vuelo, pruebas en cuanto a la infraestructura y la integración de la tecnología.

Skyports ha establecido asociaciones también con Bicester Motion para establecer un banco de pruebas de vertipuerto en Reino Unido. El objetivo es crear en el país un infraestructura donde se pueda experimentar tanto las operaciones terrestres como las operaciones de vuelo con las diferentes aeronaves. El objetivo es finalizar este banco en Reino Unido a finales de 2024. Este banco estará ubicado en la zona de Bicester Motion, con el objetivo de demostrar el buen uso que podría darse a los aero taxis. Según han publicado en la página oficial, el trayecto en coche del punto donde se quieren instaurar el banco de pruebas del centro de Londres dura aproximadamente 1 hora y 40 minutos. Con los futuros eVTOL se podrá llegar en menos de 25 minutos. Es por ello que se ha elegido esta ubicación para demostrar el gran potencial de esta nueva movilidad urbana.

Por otro lado, Iridium, del Grupo ACS (Actividades de Construcción y Servicios), ha realizado la mayor inversión en Skyports, convirtiéndose en su mayor accionista. El capital invertido servirá para el desarrollo de la infraestructura y los servicios de drones. Los fondos se utilizarán en primer lugar para la construcción de vertipuertos. Además, también servirán para analizar el uso de drones para operaciones de entregas de carga con drones.

Urban Air-Port

Urban Airport Ltd. Es una empresa británica, destacada también por el desarrollo de infraestructuras destinado a la movilidad aérea urbana. Se fundó con el mismo objetivo que SkyPorts, crear la infraestructura necesaria para satisfacer las necesidades de la AMM, tanto en el transporte de pasajeros, como en el reparto de mercancía de drones.

Fue fundada por Ricky Sandhu.

Urban Air-Port desarrolla y produce infraestructura terrestre, aérea y digital, con el objetivo de eliminar la congestión del tráfico y además pensando de manera sostenible ya que busca crear un ecosistema sin emisiones.

En 2022 se lanzó Air One, su primer demostrador a escala real de vertipuerto en Reino Unido, tras el cual se plantea la entrega de más de 200 vertipuertos alrededor del mundo para los próximos cinco años, donde poder combinar tanto los eVTOL como drones de carga. También quieren abastecer los servicios de emergencia y defensa.



Ilustración 15. Diseño del Urban Air Port en zona terrestre, marítima y aire

También están trabajando en lo que se conoce como RESILIENCE ONE™, destinado a defensa para realizar operaciones de seguridad, gestión de catástrofes y emergencias alrededor del mundo. Resilience One es una infraestructura que cuenta con más de 200 m² para respaldar estas misiones, ofreciendo un control de tráfico aéreo, un centro de comando en un microaeropuerto.

Tras la presentación en 2022 de Air One, su demostrador de vertipuerto para aeronaves de despegue y aterrizaje vertical con cero emisiones, se realizaron más de 100 vuelos de drones de manera satisfactoria. Air One se desarrollo con el apoyo del programa británico Future Flight Challenge.

La ubicación de Air One se escogió con planes de futuro, ya que se fabricó al lado de la estación de tren de la ciudad de Coventry, tan solo a 10 minutos andando del centro. El objetivo de su diseño y fabricación en ese punto era el de establecer una red que una los

puntos clave de las ciudades, complementando la infraestructura de estaciones y aeropuertos y conectándose entre si al centro de la ciudad.

Una gran asociación estratégica por parte de Urban Air fue con Hyundai, con el objetivo de trabajar juntos en el desarrollo de vertipuertos que en un futuro soporten la flota de eVTOL que Hyundai pretende fabricar. Además de Hyundai, cuenta con una gran cantidad de socios para el desarrollo de estos sistemas de vertipuertos alrededor del mundo, como por ejemplo el aeropuerto de Munich, el cual ofreció experiencia en cuanto a la planificación, desarrollo y funcionamiento de aeropuertos para integrarlo en Air One, facilitando así su diseño.

LG Electronics también se sumo al mercado de la Movilidad Aérea Urbana asociándose con Urban Air Port para trabajar de manera conjunta en el desarrollo de un sistema de infraestructuras de vertipuertos alrededor del mundo.

El enfoque que quiere seguir Urban Air-Port no solo se centra en grandes ciudades, sino también acercarse a entornos más apartados, como ciudades más pequeñas según las necesidades del pasajero y el transporte de mercancía para crear una gran red global.

Futuras rutas aéreas. Vertipuertos.

Las empresas mencionadas ya se encuentran estableciendo asociaciones estratégicas con el objetivo de ir escogiendo estratégicamente las localizaciones de los posibles vertipuertos.

Actualmente, las localizaciones de esta infraestructura se encuentra en fase de planificación y en desarrollo de las pruebas iniciales. Algunas de estas empresas ya se ha posicionado con respecto donde plantea establecer dichos vertipuertos con el fin de operar su red de transporte de pasajeros y mercancía a bordo de los eVTOL.

A continuación, vamos a mencionar algunas de las rutas que quieren establecer dichas empresas con el objetivo de marcar una comparativa en cuanto al transporte terrestre actual. Hay que tener en cuenta que actualmente, estas empresas están creando asociación con diferentes aeropuertos y puntos de instalar con el fin de instaurar dicha infraestructura, pero todavía es meramente inicial la fase de planificación, por lo que posiblemente sufra cambios.

Como hemos mencionado anteriormente, la empresa Lilium está estudiando la posibilidad de crear una red de transporte dentro de Alemania donde instalarían vertipuertos en los aeropuertos de Stuttgart, Munich, Nuremberg, Colonia-Bonn y Düsseldorf.

En el siguiente mapa podemos ver como quedaría la localización de dicha infraestructura.

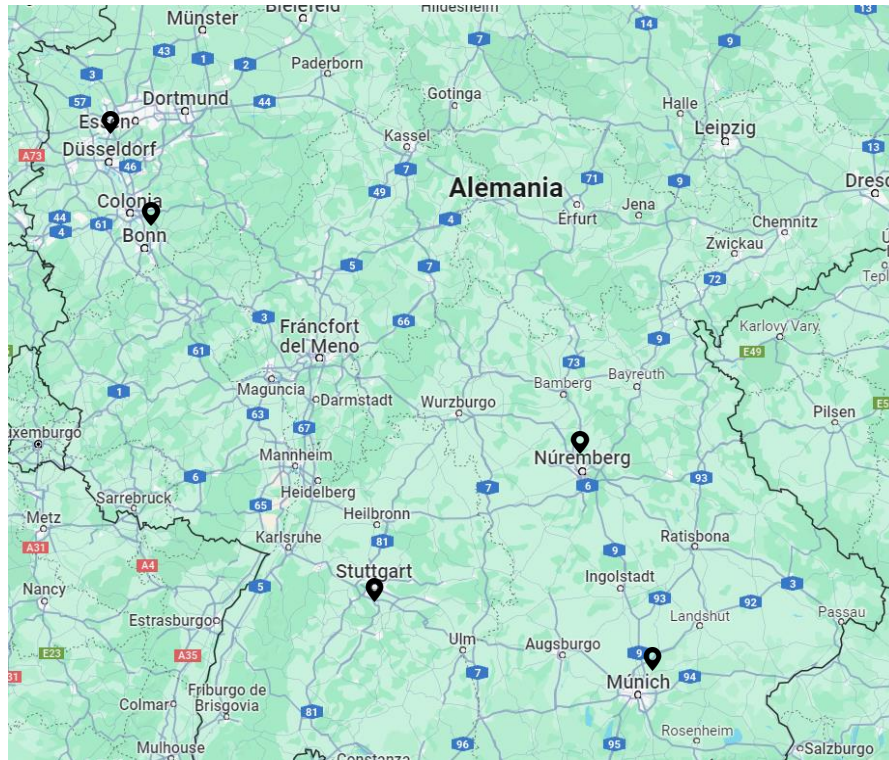
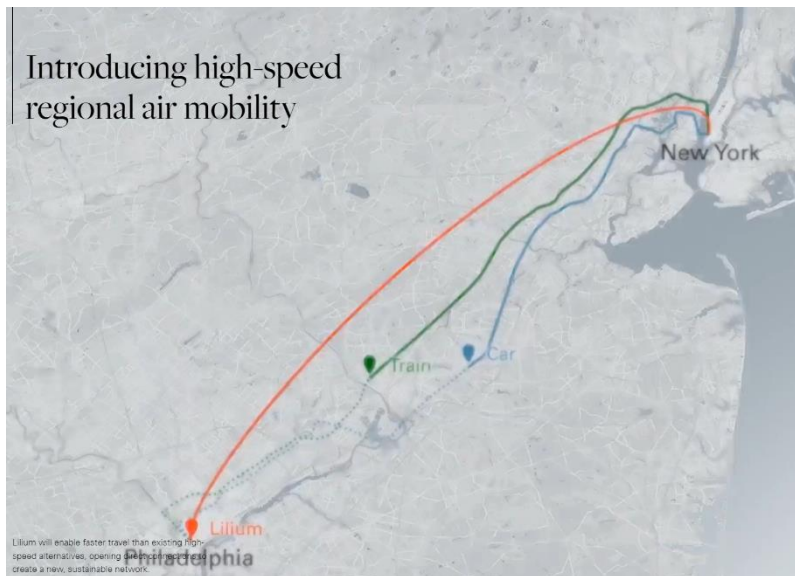


Ilustración 16. Posibles localidades estratégicas en Alemania. Red de infraestructura Lilium

El objetivo de instaurar los vertipuertos en estos puntos es crear una red sólida en las grandes ciudades del sur y suroeste del país.

Además, han comunicado que pretende operar también en zonas de Estados Unidos, donde en su propia página oficial realiza un ejemplo de lo que podría ser Lilium en el futuro, uniendo dos ciudades estratégicas como son Nueva York y Philadelphia. En la ilustración 17, muestra tres posibles opciones de trayecto uniendo dichas ciudades, el tiempo transcurrido y los costes aproximados.



En este ejemplo muestran los tres posibles casos:

- **Lilium eVTOL:**
Tiempo estimado (1 hora 10 minutos)
Coste \cong \$200
- **Tren de alta velocidad:**
Tiempo estimado (1 hora 55 minutos)
Coste \cong \$150

Ilustración 17. Comparativa medios de transporte entre las ciudades Nueva York – Philadelphia

- **Taxi:**
Tiempo estimado (2 horas 15 minutos)
Coste \cong \$280

Esta comparativa nos sirve para ver principalmente la comparativa con el resto de movilidad urbana, como es el tren de alta velocidad y el coche, dos de los vehículos más utilizados.

Joby Aviation, por su lado, también está realizando movimientos estratégicos para establecer una infraestructura que soporte las operaciones de sus eVTOL. En cuanto al lanzamiento de su flota, están centrados principalmente en Estados Unidos. Tras la adquisición de Uber Elevate y las asociaciones con diferentes empresas, los recursos de Joby Aviation se vieron ampliados junto con los planes estratégicos.

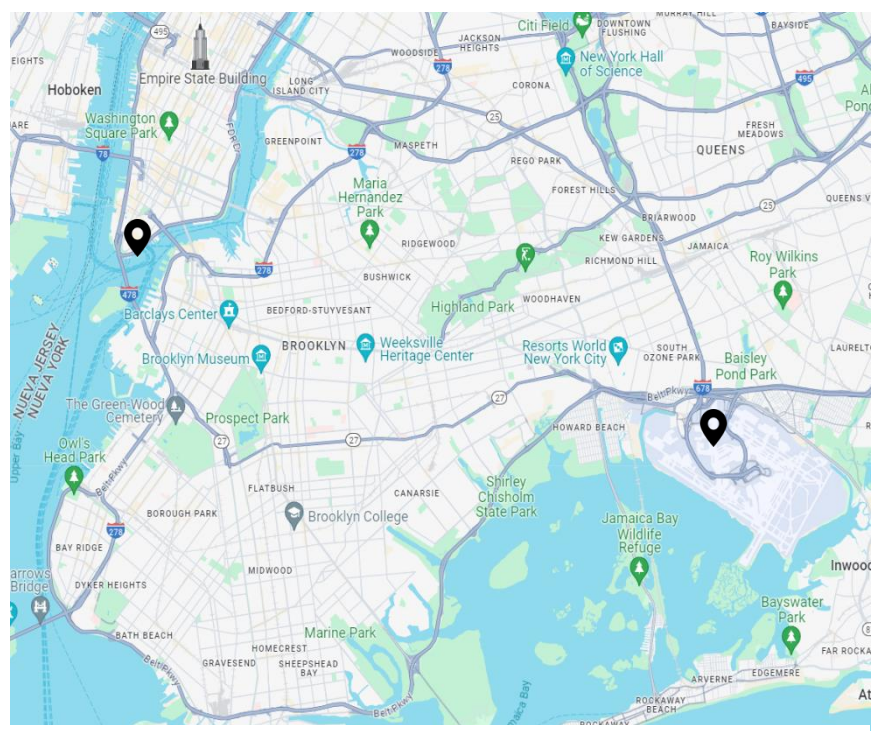


Ilustración 18. Posible localidad estratégica en Nueva York

En la página oficial de Joby Aviation podemos ver como plantean la operación entre Manhattan Helicopters (helipuerto) y el aeropuerto de JFK. El recorrido en coche es de aproximadamente 49 minutos, mientras que en el eVTOL que plantea Joby Aviation se vería reducido a tan solo 7 minutos.

Además, como mencionamos anteriormente, Joby Aviation estableció un acuerdo con Emiratos Árabes convirtiéndolo en uno de los primeros países en operar los aerotaxis. Joby Aviation junto a Skyport y la RTA (Dubai's Road and Transport Authority) identificaron el Aeropuerto Internacional de Dubai, Palm Jumeirah, Dubai Marina y Dubai Downtown, como los puntos estratégicos para establecer cuatro vertipuertos y operar sus eVTOL.



Ilustración 19. Posible localidad estratégica en Dubai

Tal y como han mencionado en su página oficial, el tiempo transcurrido del aeropuerto de Dubái a Palm Jumeirah en coche es de 45 minutos aproximadamente, mientras que con el taxi aéreo se reducirá a tan solo 10 minutos.

Por otro lado, Archer Aviation ha dejado claro que su foco principal se centra en áreas metropolitanas densamente pobladas donde pretende ayudar a disipar la gran congestión de tráfico, instaurando vertipuertos y operando sus eVTOL.

Estados Unidos es su principal objetivo donde se ha asociado junto a Atlantic Aviation para el desarrollo de una infraestructura de vertipuertos, centrándose en Los Ángeles, Nueva York, San Francisco y Miami. También se ha asociado junto a InterGlobe Enterprises para la operación de aerotaxis en la India.



Ilustración 20. Posibles localizaciones estratégicas en la India

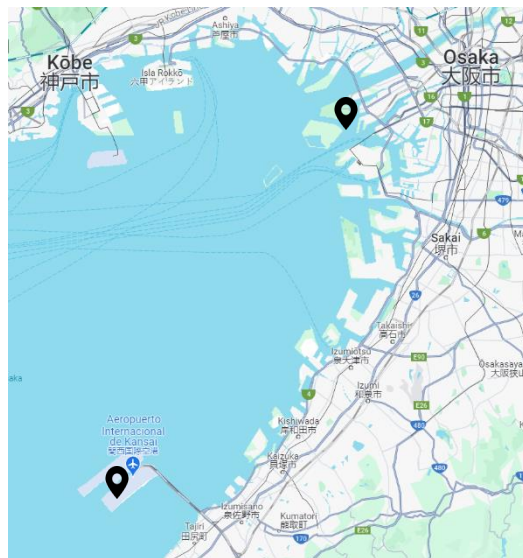
En la Ilustración 20 podemos ver una imagen compartida desde la web oficial de Archer Aviation donde indican los posibles puntos para su red de vertipuertos. En esta, hace una comparativa entre el transporte del coche donde se tarda entre 60 y 90 minutos en llegar desde Gurugram a Connaught Place, mientras que con el uso del aerotaxi se reduciría a tan solo 7 minutos.

Vertical Aerospace también se posicionó para la ubicación de la infraestructura, queriendo integrar la movilidad aérea urbana junto a otros medios existentes como estaciones o aeropuertos para ayudar en la descongestión. Sus puntos claves se centran principalmente en Reino Unido, en Europa y América.

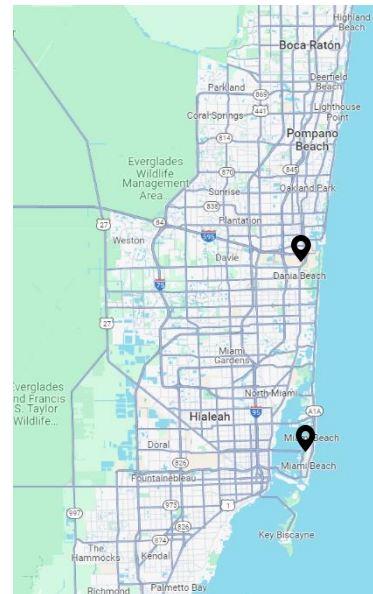
Tal y como publicó en su web oficial, su prototipo VX4 podrá hacer un recorrido de 25 kilómetros entre Battersea y el Aeropuerto de Heathrow (Reino Unido), en aproximadamente 8 minutos, mientras que en otro medio de transporte terrestre se tarda entre 50 y 70 minutos (c).

El recorrido de Fort Lauderdale a Miami (Estados Unidos) de aproximadamente 45 kilómetros, podrá realizarse en tan solo 11 minutos, contra los 50 – 80 minutos en transporte terrestre (b).

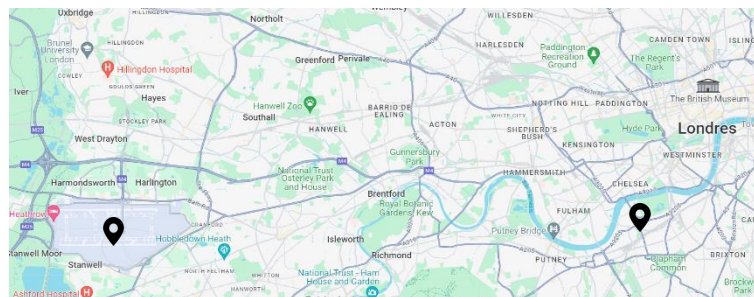
También proponen soluciones en Japón, donde el recorrido entre el puerto de Yumeshimanaka y el Aeropuerto Internacional de Kansai, de aproximadamente 50 kilómetros de distancia, podrá recorrerse encima del VX4 en tan solo 9 minutos, mientras que por transporte terrestre son aproximadamente 50 minutos (a).



(a)



(b)



(c)

Ilustración 21. Propuestas de ubicación de vertipuertos para operar el VX4

Por otro lado, a principios de 2024, Volocopter junto a UrbanV (grupo italiano, para la gestión de vertipuertos) y AENA (sociedad mercantil española para la gestión de aeropuertos y helipuertos) han llevado a cabo un acuerdo para colaborar en el desarrollo de un ecosistema en España para la Movilidad Aérea Urbana. Han señalado dos etapas diferentes. La primera de ellas con duración de dos años, se centrará en un análisis para la viabilidad de este nuevo método de transporte dentro de la red de AENA, con el objetivo de ver localizaciones para los vertipuertos, posibles clientes, rutas comerciales, conexiones con otros métodos de transporte terrestres, etc. La siguiente etapa será la realización de pruebas de dichas operaciones dentro de las instalaciones de AENA, dependiendo de varios factores como la disponibilidad de los recursos, permisos y financiación. El objetivo de esta asociación es crear una alianza para el futuro y crear colaboraciones para el negocio.



La información presentada actualmente es estratégica ya que la ubicación exacta y los detalles específicos sobre los diferentes vertipuertos que darán soporte a este método de transporte urbano es información limitada. Aun así, nos sirve para entender los planes de futuro que tienen las diferentes compañías y como se compara con el transporte terrestre, reduciendo los tiempos de transporte de una manera significativa y por tanto pudiendo descongestionar el tráfico. Como se estimó, para el año 2050 la población se duplicará en las grandes ciudades, aumentando así el tiempo invertido en el transporte terrestre alrededor del mundo. Los taxis aéreos significarán la descongestión del tráfico de una manera segura, silenciosa y sostenible con sus diseños eVTOL.

CAPÍTULO 3. NORMATIVAS Y REGULACIONES

La seguridad y la eficiencia son puntos clave en lo relacionado con el entorno aeronáutico, es por ello que tanto las normativas como las regulaciones son esenciales para lograrlo. Gracias a los procedimientos y a las regulaciones de seguridad somos capaces de minimizar riesgos y así evitar accidentes e incidentes.

Desde el comienzo del diseño, hasta el proceso de producción, el posterior mantenimiento y la reacción en caso de emergencia siguen unos estrictos estándares para garantizar la seguridad y una buena gestión.

A continuación, vamos a centrarnos en cuanto a normativa Europea para tres puntos importantes: la gestión del espacio aéreo, la aeronave VTOL y la infraestructura.

3.1. Espacio aéreo

Cuando hablamos de Gestión del Tráfico Aéreo (Air Traffic Management, ATM), hacemos referencia a la garantía de organizar un flujo seguro y eficiente del tráfico aéreo en los diferentes estados.

En este punto es importante diferenciar entre ATM y UTM (Unmanned Traffic Management), donde el segundo se centra en soluciones para la gestión del tráfico aéreo de vehículos no tripulados como pueden ser los drones de reparto de mercancía o futuros taxis aéreos donde no contaremos con un piloto.

Se ha desarrollado un nuevo concepto conocido como “U-Space” el cual representa un conjunto de regulaciones, servicios y procedimientos para la integración de aeronaves UAS (Unmanned Aerial System) junto con aeronaves tripuladas, para que coexistan en un mismo espacio aéreo en entornos urbanos. Para esto, será necesario una gran inversión en cuanto a digitalización y automatización para que coexistan de manera segura y eficiente. Para ello, se propuso una estructura espacial regulada en diferentes categorías, donde se tiene en cuenta si la aeronave es o no tripulada, los niveles de riesgo y seguridad, etc. Este concepto ha sido desarrollado por la Unión Europea junto a la empresa SESAR, quien quiere conseguir integrar de manera única los diferentes sistemas aéreos teniendo en cuenta la movilidad aérea. La gestión del tráfico aéreo se llevará a cabo a través de las autoridades locales.

SESAR es un programa formado por socios de ambos sectores, público y privado. Su misión es lograr un “Cielo Europeo Digital” donde aviones comerciales, drones de mercancías y taxis aéreos convivan de una manera segura.

El espacio aéreo U-Space tendrá dos tipos de proveedores de servicios, proveedores de servicios de U-Space (USSP) y proveedores de servicios de información común (CISP). El primero persigue crear un acceso eficiente y seguro a U-Space automatizando las operaciones.

Teniendo en cuenta las operaciones que se llevarán a cabo en el U-space, se deberán tener en cuenta los siguientes servicios:

- Servicio de identificación de red, para identificar la aeronave durante todo el vuelo y conocer información sobre el mismo.
- Servicio de geo consciencia, para identificar información relacionado con el vuelo, la zona geográfica por donde se moverá, restricciones, etc.
- Servicio de autorizaciones.
- Servicio de información sobre el tráfico aéreo.
- Servicio de información meteorológica.
- Servicio de supervisión de la conformidad.

El segundo de ellos, los proveedores de servicios de información común (CISP) pretende difundir datos estáticos y dinámicos para las operaciones de aeronaves no tripuladas en el espacio aéreo U-Space. La normativa vigente para U-Space son: RD664, RD665 y RD666.

Ineco ha formado parte junto a otras 16 empresas europeas, estadounidenses y chinas, del proyecto H2020 de la Comisión Europea, lanzando AMU-LED, dentro de SESAR donde se pretendía demostrar la integración de los drones en entornos urbanos entre los años 2022 y 2023. Este proyecto se llevó a cabo en España, Reino Unido y Países Bajos. El objetivo era dedicar 100 horas de pruebas a estudiar diferentes escenarios, entre los que se encontraba el transporte de pasajeros, mercancía, respuesta ante emergencia, entre otros, produciendo diferentes pruebas para el estudio de la gestión del espacio aéreo. Sus objetivos son definir el espacio aéreo U-space, analizar la infraestructura y la interacción de la UAM en conjunto. Los resultados que se obtengan en los diferentes simulacros podrán ser utilizados por la EASA en el establecimiento de leyes europeas.

En abril de 2024 tuvo lugar una reunión de más de 600 partes interesadas en la actualización del Plan Maestro ATM Europeo para un cielo europeo seguro y eficiente. El objetivo de este Plan es lograr alcanzar una alineación entre políticas de la Unión Europea y un marco regulatorio común. Este Plan Maestro está previsto que se apruebe a finales de 2024.

En cuanto a normativa, el *Reglamento UE 2021/664*, establece las normas y procedimientos para las operaciones de los UAS dentro del espacio aéreo. Esta normativa,

que entró en vigor el 26 de enero de 2023, permite desplegar el espacio aéreo U-space tanto para UAS y para la movilidad aérea urbana dentro de Europa.

Según el Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible, el Plan de Acción Nacional para el Despliegue del U-space (PANDU) quiere impulsar entre los años 2022 y 2025 contará con una gran cantidad de participantes tanto del sector público y del privado, con el fin de buscar un desarrollo efectivo y así contar con un ecosistema técnico y regulatorio para implementar dicho espacio aéreo. A nivel nacional, ENAIRE se encargará del desarrollo de las plataformas y tecnologías para la puesta en marcha de estos servicios en el país.

La Comisión Europea ha presentado un nuevo paquete normativo regulatorio No 03/2023 de la Agencia Europea de Seguridad Aérea (EASA) con el objetivo de regular las operaciones con aerotaxis. Este paquete recoge información sobre drones y aeronaves de despegue y aterrizaje vertical. El Dictamen No 03/2023 se publicó en agosto de 2023.

En él, se pueden encontrar procesos de certificación y mantenimiento además de diferentes regulaciones para las VTOL eléctricos donde se tienen en cuenta principalmente cuatro secciones:

- Operaciones Aéreas
- Licencias de Tripulación de Vuelo
- Reglas Europeas Estandarizadas del Aire
- Gestión del Tráfico Aéreo

Estos cuatro ámbitos de operaciones representan la operación de los taxis aéreos, y por tanto este Dictamen representará los requisitos y normas establecidas y que se deberán de cumplir. La Opinión No 03/2023, junto a la normativa de diseño de vertipuertos, gestión U-space y la certificación de eVTOL forma un conjunto para el futuro de la UAM.

Opinion No 03/2023 reúne regulaciones de aeronaves no tripuladas y las aeronaves VTOL. Otro objetivo que veremos más adelante y que persigue este Dictamen es la aceptación social.

El Dictamen mencionado propone una serie de modificaciones en normas que actualmente existen en la Unión Europea y propone otras nuevas:

- *“La aeronavegabilidad inicial de los UAS sujetos a certificación de conformidad con el artículo 40 del Reglamento Delegado (UE) 2019/945 de la Comisión;*
- *el mantenimiento de la aeronavegabilidad de los UAS sujetos a certificación y operados en la categoría "específica"; y*
- *los requisitos operativos aplicables a las aeronaves tripuladas con capacidad VTOL (VCA).” [1]*

La EASA publicó oficialmente los siguientes puntos que pretende conseguir con las modificaciones que ha propuesto:

- *“Garantizar un nivel elevado y uniforme de seguridad para los UAS sujetos a certificación y operados en la categoría "específica" y para operaciones con VCA tripulados;*
- *permitir a los operadores operar VCA tripulados de forma segura en el cielo único europeo (SES);*
- *crear las condiciones para la operación segura de UAS y de VCA tripulados en el espacio aéreo espacial;*
- *promover la innovación y el desarrollo en el campo de la movilidad aérea innovadora (IAM) estableciendo al mismo tiempo un marco regulatorio eficiente, proporcionado y bien diseñado, libre de requisitos gravosos que podrían obstaculizar el desarrollo del mercado de UAS;*
- *armonizar el marco regulatorio en todos los Estados miembros de la UE mejorando la claridad, llenando los vacíos y eliminando las inconsistencias inherentes a los sistemas regulatorios fragmentados;*
- *Fomentar un marco regulatorio centrado en las operaciones, proporcionado y basado en el riesgo y el desempeño, considerando aspectos importantes como la privacidad, la protección de datos personales y la seguridad.”* [1]

[1] Fuente: Web Oficial EASA – Opinión No 03/2023 : <https://www.easa.europa.eu/en/document-library/opinions/opinion-no-032023>

Si nos vamos a los puntos 2.3.4, 2.3.5, 2.3.6 y 2.3.7 del No 03/2023 podemos encontrar información relativa a las cuatro secciones mencionadas anteriormente.

Operaciones Aéreas (Air OPS)

Se realiza una modificación de la definición de helicóptero, con el objetivo de distinguir los conceptos “VTOL” y “helicóptero”. Dichos cambios se verán reflejados en el Reglamento (EU) No 965/2012, No 923/2012, y No 1178/2011.

También se especifica la necesidad de establecer rutas de manera cuidadosa, teniendo en cuenta la seguridad para evitar dañar también a terceras partes terrestres, habrá que tener también en cuenta los obstáculos en el despegue, la meteorología asegurando siempre la seguridad primero. Los riesgos para la seguridad son uno de los elementos más importantes junto con la aceptación social.

EASA especifica tres conceptos diferentes: Innovative Air Mobility (IAM), Urban Air Mobility (UAM) y Non-Urban Air Mobility (NAM). La diferencia entre el segundo y el tercer es principalmente si se opera en entorno congestionado o no, siendo estos dos subconjuntos del primero.

En cuanto al piloto, como se ha mencionado ya y la EASA lo publica oficialmente, la presencia del piloto es una medida mitigadora temporal para asegurar seguridad y para la aceptación social, para en un futuro ser totalmente autónomo.

El anexo IX de la Opinión No 03/2023 incluye información sobre procedimientos operativos, limitaciones en la aeronave y equipos. En cada subparte encontraremos información de las operaciones en entornos urbanos congestionados y aquellos entornos más descongestionados.

En cuanto a la meteorología, se contará con proveedores de servicios meteorológicos según el Reglamento (UE) 2017/373, anticipando las condiciones meteorológicas desfavorables que acompañarán durante todo el trayecto, desde el despegue en el vertipuerto, durante el modo crucero y el final aterrizaje en el vertipuerto destino.

Reglas Europeas Estandarizadas del Aire (SERA)

Las Reglas Europeas Estandarizadas del Aire existen para asegurar la seguridad y la colaboración entre países vecinos con el objetivo de evitar posibles colisiones o incidentes.

En el punto SERA.3105 se especifica la altura mínima a la que deben volar las aeronaves (a excepción del despegue y aterrizaje) con el objetivo de evitar un daño a terceras partes que se encuentren en tierra. Para los vuelos de aeronaves en vertipuertos, esto se especificará en los puntos SERA.5005(f) y SERA.5015(b).

En las Reglas Europeas Estandarizadas del Aire podemos encontrar diferentes propuestas entre las que podemos encontrar:

- Con respecto al termino “combustible”, quieren estar formado por todas las posibles fuentes de energía para la aeronave, ya sea petróleo, energía proporcionada por baterías o energía solar.
- El concepto de “helicóptero” también se diferencia con respecto al VTOL.
- Se introduce y se especifica el uso de diferentes términos.

Gestión del Tráfico Aéreo (ATM)

Tal y como se establece en el No 03/2023, el punto ATS.TR.305 (Alcance del servicio de información de vuelo) del anexo IV (Part-ATS) del Reglamento (UE) 2017/373 se modifica parcialmente y se alinea con el punto SERA.9005 con el objetivo de crear un marco reglamentario coherente y unido.

Los sistemas de comunicaciones, navegación y vigilancia son cruciales para las comunicaciones en el entorno de movilidad aérea urbana. La tecnología proporcionada por estos sistemas deberá contener unas características especiales teniendo en cuenta el entorno urbano.

Los Reglamentos (UE) 2017/373 y (UE) 2015/240 se modificarán en un futuro para incorporar los procedimientos requeridos.

3.2. VTOL

Como hemos estado mencionado hasta ahora, las aeronaves diseñadas para el futuro de la movilidad aérea urbana son aeronaves con despegue y aterrizaje vertical.

Es por ello, y dado que la seguridad es un punto crucial, estas aeronaves deberán pasar un proceso de certificación cumpliendo las normativas y regulaciones para garantizar la seguridad cuando estas aeronaves estén en tierra y realizando un trayecto.

La EASA ha realizado estudios detallados sobre los detalles que deberán cumplirse para garantizar que esto se cumpla.

En cuanto al diseño, este deberá cumplir una serie de especificaciones enfocados también en la seguridad. La propulsión, la capacidad aterrizaje y despegue vertical, los diferentes sistemas que lo integran y la capacidad de la autonomía sin necesidad de piloto, se han estudiado en gran detalle. Estas especificaciones obligarán a que ciertas características tengan que ser comunes para todos los prototipos VTOL.

En cuanto a la propulsión, una característica principal de los prototipos que hemos podido observar en el Capítulo 2 y que es común en todos ellos, es la cantidad de motores y rotores que presentan, habiendo más motores de los necesarios para volar, siendo esta una medida de seguridad en caso de fallo de alguno de ellos.

A día de hoy, se establece la necesidad de contar con un piloto. El objetivo es la integración social y el recabar información para poder utilizar y analizar y así empezar a considerar los vuelos sin necesidad de piloto a bordo, contando con los niveles de seguridad requeridos.

En cuanto a la presurización de la cabina, esta no será necesaria ya que los trayectos no serán por altitud alta y se contará con chalecos salvavidas dependiendo de las rutas que se siga y contar con equipos de seguridad para poder pasar la certificación necesaria. La cabina cuenta con ventanas de gran tamaño dado que el piloto, a pesar de que la ruta ya estará pre establecida, deberá ser capaz de utilizar la propia vista para esquivar obstáculos en caso de necesidad.

Un punto que se considera en cuanto a la certificación de estas aeronaves son las baterías. Los VTOL están pensados para ser totalmente eléctricos, lo que produce un punto positivo

en cuanto al medioambiente y la sostenibilidad aunque también aumenta los riesgos de seguridad, principalmente en cuanto al riesgo de la duración de la batería o tener un problema con las baterías durante el vuelo. Teniendo en cuenta que la mayoría de vuelos se realizarán en entornos urbanos que pueden producir un riesgo en terceras partes, se creó el concepto de “point of commitment”. Estos puntos se definirán en las diferentes rutas como un lugar seguro donde poder realizar un aterrizaje de emergencia si es requerido durante el vuelo.

Aquellos VTOL destinados a las operaciones de servicio de emergencias o el transporte de elementos dañinos deberán de seguir especificaciones especiales.

Las normas y el marco regulatorio europeo que se presentó en su día era específico para aviones comerciales, helicópteros y otro tipo de aeronaves. Los VTOL no quedaban contemplados. Es por ello, que debido a la introducción de nuevas tecnologías y un concepto totalmente en cuanto a movilidad, nuevas normativas se encuentran en desarrollo. Hay que destacar las siguientes Tareas de Reglamento (Rulemaking Task RTM) donde abordan nuevos conceptos y avances tecnológicos.

- RTM.0731 “*New Air Mobility*”

Donde se abordan tres temas principalmente:

- o Aeronavegabilidad Continuada: normas para las aeronaves VTOL totalmente eléctricas.
- o Normas sobre las licencias de tripulación de vuelo
- o Normas sobre el espacio aéreo

Licencias de Tripulación de Vuelo (FCL)

En cuanto al desarrollo de requerimientos de licencias de tripulación de vuelo, actualmente se encuentra en desarrollo, contando ya con un borrador. Teniendo en cuenta el actual punto en el que se encuentra el desarrollo de las aeronaves, para agilizar estos requerimientos y autorizarlos, se introdujeron una serie de disposiciones según un nuevo artículo 4f del Reglamento (UE) No 1178/2011 donde se autoriza a los pilotos licenciados de aviones comerciales o helicópteros obtener una habilitación para poder pilotar las aeronaves VTOL completando una serie de cursos para habilitarse y teniendo posteriormente que pasar por renovaciones. Actualmente la EASA no quiere permitir obtener la licencia para pilotar aeronaves VTOL, sino que únicamente personas que cuenten con licencias para aviones comerciales o helicópteros puedan formarse para pilotarlos. El objetivo que persigue esta norma es que estas nuevas aeronaves sean pilotadas por personas experimentadas.

- RTM.0230 “*Introduction of a regulatory framework for the operation of unmanned aircraft systems and for urban air mobility in the European Union aviation system*”

La EASA quiere desarrollar nuevos CS para las aeronaves que sean VTOL. Las regulaciones para UAS y los VTOL que no necesiten piloto irán en una fase posterior a aquellos pilotados.

Debido a que actualmente no hay disponible especificaciones de certificación adecuadas para las aeronaves de tipo VTOL, la EASA presentó unas especificaciones técnicas, condiciones especiales “SC-VTOL” (Special Condition for small-category VTOL aircraft), que se presentó en Julio de 2019.

SC-VTOL nace ante la falta de especificaciones de certificación para obtener el certificado de tipo de la aeronave. Un certificado de tipo indica la aeronavegabilidad, es decir, la capacidad que tiene una aeronave para volar de manera segura, del diseño de dicha aeronave. Esta condición especial (SC-VTOL) sirve para prescribir los estándares de aeronavegabilidad y otorgar a dichos prototipos con un certificado de tipo en la “small-category”. Se considera “small-category” aquellos VTOL cuya cabina transporte como máximo a 9 personas y tenga un peso de despegue máximo de 3.175 kilogramos.

Dentro del SC-VTOL encontramos siete subpartes, donde cubre:

- a) General (AMC, Aplicabilidad, definiciones, certificación para la categoría pequeña de VTOLs)
- b) Vuelo
- c) Estructuras
- d) Diseño y Construcción
- e) Sistemas de instalación de elevación / empuje
- f) Sistemas y equipos
- g) Interfaz de tripulación de vuelo y otra información

En cada subparte podemos encontrar una serie de especificaciones de cumplimiento con el objetivo de crear un diseño seguro.

El objetivo de estas regulaciones y normas es la de garantizar la seguridad durante la operación de las aeronaves VTOL en toda Europa y establecer un cielo seguro para el uso de aeronaves destinadas tanto el transporte de pasajeros como del transporte de mercancía.

Cada empresa de eVTOL deberá cumplir con los requisitos específicos de su entidad reguladora (EASA → Europa, FAA → EEUU, CAAC → China. Etc.). Una vez son definidos los requisitos, será necesario que lleven a cabo unos ensayos para garantizar el cumplimiento de los mismos.

Por ello, se realizan diferentes ensayos, desde ensayos estructurales, de EMC, eléctricos, sistemas de propulsión, baterías, fuego, cabina interior, ciberseguridad, vuelo, etc en diferentes bancos de pruebas.

3.3. Vertipuertos

Un vertipuerto podría ser descrito como un tipo de aeródromo construido sobre tierra, mar o aire para el despegue y aterrizaje, sin embargo, presenta características concretas para el uso de aeronaves de despegue y aterrizaje vertical. En el anexo IX (Part-IAM) del Reglamento (UE) No 965/2012 encontramos los requerimientos que un vertipuerto debe poseer para satisfacer las necesidades como el tamaño, peso y seguridad para un exitoso despegue y aterrizaje vertical de estas aeronaves.

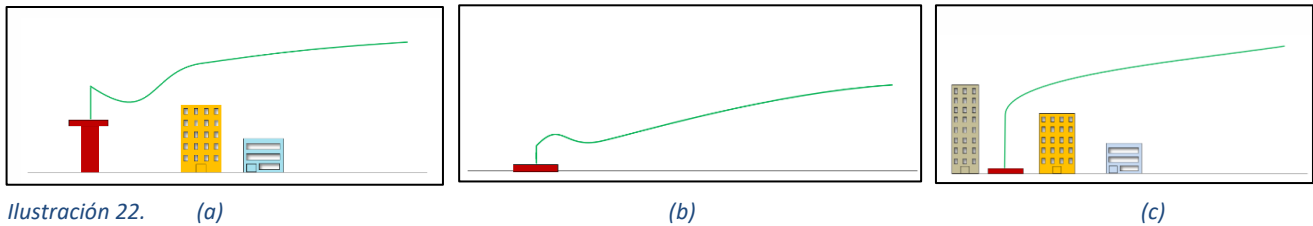
La EASA publicó en marzo de 2022 unas especificaciones para el diseño de vertipuertos aplicable en toda Europa, incluyéndose tanto zonas urbanas como suburbanas. Estas especificaciones buscan marcar un marco regulatorio de los requisitos para el diseño de los vertipuertos donde prima la seguridad.

El objetivo actual de la EASA es establecer un reglamento que cubra tanto especificaciones de diseño como requisitos para la supervisión de las autoridades de las operaciones, requisitos organizativos, etc. (RMT.0230)

En la especificación de diseño “*Prototype Technical Specifications for the Design of VFR Vertiports for Operation with Manned VTOL-Capable Aircraft Certified in the Enhanced Category (PTS-VPTDSN)*” se asienta un nuevo concepto que veremos después en mayor profundidad, ‘volumen libre de obstáculos’, un área en forma de embudo, específico para establecer un área segura sobre los vertipuertos para la operación de las aeronaves en el aterrizaje y despegue.

En un primer lugar, la EASA daba a conocer un estudio realizado para un primer diseño de los vertipuertos, estableciendo las trayectorias de vuelo como un primer punto fundamental. Esta trayectoria es un primer paso para dictaminar si la ubicación establecida está libre de obstáculos, o por el contrario no podría realizar el despegue de una forma segura. Establecen tres tipos de despegue en el entorno urbano para los VTOL.

- (a) Despegue convencional elevado: se establece en una zona elevada, como podría ser un edificio.
- (b) Despegue convencional: se establece en una zona de tierra pero sin obstáculos alrededor, como podría ser tipo un aeródromo.
- (c) Despegue vertical: se establece en una zona concurrida de obstáculos donde el despegue deberá ser completamente vertical.



Todos los perfiles deben tener en cuenta un posible fallo en el despegue y su recuperación.

Como se mencionó con anterioridad, la certificación de la aeronave se clasificará en la categoría básica, donde se incluirá aquel transporte de pasajeros de un máximo de 9 personas en zonas suburbanas. Aquellos viajes realizados en zonas urbanas donde haya un extra de riesgo se certificará en la categoría mejorada.

Como también mencionamos en el punto anterior, para asegurar la seguridad de la operación, el VTOL deberá estar capacitado para realizar una serie de paradas de emergencia en caso de necesidad antes de llegar al vertipuerto de destino. Estas zonas deberán estar establecidas antes de realizar la ruta.

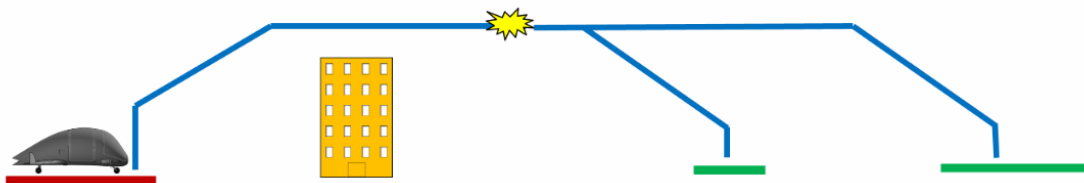


Ilustración 23. Representación parada emergencia

Cuando se trate de zonas que no estén congestionadas, a pesar de presentar una facilidad para el establecimiento de estos puntos, deberán ser asegurados con anterioridad para que sean zonas controladas.

Un gran impacto que tiene esta movilidad aérea urbana, y que afecta de manera directa al impacto social es el ruido. El ruido de este nuevo sistema de transporte genera controversia ya que al estar en entornos urbanos, y probablemente en zonas muy concurridas, el ruido podría llegar a generar un impacto negativo.

Un punto que han recalcado todas las empresas que están en el proceso de diseño es la gran disminución del ruido en comparación con los helicópteros. Aun así, cuanto más cerca te encuentres de los vertipuertos, mayor aumento del ruido habrá.

Los estudios realizados de las aeronaves VTOL estiman que los niveles de ruido alcanzados están entre unos 70 y 80 dB, muy por debajo de la contaminación acústica que producen los helicópteros. Por lo general, un volumen superior a 85 dB podrían ser perjudiciales para la salud humana, por lo que dichas aeronaves estarían dentro del rango seguro. Según la ley establecida en España. Dentro de un hogar no está permitido superar los 30-40 dB durante el día y entorno a 20-30 dB por la noche. Por lo tanto, en el entorno urbano, los vertipuertos deberán estar capacitados para contar con unas medidas de protección acústica que reduzca los niveles producidos por los VTOL de manera que no suponga un problema para aquellos que habiten alrededor de los vertipuertos. Este será un punto clave en el establecimiento de los diferentes vertipuertos.

Dentro de las especificaciones de diseño establecidas por la EASA podemos encontrar siete capítulos donde se cubre los siguientes puntos para cumplir con una serie de regulaciones y normativas:

A) Información general

Se establecen diferentes definiciones y características generales.

B) Datos de vertipuertos

Este capítulo toma referencia del Anexo 14, Volumen II (Helipuertos) y el documento 9261 de la ICAO (Organización de Aviación Civil Internacional). En cuanto a la coordinación de los servicios de información aeronáutica (AIS) y las autoridades de vertipuertos (autoridades nacionales competentes) se desarrollará bajo el RMT.0230, por lo que a día de hoy no están especificadas en el PTS-VPT-DSN.

C) Características físicas

Para establecer las diferentes distancias se deberá contar con un margen de error para asegurar la seguridad en los requisitos de diseño.

Por lo tanto el área denominada como FATO (Final-approach and take-off áreas), deberá cumplir con un diseño asegurando un área libre de obstáculos para la operación correcta de las aeronaves VTOL. Se establece que las dimensiones mínimas del área FATO será la longitud RTODV (Rejected Take-Off Distance for VTOL) que se prescribe en el manual de vuelo de la aeronave o 1.5 la longitud D (diámetro de la aeronave). Se escogerá la distancia más grande.

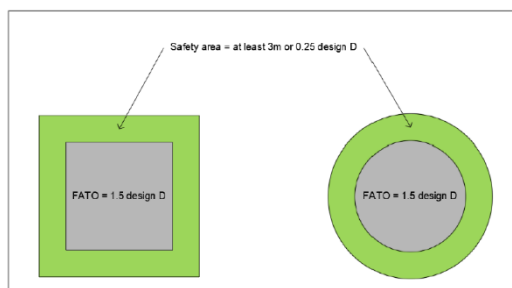


Ilustración 24. FATO + Safety area

En el área de despegue y aterrizaje seguro, siempre se tendrá en cuenta además una zona de seguridad para compensar posibles errores o problemas a la hora de realizar la operación.

Se deberá tener también en cuenta el efecto que se produce por la corriente descendiente que podrían perturbar la seguridad.

D) Entorno de obstáculos

Este capítulo quiere establecer aquellas especificaciones y límites que se deberán llevar a cabo en los espacios alrededor de los vertipuertos para preservar la seguridad. Consta de dos subpartes donde la subparte 1 toma como referencia el Anexo 14, Volumen 2 (Helipuertos), capítulo 4 y el documento 9261 de la ICAO, y la subparte 2 establece los conceptos para los vertipuertos.

E) Ayudas visuales

Establece diferentes especificaciones que proporcionen ayuda visual, como pueden ser indicaciones sobre la dirección del viento, un marcado para identificar un vertipuerto en la pista (V), peso máximo permitido, etc.

F) Vertipuerto alternativo en ruta para un vuelo y aterrizajes seguros y continuos

Como se ha mencionado con anterioridad, se deberán establecer puntos durante la ruta donde se asegure un aterrizaje/despegue seguro en caso de emergencia. Estos puntos también deberán cumplir con unas especificaciones.

G) Procedimientos de emergencia

En este capítulo se establecen los procedimientos a seguir en caso de emergencia. Dado que actualmente no se han desarrollado estas especificaciones ante posibles emergencias en los vertipuertos, se toma como referencia hasta entonces a lo establecido por la ICAO para helipuertos y helicópteros en el Anexo 14, Volumen II (Helipuertos), capítulo 6 “Heliport Emergency Response”.

Como podemos ver, se están estableciendo diferentes reglas para que la operación de las aeronaves dentro del entorno cumpla con los altos estándares de seguridad a la que se quiere llegar. Cada vez se están estableciendo más normativas y actualizando aquellas necesarias para crear un cielo donde la movilidad aérea urbana se adapte a las tecnologías de la actualidad.

CAPÍTULO 4. DISEÑO E INTEGRACIÓN DE VERTIPUERTOS EN ENTORNOS URBANOS Y SUBURBANOS

El diseño e integración (planificación) de vertipuertos es un proceso complejo tanto para entornos urbanos como suburbanos donde se deben tener en cuenta varios factores entre los que destacan los factores técnicos, regulatorios, medioambientales, compatibilidad del espacio aéreo, seguridad, meteorológicos y sociales.

4.1. Planificación

4.1.1. Fases para nuevas infraestructuras aeroportuarias. Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible, Gobierno de España

Para el comienzo de la integración de estos vertipuertos debemos realizar un análisis considerando el posible emplazamiento del mismo, realizando un análisis del entorno y teniendo en cuenta las normas que rigen actualmente.

Actualmente, en España, se aplica la normativa general dedicada a aeródromos y helipuertos hasta que incluyan las normas técnicas que están en proceso de desarrollo.

En España, la construcción de una instalación aeroportuaria, concretamente de aeródromos y helipuertos de uso público que aplicarán a los vertipuertos, variará dependiendo si la Comunidad Autónoma ejerce sus competencias en cuanto a materia aeroportuaria o si no han asumido esas competencias. Aquellas comunidades que sí las ejercen son: Aragón, Cataluña, Madrid y Valencia. Las Comunidades Autónomas que no han asumido las competencias en cuanto a materia aeroportuaria, dicha competencias recaerá en el Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible. AESA tramitará las autorizaciones de las mismas.

Se deberá seguir un proceso aeronáutico para obtener lo necesario para poder integrar la infraestructura.

Nuestra autoridad aeronáutica, la Agencia Estatal de Seguridad Aérea (AESA) es la encargada de lanzar el certificado para la creación de infraestructura según se estableció en el Real Decreto 862/2009.

El “*certificado de compatibilidad del espacio aéreo*” es expedido por la Dirección General de Aviación Civil y se deberá asegurar que la propuesta es compatible.

El “*certificado de aeropuerto y resolución de verificación favorable*” es expedido por la Agencia Estatal de Seguridad Aérea y acredita a la persona (física o jurídica) que se encargará de la gestión de la infraestructura, sus equipos, operaciones, sistemas, etc. Tal y como se indica en el Real Decreto, cuando se refieren al termino “instalación aeroportuaria” hacen referencia a aeródromo y helipuerto, y por tanto a vertipuerto.

Para el comienzo del establecimiento de un vertipuerto, será necesario analizar la localización física y estudiar la viabilidad de la misma.

La Administración General del Estado deberá de informar sobre las Comunidades Autónomas que autoricen el establecimiento y apertura del tráfico aéreo en vertipuertos. A continuación, según se indica en el Manual de procedimiento del Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible para la certificación de compatibilidad del espacio aéreo, podemos observar las siguientes fases que se deben seguir para la puesta en marcha de la infraestructura requerida:



Ilustración 25. Fases para la puesta en marcha de una instalación aeroportuaria

Para la autorización del establecimiento de una infraestructura aeronáutica, se deben seguir cuatro fases:

- 1) Consulta de compatibilidad del espacio aéreo de una infraestructura aeronáutica de uso público.
- 2) Tramitación ambiental.
- 3) Procedimiento de Autorización de aeródromos/helipuertos de uso público (autorización de establecimiento).
- 4) Autorización de la apertura al tráfico de una infraestructura aeronáutica de uso público.

El Plan Director, no se aplica a los helipuertos. Para los aeropuertos y aeródromos si se deberá disponer de un plan director urbanístico aeroportuario.

En primer lugar, la solicitud del promotor de la infraestructura se lanzará a la Administración General del Estado o a la Comunidad Autónoma (dependiendo si han asumido las competencias en cuanto a materia aeroportuaria).

La solicitud del certificado de compatibilidad de espacio aéreo se enviará a la Dirección General de Aviación Civil si se sigue el procedimiento establecido para los helipuertos. Dicho certificado será efectivo durante dos años desde que se emita. En esta primera etapa también se deberán realizar las tramitaciones medioambientales y los estudios técnicos.

Una vez enviada la solicitud, la Dirección General de Aviación Civil debe reenviar la documentación otorgada para la aprobación del certificado a la Secretaría Civil de la Comisión Interministerial entre Defensa y Fomento (CIDEFO) para que este emita (en un plazo máximo establecido de cuatro meses) un informe sobre la estructura del espacio y el tránsito aéreo y la red de comunicaciones, navegación y vigilancia. La Ponencia de Navegación Aérea efectuará dicho informe y se lo transmitirá a CIDEFO para que se lo vuelvan a reenviar a la Dirección General de Aviación Civil. A su vez, será remitido al órgano competente.

Una vez completada la fase anterior, obteniéndose la compatibilidad del Espacio Aéreo, se procede a realizar la tramitación ambiental, según la Ley 21/2013 (evaluación ambiental) y la Ley 37/2003 (evaluación del ruido). El objetivo que persigue esta tramitación es reducir el impacto en el entorno y asegurar que cumple con la normativa respecto al medioambiente.

La siguiente etapa que se deberá seguir será la autorización de establecimiento y la construcción de la infraestructura, donde se tendrá que obtener un certificado de aeródromo o la resolución favorable de verificación según el *“Reglamento de Certificación y Verificación de Aeropuertos y Otros Aeródromos de Uso Público del Real Decreto 862/2009”*. La resolución favorable de verificación se obtendrá una vez AESA realice las comprobaciones de que cumplan con lo establecido y se verifique la aptitud del gestor y de la infraestructura completa para la gestión correcta de las operaciones de transporte aéreo. Una vez se entregue esta resolución de verificación, tendrá una vigencia de 36 meses. Pasado este tiempo se deberá realizar una renovación la cual será por tiempo indefinido. Además se deberá asegurar el cumplimiento con la normativa de manera continuada, pasando por un plan periódico de inspecciones.

La última fase consiste en la apertura al tráfico. Para un helipuerto permanente, se autorizará sin necesidad del informe de CIDEFO bajo la condición de que el órgano competente de la Comunidad Autónoma tenga identificado tanto al titular de la infraestructura como al gestor del mismo y comunique las características aeronáuticas generales que presentará dicha infraestructura. Sin embargo, si nos encontramos en zonas controladas, restringidas o que pudiera afectar a otra infraestructura (como pudiera ser a

un aeropuerto) se deberá obtener el informe de CIDEFO y se tendrá que producir otro informe sobre el impacto que tendrá en el transporte aéreo.

En cuanto a la autorización de aeródromos y helipuertos eventuales (Ley 48/1960) solo requerirá informar de la localización y el periodo de utilización a la AESA.

El certificado de aeropuerto será necesario para la expedición del certificado de compatibilidad del espacio aéreo para la posterior apertura al tráfico aéreo.

Según se expone en el Manual de procedimiento de la página oficial del Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible ^[*], la siguiente información deberá estar contenida en la documentación para la autorización del certificado de compatibilidad de espacio aéreo:

- 1) *“La estructura y ordenación del espacio aéreo.*
- 2) *El tránsito y el control del tráfico aéreo y los servicios de navegación aérea, en particular sobre los de tránsito aéreo.*
- 3) *La red de comunicaciones, navegación y vigilancia (CNS) y sus servidumbres aeronáuticas.*
- 4) *Las bases aéreas, aeródromos militares y aeropuertos de interés general.*
- 5) *Las servidumbres aeronáuticas, así como, las áreas de afección recogidas en los planes directores de los aeropuertos de interés general.*
- 6) *El transporte aéreo”* ^[*]

Además, para el establecimiento de helipuertos, se entregará también la siguiente documentación ^[*]:

- 7) *“Emplazamiento y topografía.*
- 8) *Coordenadas del punto de referencia del helipuerto (WGS-84) y su elevación, así como orientación de los sectores de aproximación y despegue previsto para dicha infraestructura.*
- 9) *Previsión del uso operacional de la misma, visual o instrumental, horario de operación y actividad a desarrollar.*
- 10) *Descripción del espacio aéreo afectado, incluyendo su afección a los aeropuertos de interés general, aeródromos, bases aéreas, aeródromos militares y otras instalaciones de transporte aéreo*
- 11) *Descripción de las maniobras y procedimientos previstos. Para el caso de operaciones instrumentales, propuesta de estructuras de espacio aéreo asociadas a la infraestructura: aerovías, CTAs/TMAs, CTRs, ATZs previstos*
- 12) *Propuesta de integración en la estructura del espacio aéreo. Impacto sobre otras infraestructuras aeronáuticas.*
- 13) *Planes y programas de otras instalaciones aeronáuticas.*
- 14) *Interferencias con zonas LED, LER, LEP y zonas de fauna sensible, así como poblaciones que puedan resultar afectadas por operaciones del aeródromo.*
- 15) *Previsiones iniciales de tráfico en cuanto a su tipología y a la demanda prevista.”* ^[*]

[*] (fuente: página web de la Agencia de Transportes y Movilidad Sostenible)

Para la apertura final al tráfico, se aportará el Certificado de la Administración competente donde se autorice dicho emplazamiento.

A continuación se establecen dos esquemas donde se muestra el proceso completo que se deberá seguir para la puesta en marcha de una infraestructura aeroportuaria en España:

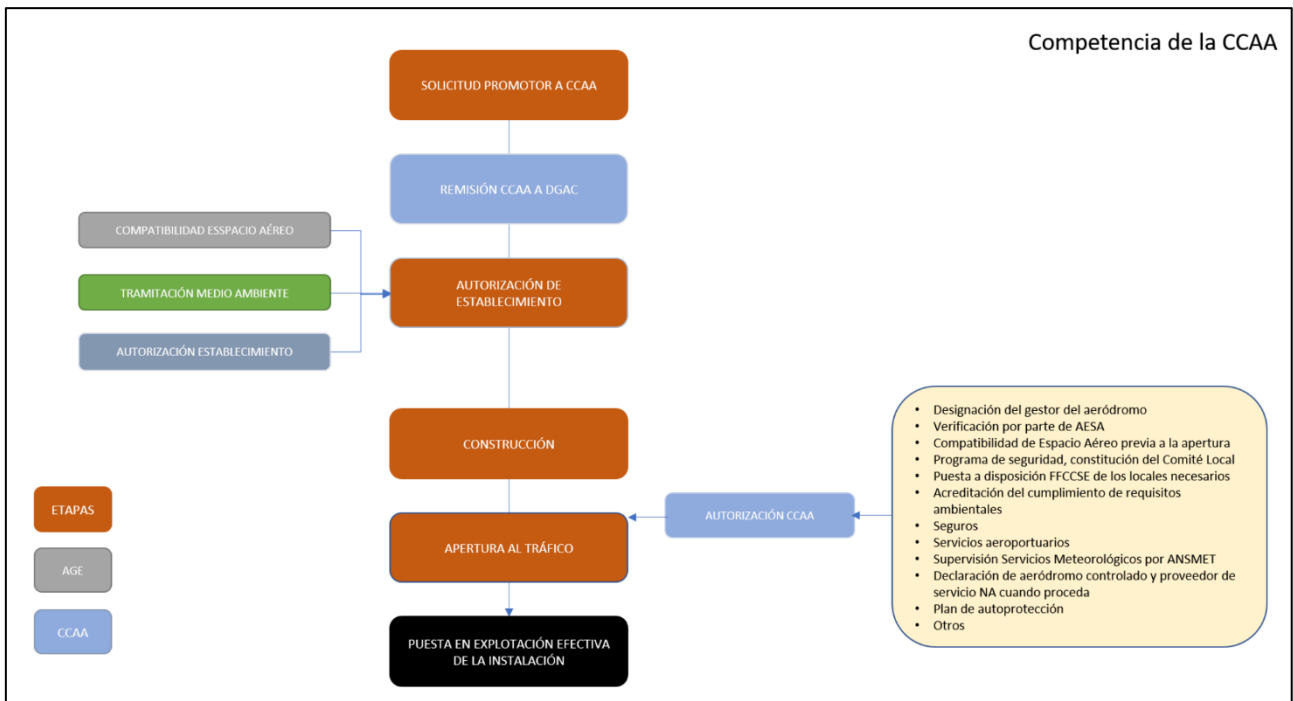


Ilustración 26. ESQUEMA 1. Competencia de la Comunidad Autónoma

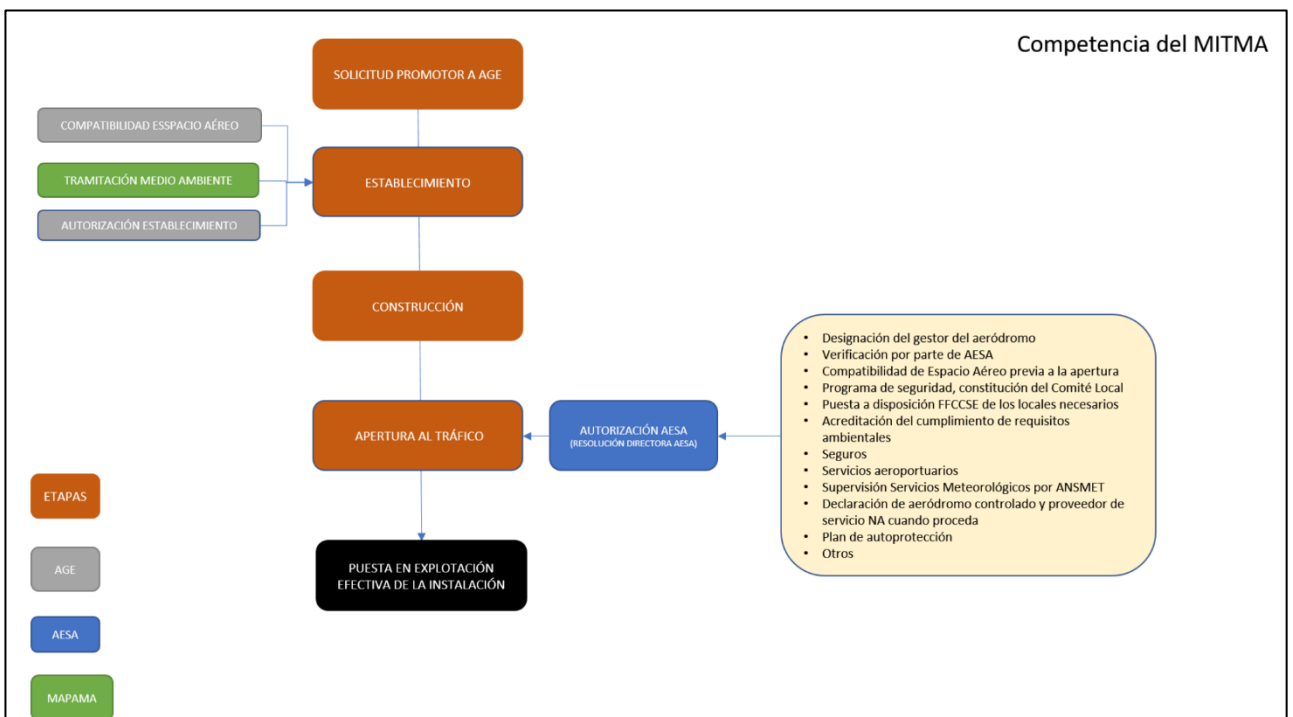


Ilustración 27. ESQUEMA 2. Competencia del Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible

La normativa que aplica para aeródromos/helipuertos son:

- Ley 21/2003
- Reglamento (UE) 139/2014
- Reglamento (UE) 2018/1139
- Real Decreto 862/2009
- Real Decreto 98/2009
- Ley 39/2015

4.1.2. Factores a considerar en el Emplazamiento. Posibles Rutas

Para el emplazamiento y la creación de una red de vertipuertos por España, hay varios factores y normativas que se deben de considerar.

Por ello, hay dos conceptos que debemos diferenciar y que deberemos tener en cuenta que son “safety” y “security”. La diferencia entre ambas es que la primera se aplica principalmente contra riesgos como por ejemplo accidentes, riesgos medioambientales, etc. El segundo se aplica a riesgos intencionados como por ejemplo provocar riesgos y delincuencia en general.

En primer lugar, en cuanto al Sistema de Gestión de la Seguridad Operacional (SMS), podemos encontrar una descripción del mismo en la OACI Anexo 19 Capítulo 4. El objetivo fundamental de SMS (Safety Management System), es garantizar la seguridad de las operaciones que se realizarán en los vertipuertos a través de la gestión de riesgos. De esta manera, se busca identificar los posibles riesgos y peligros mediante un análisis de datos con el objetivo de mejorar la seguridad operacional de manera continua, ya que este análisis deberá ser constante. Por lo que, tanto para la construcción como para el mantenimiento, el diseño, el servicio de tránsito aéreo, etc. se deberá contar con este sistema para asegurar una continua seguridad operacional. Según establece el Capítulo 4 del Anexo 19, el Estado es el que deberá asegurarse de que se ha implantado el SMS.

Por lo tanto, se deberá de seguir un marco específico para la integración del SMS y su consiguiente mantenimiento. Para la implantación de este sistema se debe cumplir con cuatro componentes mínimos:

1. Política y objetivos de seguridad operacional
2. Gestión de riesgos de seguridad operacional
3. Aseguramiento de la seguridad operacional
4. Promoción de la seguridad operacional

Dichos componentes establecen la necesidad de coordinación en cuanto a respuestas para las posibles emergencias, la identificación de los riesgos/peligros, evaluación para la resolución de los mismos, mantenimiento y mejora, y formación del personal.

Tanto los proveedores de servicios de tránsito aéreo como los sistemas de comunicaciones, navegación aérea, vigilancia y gestión del espacio aéreo deberán contar con una serie de requisitos y cumplimiento de la seguridad operacional (Reglamento (UE) 2017/373). Los proveedores meteorológicos y de ruido también deberán estar cubiertos.

El Reglamento (UE) 965/2012 regula el SMS de aquellos operadores que realicen el transporte aéreo para pasajeros.

Por otro lado, las operaciones especializadas están reguladas por el Reglamento (UE) 379/2014 y aquellas operaciones contra incendios o salvamento por el Real Decreto 750/2014.

En cuanto a la Seguridad, es importante considerar varios factores como son los pasajeros, la carga, la cyber seguridad, etc.

Como en los aeropuertos, los diseños que hemos podido ver hasta ahora de vertipuertos, también cuenta con un control de pasajeros para promover la seguridad. Por ello, deberán pasar por un control de seguridad evitando poseer ciertos materiales u objetos que pongan en riesgo la operación. Todos los vertipuertos deberán contar con controles de seguridad donde se utilice tecnología, detectores de metales/explosivos, etc. Además será necesario identificarse antes de obtener acceso a la zona de espera para que conste. Por la parte de vigilancia, se deberá de contar con un sistema de cámaras como en el aeropuerto, para una vigilancia constante. El personal de seguridad también será necesario para que vigilen la infraestructura y eviten posibles conflictos.

La ciberseguridad, encargada de la seguridad de redes, software y diferentes amenazas digitales, se ha convertido en una medida totalmente necesaria ante posibles hackeos, algo que supondrá un riesgo crítico y que habrá que evitar. Por ello, se deberá instaurar diferentes sistemas de protección tanto en el vertipuerto como en las aeronaves VTOL. AESA deberá garantizar que se disponga de las medidas necesarias para asegurar la correcta gestión de la ciberseguridad. El Reglamento (UE) 2019/1583 cubre la regulación de la ciberseguridad en España.

Por lo tanto, en el emplazamiento de los vertipuertos se deberá desarrollar un Sistema de Gestión Operacional y se tendrá en cuenta la seguridad física. Para el emplazamiento de los vertipuertos, sería necesario identificar localizaciones óptimas y realizar un estudio de la demanda de usuarios. Actualmente existen varias empresas que se dedican al BigData y que se encuentran realizando un estudio en España para determinar esta información.

Se deberán de desarrollar y analizar los siguientes factores clave para un correcto desarrollo y localización de la infraestructura.

Evaluación de Riesgos

Como se ha mencionado, identificar y evaluar los riesgos que podrían presentar las operaciones de vertipuertos y los procedimientos a seguir ante las emergencias que ocurran, es esencial. Para la evaluación de riesgos deberemos analizar desde el punto de vista urbano y suburbano.

❖ Vertipuertos en Áreas Urbanas

Un riesgo potencias en esta área cuyo nivel de población es elevado, el riesgo de colisiones durante la operación pudiendo afectar a terceras partes. Otro riesgo pudiera ser la interferencia con la infraestructura urbana, edificios, postes eléctricos, pájaros, etc. Por otro lado, los vertipuertos deberán estar diseñados de tal manera que no empeoren la calidad de vida de la sociedad, ya que al estar ubicados cerca de residencias urbanas, el nivel de ruido podría superar lo permitido en algunas Comunidades. Por otro lado, el establecimiento de puntos para aterrizajes en caso de emergencia también puede ser un gran riesgo debido a la falta de espacio que suele haber en las grandes ciudades.

En cuanto a los procedimientos en caso de emergencia, se deberán establecer protocolos tanto en zonas urbanas como suburbanas, creando planes de emergencia con respuesta rápida por parte de los servicios de rescate y emergencia, establecer rutas de seguridad y realizar simulacros para formar al personal.

❖ Vertipuertos en Áreas Suburbanas (cercanas a aeropuertos)

El mayor riesgo que podría ocurrir en las inmediaciones de un aeropuerto sería la interferencia con el tráfico aéreo y sería necesario una gestión del mismo y que estuviera apartado de la zona de despegue y aterrizaje de los aviones comerciales y a su vez contar con un sistema de comunicación y coordinación para evitar colisiones o efectos negativos en la operación del VTOL.

Integración de diferentes Medios de Transporte

La integración de los vertipuertos junto a otros medios de transporte es esencial para asegurar la conectividad de la ciudad. Por ello, lo ideal sería establecer en los vertipuertos paradas de taxis, autobuses e incluso aparcamientos (en algunos casos) para asegurar la eficiencia de la movilidad urbana. Para ello, se tendrá que trabajar con las autoridades locales y urbanísticas e integrar los vertipuertos para que formen parte complementaria del transporte de la ciudad. Para ello también habrá que realizar colaboraciones y acuerdos con los operadores de transportes (autobuses, trenes y taxis).

Normativas y Regulaciones

Como ya se ha mencionado, se deberá cumplir con las normativas y regulaciones establecidas y realizar un mantenimiento continuo para la seguridad.

Impacto Ambiental y Ruido

En el próximo capítulo se verá con mayor detalle las evaluaciones que se deberán seguir para mitigar dicho impacto, tan importante para la población.

Personal

Por otro lado, ya hemos hablado respecto a la formación de los pilotos, pero el personal de tierra también deberá recibir formación para asegurar que estos estén completamente capacitados y cumplan los requisitos de seguridad y eficiencia.

Para evitar estos riesgos, en las posibles áreas de emplazamiento se deberá proponer una serie de medidas para no poner en peligro la operación de las aeronaves en los vertipuertos.

➤ Zonas Urbanas

Para la correcta gestión del tráfico aéreo, se pueden utilizar sistemas para la coordinación de las aeronaves, ayudando así a reducir los riesgos con otras aeronaves y/o drones. El uso de drones personales, deberá estar controlado en los alrededores de los vertipuertos. Las rutas deberán ser definidas de manera que eviten obstáculos como la infraestructura urbana. Para ello, las ubicaciones óptimas deberán estar lejos de obstáculos considerados como críticos (como podría ser cerca de numerosos rascacielos). Dentro de las zonas urbanas, se podría realizar un estudio de aquellos edificios en los que se podrían construir vertipuertos en la azotea, considerando factores estructurales entre otros, pero preservando la seguridad o considerando zonas urbanas alejadas en cierta medida del centro de la ciudad. Otra medida de mitigación en zonas urbanas deberá ser amortiguamientos del ruido instaurados en los vertipuertos de tal manera que no afecte en gran medida a aquellos que habiten cerca de estos. Los vertipuertos, deberán estar ubicados también en zonas terrestres pero respetando una zona de seguridad para evitar riesgos en terceros en un posible despegue fallido, entre otros. Durante las rutas, los puntos de emergencia deberán estar establecidos y señalizados para evitar riesgos.

➤ Zonas Suburbanas

Para mitigar la interferencia con el tráfico aéreo comercial, en el caso de estar localizados cerca de los aeropuertos, será necesario integrar un control de tráfico aéreo que gestione tanto los aviones, como las aeronaves VTOL y estableciendo sistemas de comunicaciones entre los pilotos de los VTOL y los controladores aéreos en la torre de control del aeropuerto, trabajando en conjunto de manera continua. En estas zonas, también se deberá establecer una zona de seguridad para evitar daños.

Además para ambas zonas se deberá contar con sistemas de predicción meteorológica, para evitar los riesgos que pueda traer la diferentes condiciones meteorológicas. Al igual que se diseñaran puntos para la desviación de las rutas en caso de emergencia, también se establecerán los mismos en caso de riesgos por el empeoramiento de la meteorología durante el trayecto, poniendo así a salvo a los pasajeros.

La empresa Ferrovial Aeropuertos junto con DatActionS y otras colaboraciones, está realizando un análisis para localizar las zonas más óptimas donde se pueda realizar esta infraestructura por España. Este proyecto que plantean, pretende construir veinte vertipuertos para conectar diferentes áreas del país. Aunque estas localizaciones se desconocen actualmente, según lo analizado podemos plantear una serie de ubicaciones que podrían ser de interés.

La densidad de la población, la conectividad de los diferentes medios de transporte, la disponibilidad del espacio y la normativa, son factores clave.

Posibles Ubicaciones y Rutas

A continuación se van a proponer posibles ubicaciones (teniendo en cuenta las inmediaciones también) que serían de interés para establecer los vertipuertos y ayudar a la movilidad de la ciudad y a la descongestión de la misma, además de proporcionar conectividad con otros medios de transporte.

Madrid

La capital de España cuenta con una población aproximada de siete millones de personas en 2023, además cuenta con una gran conectividad para el transporte urbano.

- ❖ Aeropuerto Adolfo Suárez Madrid-Barajas: Se podría aprovechar la infraestructura del aeropuerto y creando un vertipuerto para acceder con mayor facilidad y rapidez a este, sirviendo de conectividad entre la ciudad y el aeropuerto.
- ❖ Estaciones de trenes Atocha/Chamartín: De esta manera, se podría mejorar la conectividad con el centro de la ciudad y además contar con otros medios de transporte.

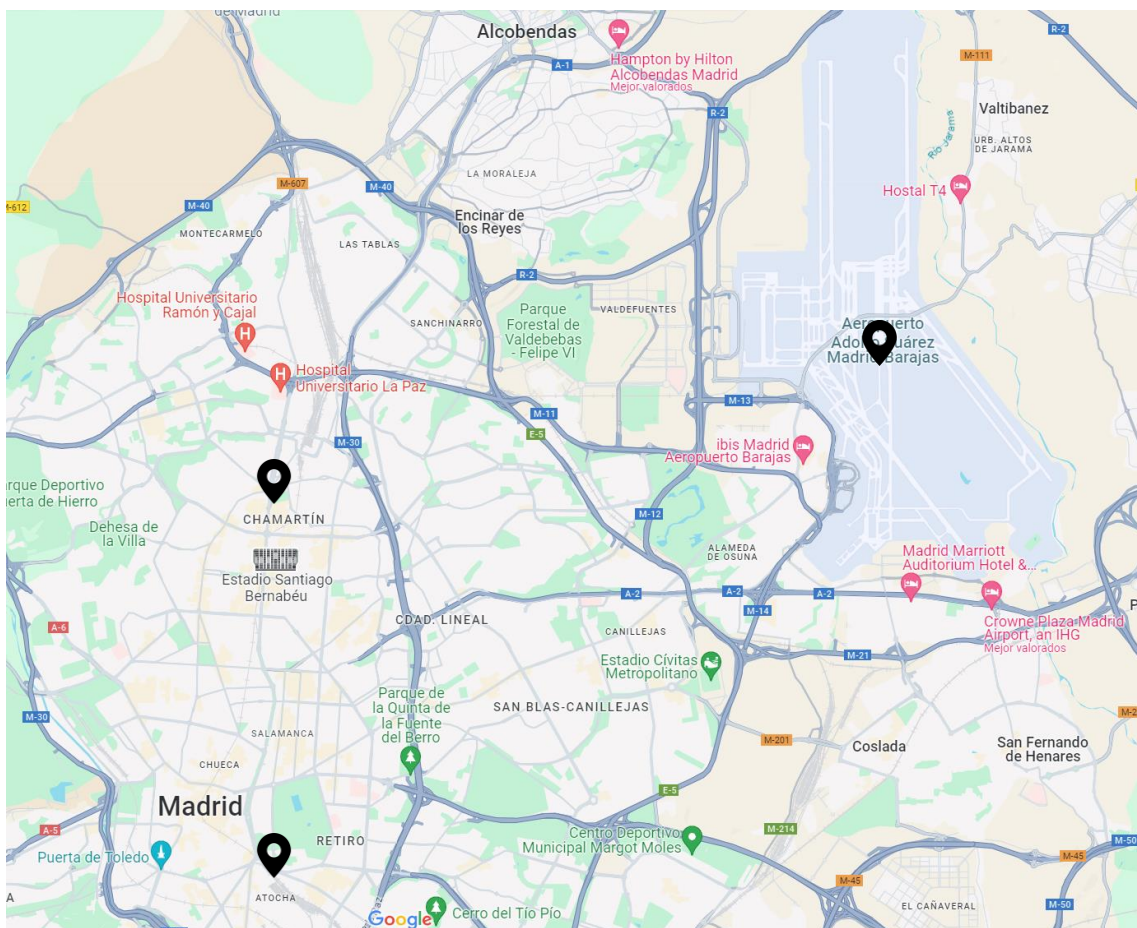



Ilustración 28. Posible infraestructura en Madrid

 Barcelona

- ❖ Puerto de Barcelona: Barcelona International Terminal (BIT)
- ❖ Aeropuerto Josep Tarradellas Barcelona-El Prat

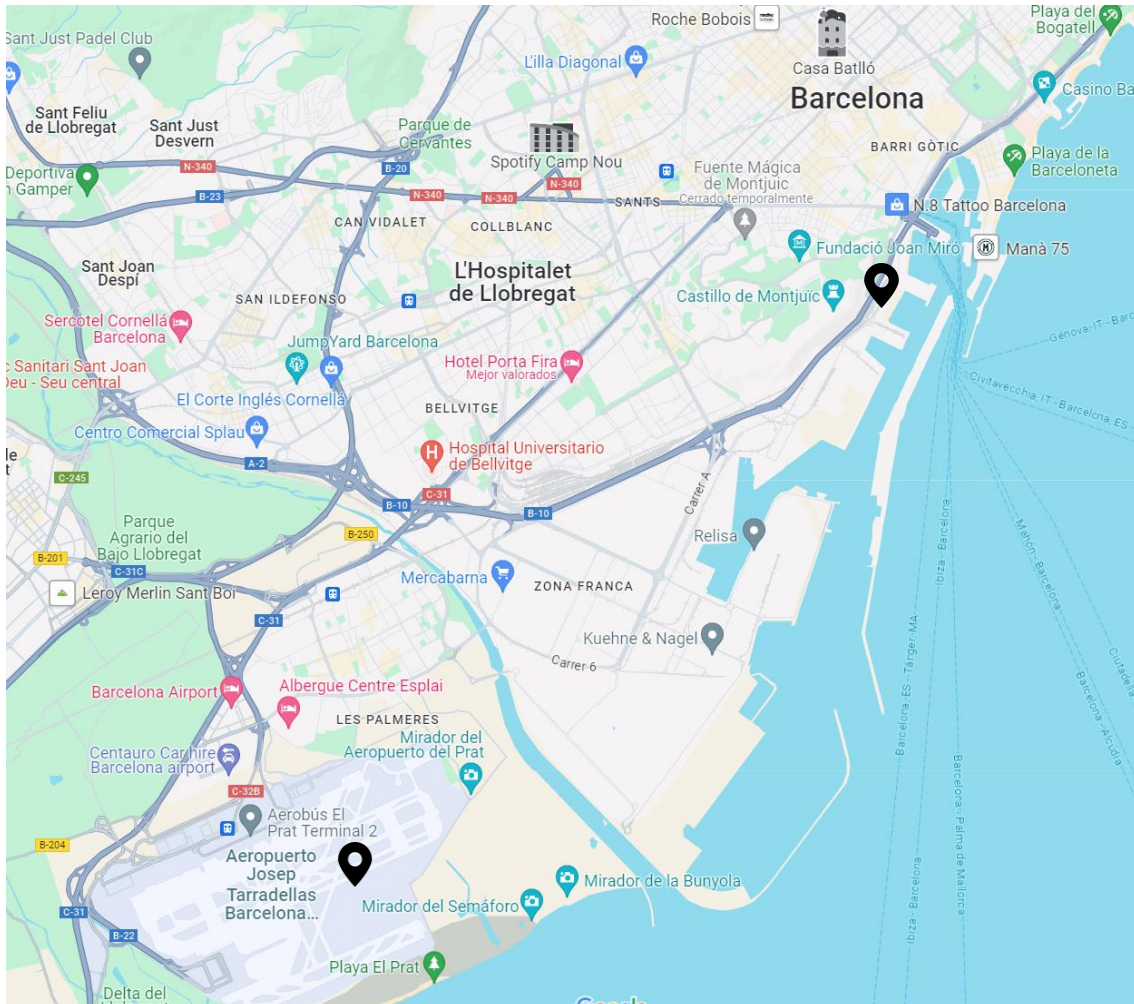


Ilustración 29. Posible infraestructura en Barcelona

 Valencia

- ❖ Aeropuerto de Valencia (VLC)
- ❖ Cercanías a la Ciudad de las Artes y las Ciencias

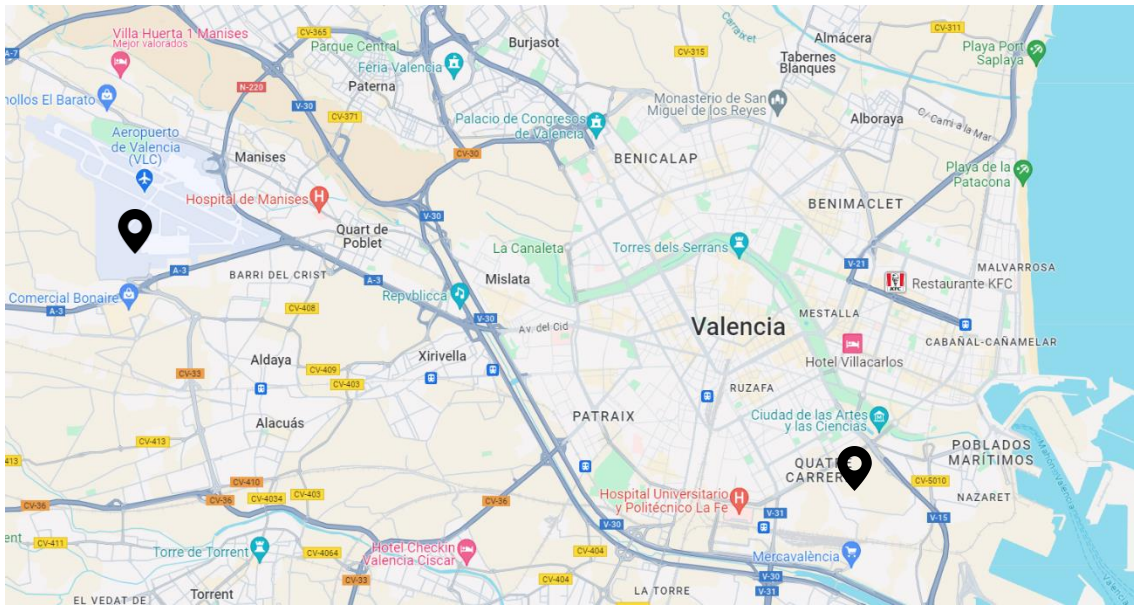


Ilustración 30. Posible infraestructura en Valencia

Estas propuestas serían competencia de las Comunidades Autónomas y habría que seguir el proceso descrito en el esquema 1 (figura 26) para poder realizar su construcción y apertura al tráfico.

País Vasco

- ❖ Cercanías del Museo Guggenheim (Bilbao)
- ❖ Aeropuerto de Bilbao

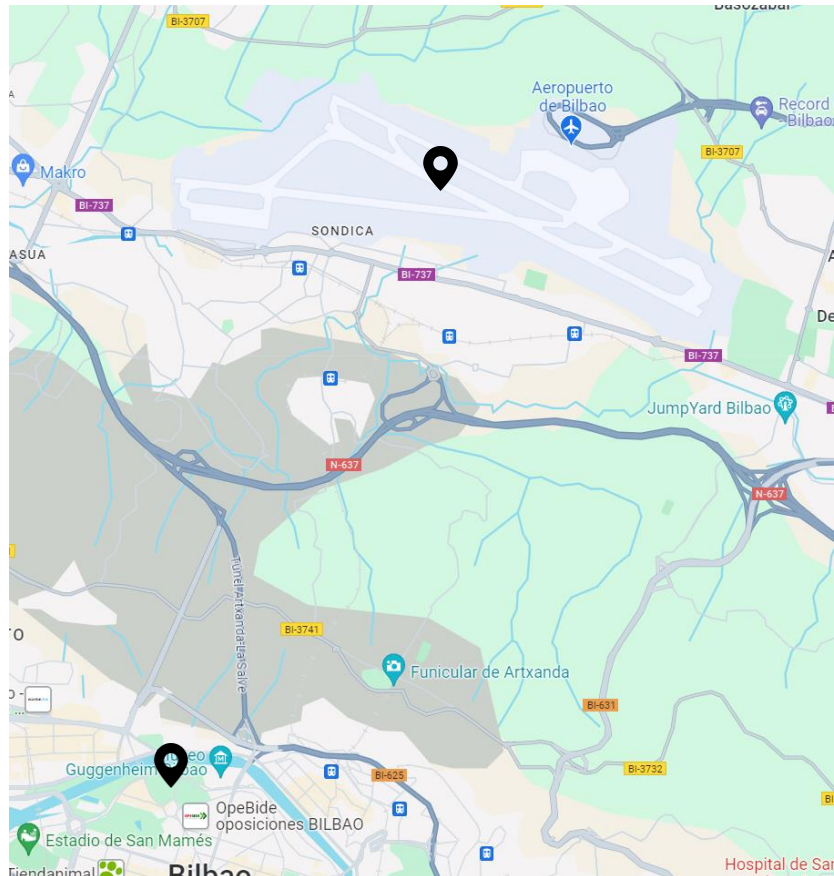


Ilustración 31. Posible infraestructura en el País Vasco

✚ Andalucía

- Sevilla

- ❖ Aeropuerto de Sevilla (SVQ)
- ❖ Muelle de la sal
- ❖ Parque Tecnológico (PCT)

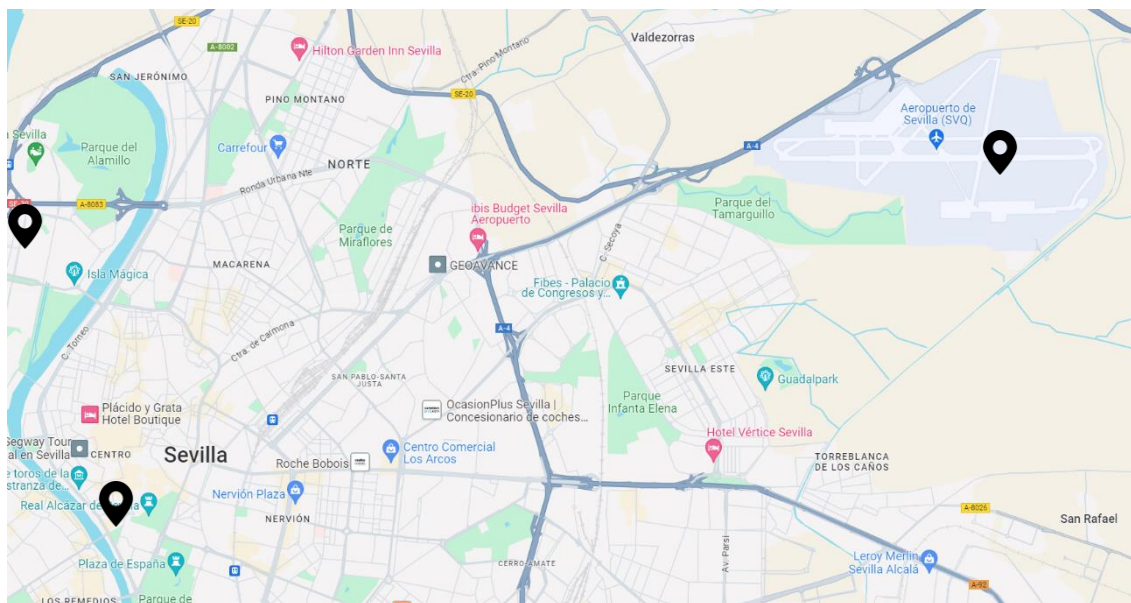


Ilustración 32. Posible infraestructura en Sevilla

- Málaga

- ❖ Aeropuerto de Málaga – Costa del Sol
- ❖ Puerto de Málaga

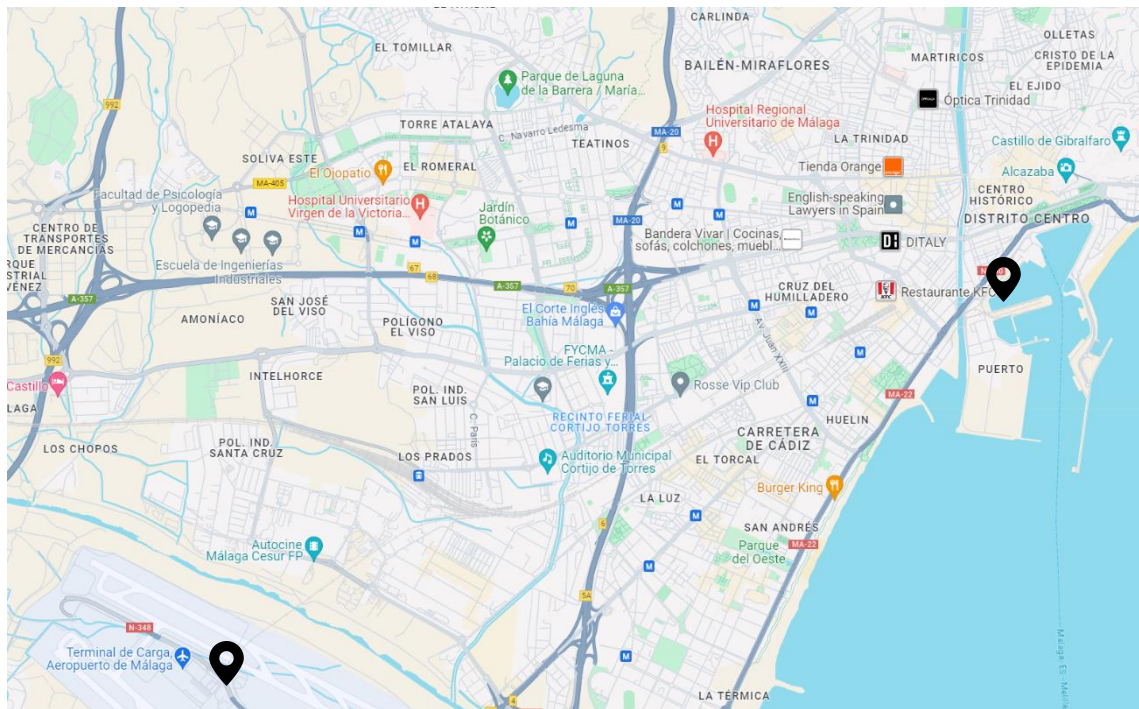


Ilustración 33. Posible infraestructura en Málaga

Estas propuestas serían competencia del Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible y habría que seguir el proceso descrito en el *esquema 2 (figura 25)* para poder realizar su construcción y apertura al tráfico.

4.2. Diseño

En el emplazamiento de la infraestructura, el diseño juega un papel fundamental, ya que hay establecidas ciertas normas y especificaciones para satisfacer las necesidades de las operaciones, además de proporcionar seguridad. Este espacio mínimo requerido de diseño será fundamental para establecer la correcta ubicación.

Los diseños de los vertipuertos tendrán generalmente dos zonas diferenciadas:

- a) Área de despegue y aterrizaje
- b) Puesto de Estacionamiento
- c) Terminal

A) Área de despegue y aterrizaje

A continuación, procedemos a presentar algunas de las características generales, establecidas por EASA para el diseño de los vertipuertos.

En este punto debemos definir el concepto de FATO (Final-Approach and Take-Off Areas). FATO es aquel área donde se realizan las maniobras de despegue, aproximación y finalmente aterrizaje. Esta área debe ser libre de obstáculos para evitar riesgos durante la operación.

Si nos vamos a la especificación de diseño de vertipuertos, compartida por la EASA (PTS-VPT-DSN), se establece la distancia mínima que debe tener el área FATO, que corresponde a la longitud de despegue rechazado que esté establecido en el manual de vuelo de cada aeronave VTOL, o 1.5 el diámetro total de la aeronave. Entre estos dos valores, se escogerá aquel que sea mayor. Según se especifica en la especificación de diseño SC VTOL.2105, para determinar el tamaño FATO, condiciones como la temperatura, elevación, etc. se deberán considerar. El área FATO deberá ubicarse de manera que minimice la influencia que provoquen las posibles turbulencias a la aeronave. Deberá estar rodeada por un área de seguridad para crear una zona libre de obstáculos.

También será importante establecer esta área de seguridad para evitar corrientes descendientes (vientos verticales) que podrían producir riesgos en el aterrizaje, tanto a los pasajeros, como a las zonas de alrededor como vegetación, estructuras, etc.

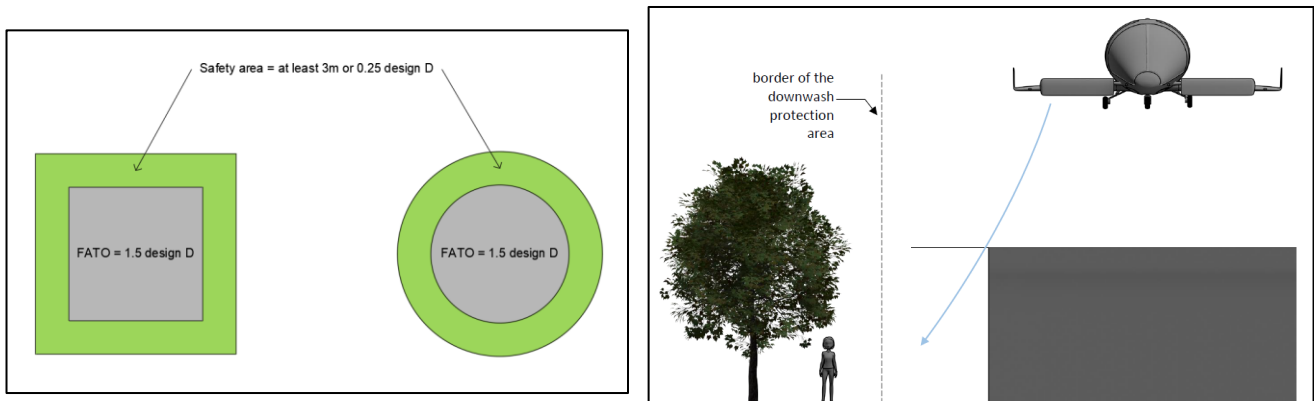


Ilustración 34. Área FATO. Fuente: PTS-VPT-DSN

Para la correcta operación y despegue de la aeronave, se deberá elevar una pendiente de seguridad de 45° desde el área de seguridad hasta una distancia mínima de 10 metros. Todo estas áreas mencionadas deberán estar libre de obstáculos. A continuación se muestra una ilustración con los áreas de protección mencionados.

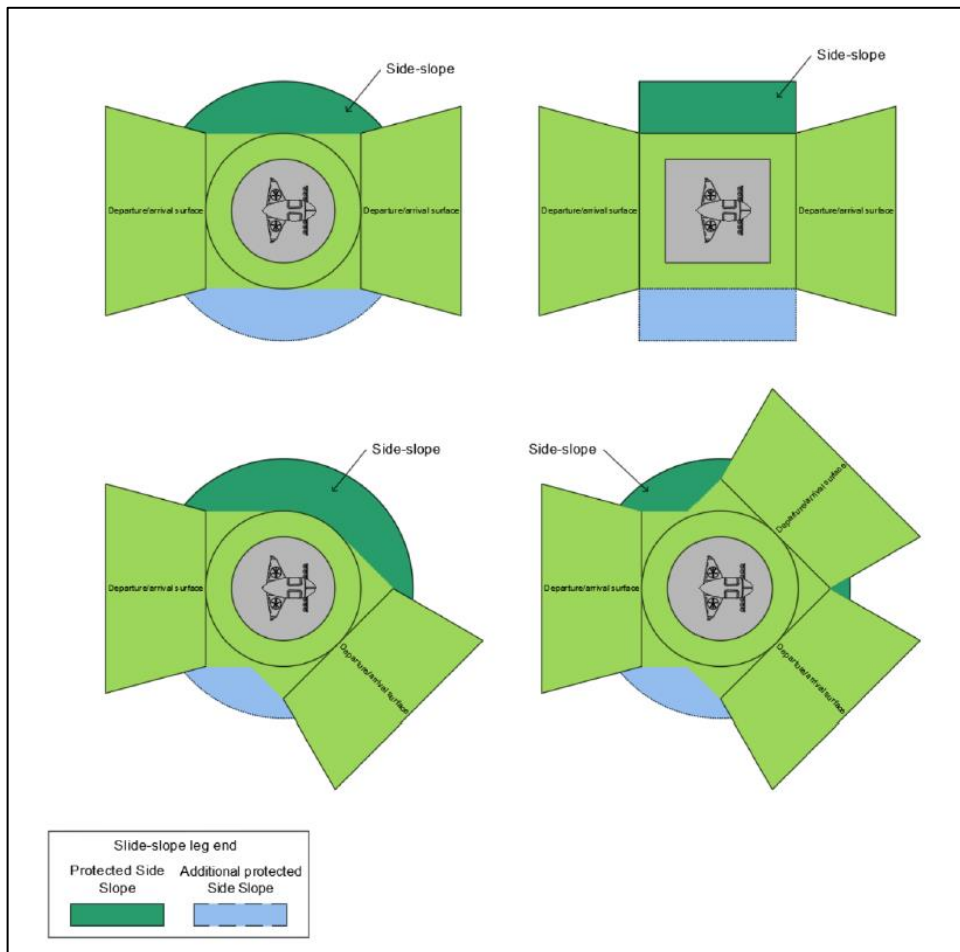


Ilustración 35. Áreas de seguridad. Fuente: PTS-VPT-DSN

Se debe considerar diferentes superficies de despegue, aproximación y aterrizaje, separadas entre sí con un ángulo mínimo de $135^\circ - 180^\circ$.

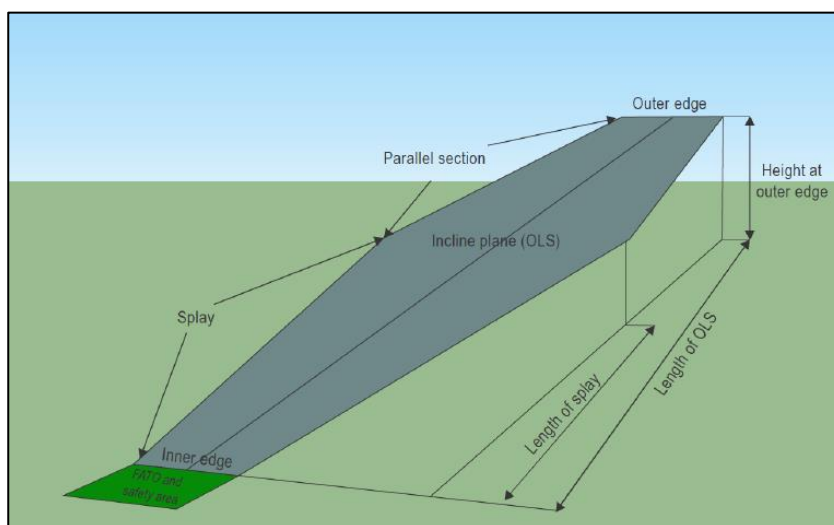


Ilustración 36. Despegue y aterrizaje, superficie. Fuente: PTS-VPT-DSN

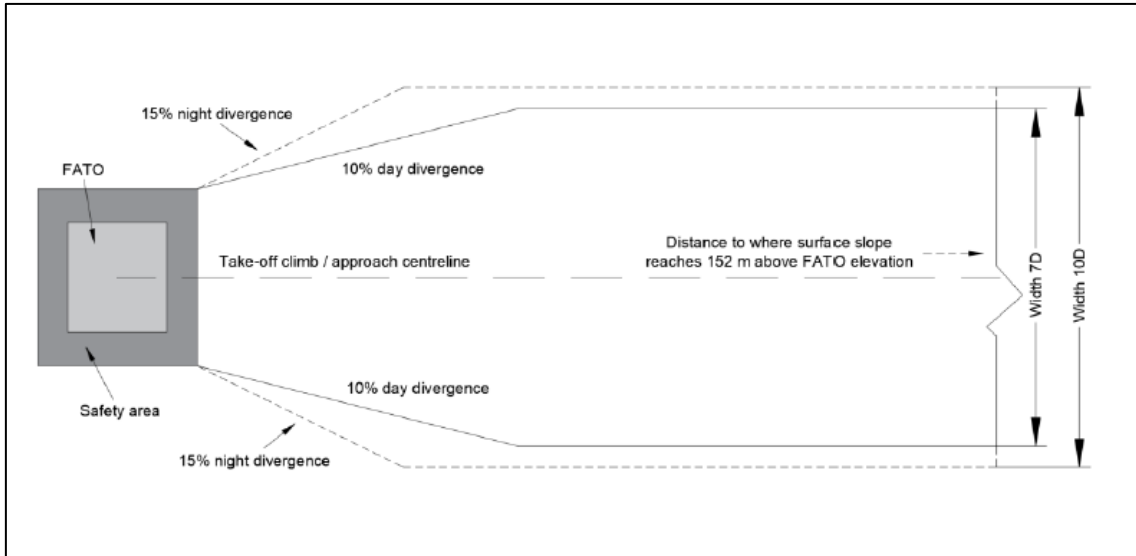
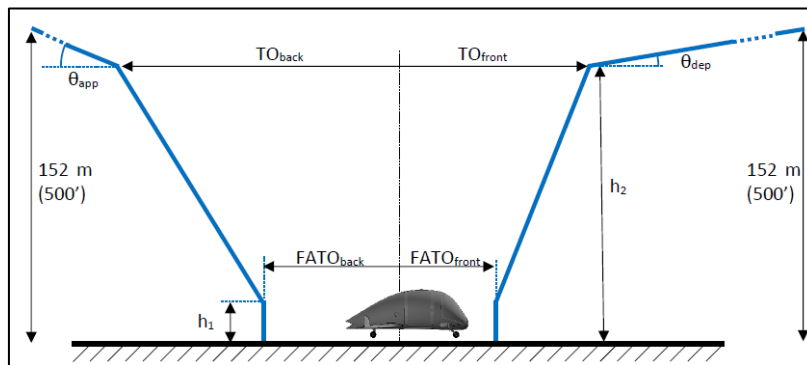


Ilustración 37. Longitud de la anchura mínima para el despegue y aterrizaje. Fuente: PTS-VPT-DSN

Una vez se alcancen los 152 metros respecto a la elevación de la pendiente respecto al área FATO, la superficie de anchura de 7·D – 10·D permanecerá constante por seguridad.

El volumen libre de obstáculos, es necesario para la protección alrededor del vertiport, principalmente en aquellas áreas que estén más congestionadas. A continuación se presenta un esquema de los parámetros mínimos para cumplir con la normativa.



h_1	Altura 1 de desplazamiento (baja)	Valores mín./máx.
h_2	Altura 2 de desplazamiento (alta)	$\geq h_1$
TO_{width}	Ancho en altura 2	$\leq 5 \cdot D$
TO_{front}	Distancia frontal desde altura 2	$\leq 5 \cdot D$
TO_{back}	Distancia trasera desde altura 2	$\leq 5 \cdot D$
$FATO_{width}$	Ancho área FATO	$\geq 1.5 \cdot D$
$FATO_{front}$	Distancia fronta área FATO	$\geq 0.75 \cdot D$
$FATO_{back}$	Distancia trasera área FATO	$\geq 0.75 \cdot D$
θ_{app}	Pendiente superficie para la aproximación	$\geq 4.5\%$
θ_{dep}	Pendiente superficie para la salida	$\geq 4.5\%$

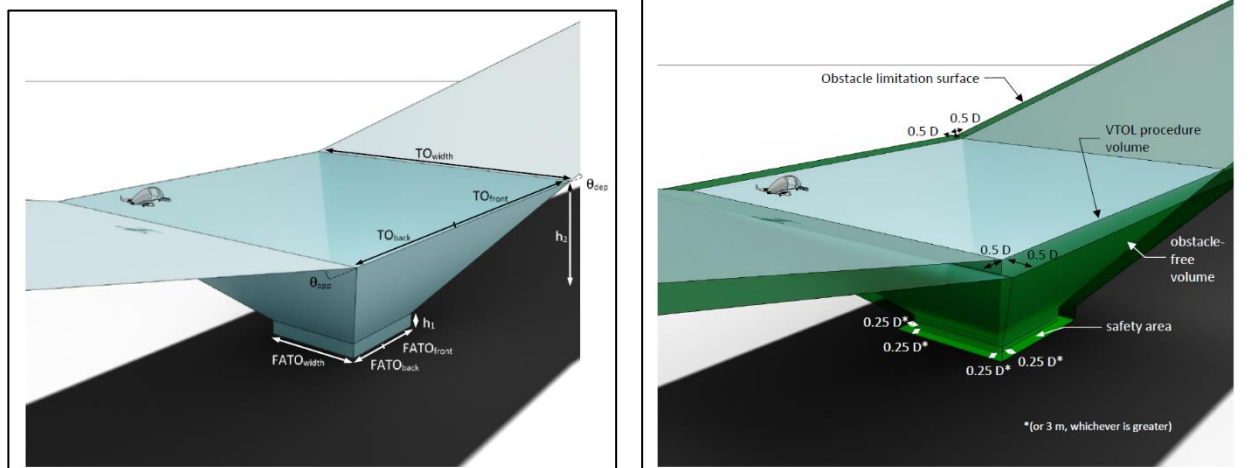


Ilustración 38. Parámetros del área de despegue y aterrizaje. Fuente: PTS-VPT-DSN

B) Puesto de Estacionamiento

Los puestos de estacionamiento servirán para embarcar desembarcar, además de para realizar la carga y descarga. No todos los vertipuertos contarán con este espacio ya que requerirá de mayores dimensiones además de contar con una pista de rodaje para realizar el taxi hacia el área de despegue y aterrizaje.

Esta pista de rodaje también deberá contar con un área libre de obstáculos con unas dimensiones de ancho establecidas por la EASA. Esta pista deberá ser capaz de soportar el peso y cargas provocadas por la aeronave. El ancho mínimo de esta pista deberá ser mínimo $2 \cdot UCW$ (ancho del tren de aterrizaje).

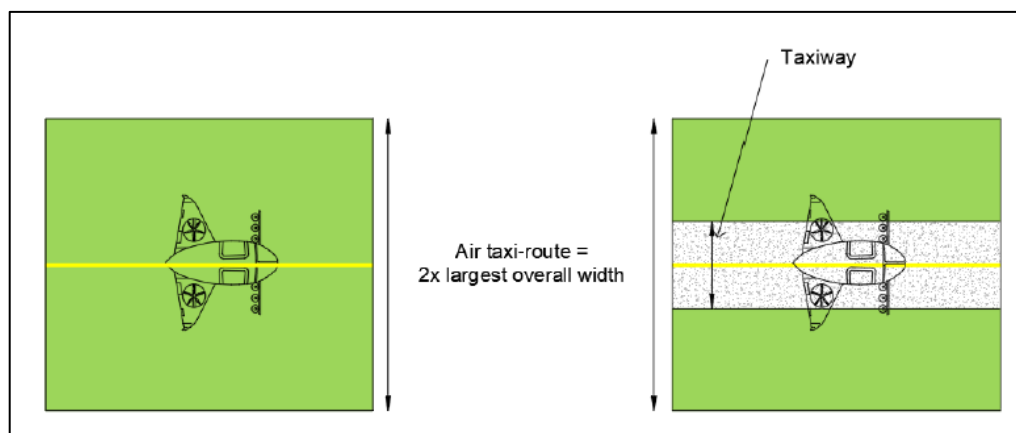


Ilustración 39. Área pista de rodaje. Fuente: PTS-VPT-DSN

La velocidad máxima en la pista de rodaje no deberá exceder los 37 km/h.

C) Terminal

Una terminal en los vertipuertos será necesaria para el control de los pasajeros y la carga, aunque deberá ser diseñada de una manera eficiente para ahorrar tiempo a los pasajeros.

Será necesario introducir un sistema para la gestión eficiente de pasajeros, donde se realice un control de los pasajeros de manera sencilla tras la reserva del aerotaxi. Pasar el check-in y un control de seguridad será necesario para no poner en riesgo la operación de la aeronave.

Para el control de acceso, el uso de tarjetas de embarque digitales podrían ser integradas de manera que se pudiera confirmar y validar de manera rápida. Sistemas biométricos como pudiera ser reconocimiento facial, podría ser también incorporado para agilizar este proceso.

La carga también deberá ser inspeccionada por escáneres y tecnología que permita asegurar la operación del vuelo.

Además, la terminal deberá contar con un equipo de seguridad que sea capaz de responder ante alguna emergencia.

El proceso de flujo de pasajeros del vertipuerto debería ser de cinco pasos principales, entrada al vertipuerto, check-in, control de seguridad y escaneo de carga, área de espera y embarque. Uno de los objetivos de los vertipuertos será que los pasajeros pasen el mínimo tiempo en las zonas de espera y que sea un flujo eficiente de pasajeros.

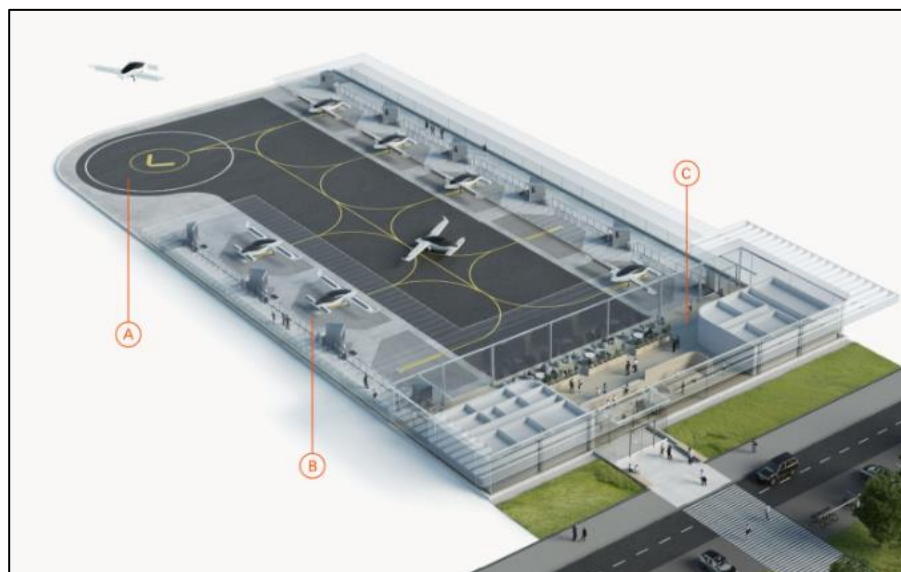


Ilustración 40. Áreas destacadas de un vertipuerto

En un análisis desarrollado por Bluenest, realizan un estudio sobre la movilidad aérea urbana y nos muestran una serie de diseños de vertipuertos de interés, diferenciándose entre sí según su posición, mar, aire, tierra.

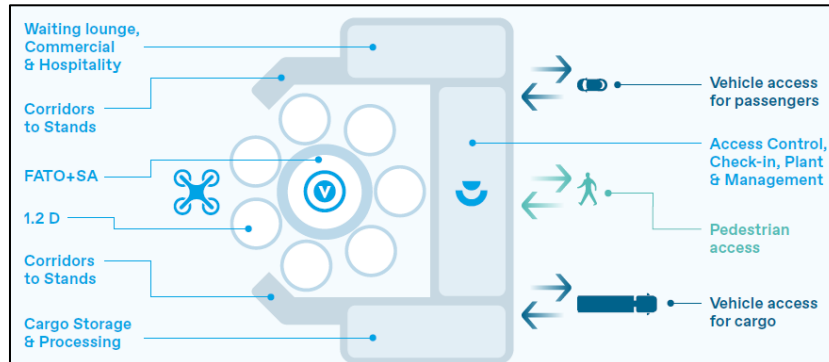


Ilustración 41. Propuesta de diseño de un vertipuerto en una superficie en tierra

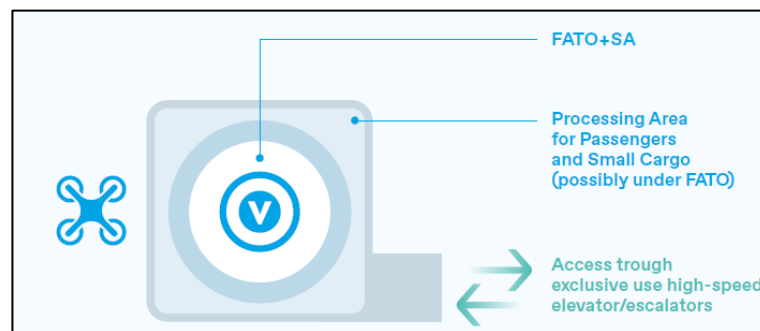


Ilustración 43. Propuesta de diseño de un vertipuerto en una superficie elevada (ej. Azotea)

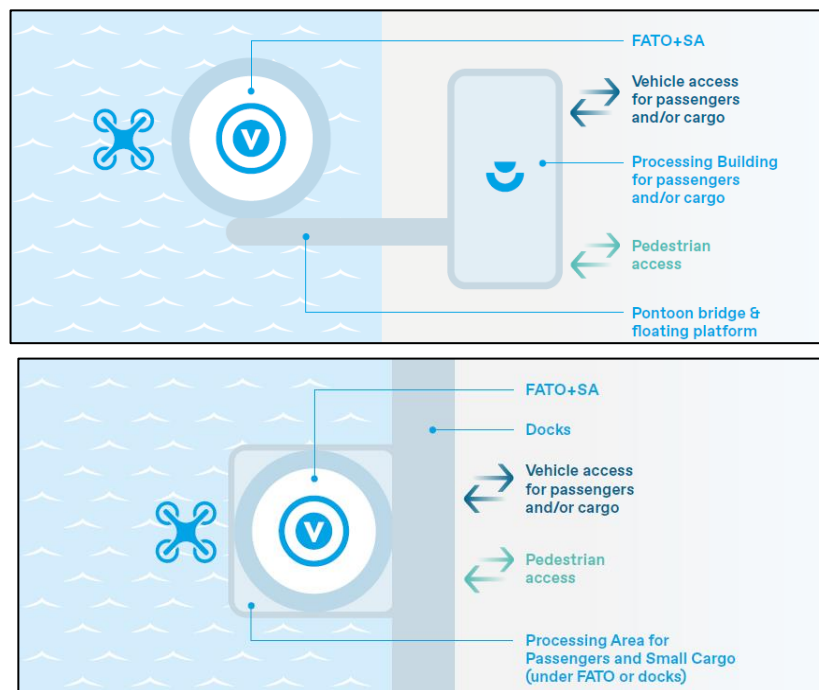


Ilustración 42. Propuesta de diseño de un vertipuerto en zona costera/puerto marítimo

CAPÍTULO 5. IMPACTO AMBIENTAL

En la movilidad aérea urbana, el uso de aeronaves VTOL en zonas urbanas o suburbanas causarán una serie de efectos e impactos tanto ambientales como de ruido que deberán de pasar unos análisis para gestionarlos según las normas y regulaciones establecidas.

A continuación se van a realizar unos análisis de acuerdo a las leyes vigentes actuales, Ley 21/2013 (evaluación ambiental), y la Ley 37/2003 (evaluación de ruido).

Impacto Ambiental

La Ley 21/2013, de evaluación ambiental es una ley de protección del medio ambiente, donde se debe establecer un riguroso estudio de los impactos que cada proyecto pueda tener y una implementación de medidas mitigadoras para estos impactos ambientales.

Podemos encontrar ciertos impactos que este nuevo medio de transporte puede traer consigo y que además de preocupar a la sociedad, deberán de mitigarse.

En primer lugar, las emisiones de gases contaminantes. Numerosas leyes se aplican en Europa para reducir el impacto de los gases con efecto invernadero en los próximos años. Las aeronaves que hemos estado analizado son eVTOL, totalmente eléctricas, lo que contribuye a la reducción de la huella de carbono que se quiere conseguir. Si lo comparamos con otros medios de transporte tradicionales, los eVTOL traerán consigo un rasgo sostenible y respetuoso para el medioambiente. Dado que son totalmente eléctricos, durante toda la operación de estas aeronaves no se emitirán contaminantes, mejorando así la calidad del área, principalmente en aquellas áreas que estén densamente pobladas.

Por otro lado, la alteración del hábitat y del terrenos también causarán un impacto, principalmente en aquellas zonas que sean más pobladas y dentro de la ciudad. La construcción de estos vertipuertos requerirá de cierto espacio de seguridad como hemos visto y es por ello, que habrá que alterar el terreno. Esto podría afectar a la biodiversidad y por lo tanto causar un impacto negativo en la sociedad. Esta alteración de hábitat deberá ser planificada cuidadosamente, principalmente en aquellas áreas urbanas que no estén elevadas y que supongan una alteración de la vegetación de la ciudad.

Se plantean a continuación una serie de medidas mitigadoras que podrían ayudar a la reducción del impacto ambiental.

Dado que las aeronaves eVTOL son totalmente eléctricas, los vertipuertos requerirán de un punto de recarga, para estos puntos podrían utilizarse instalaciones sostenibles como podrían ser instalaciones de energía solar o eólica. En España la cantidad de horas solares

de las que se dispone al día es un punto a favor que podría aprovecharse. Por ello, se podrían implementar paneles solares en los vertipuertos que proporcionen energía para la recarga de estas aeronaves, además de servir para la propia energía utilizada en los vertipuertos. Para esta instalación y uso de energía solar, se deberán de seguir una serie de normativas y regulaciones como son la Ley 24/2013 (regula la generación y distribución de energía eléctrica) o el Real Decreto 244/2019 (regula autoconsumo de energía solar).

En cuanto a la construcción de los vertipuertos, también se podría considerar el uso de materiales sostenibles y ecológicos. Además podrían incluirse zonas verdes en el mismo, incluyendo pequeños jardines alrededor para ayudar a mejorar la calidad del aire alrededor del mismo.

Para el procedimiento de evaluación de impacto ambiental, se deberá realizar una consulta previa con la autoridad competente, donde se deberá realizar un informe público de este impacto donde podrá recibir alegaciones. La autoridad competente emitirá un informe favorable, favorable con condiciones o desfavorable, rechazándolo por completo.

Las autoridades competentes puede variar en España entre autoridades nacionales, autonómicas o locales, dependiendo del proyecto y su ubicación exacta. Entre estas autoridades competentes puede entrar el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, las Comunidades Autónomas o las Autoridades Locales.

Impacto de Ruido

La Ley 37/2003, del Ruido se establece para imponer una serie de medidas de protección al ciudadano. El impacto de ruido, principalmente en las zonas urbanas más cercanas a la ciudad es una de las principales preocupaciones ambientales que producen la operación de aeronaves eVTOL en los vertipuertos.

Durante las operaciones de las aeronaves, principalmente el despegue y el aterrizaje, generan un nivel de ruido los motores eléctricos y el movimiento del aire. Estos niveles son mucho menores que los provocados por los helicópteros como hemos visto a lo largo del proyecto. Durante el vuelo también provocarán un nivel de ruido en aquellas zonas bajo la aeronave. Teniendo en cuenta que varias aeronaves eVTOL estén operando a la vez, esto aumentará el nivel de ruido principalmente en las áreas congestionadas.

Estos efectos también provocan de manera directa un impacto en los humanos y la fauna. Se realizó un estudio donde se analizó que la exposición del ser humano a ruido constante aumenta los niveles de estrés y ansiedad, lo que conlleva a problemas graves de salud. Además, si se realizan viajes nocturnos, también podría afectar a la calidad del sueño.

Para mitigar estos problemas, los diseñadores de las aeronaves tienen en cuenta dicho impacto y realizan sus diseños con motores eléctricos avanzados, además de una mejora

en la tecnología y la aerodinámica para reducir la resistencia y generar un menor nivel de ruido.

También será necesario instalar unos sistemas amortiguadores del ruido, como el uso de materiales capaces de absorber el ruido en los vertipuertos o utilizar tecnología capaz de cancelar el ruido y así reducir el impacto del mismo.

En cuanto a las rutas y los horarios de operaciones, se podrían plantear rutas que a la vez de eficientes eviten sobrevolar zonas densamente pobladas y se limiten las operaciones de las eVTOL en ciertas horas si superan los decibelios permitidos.

El impacto de ruido es una de las mayores preocupaciones en cuanto a impacto social. El uso de tecnologías avanzadas, el emplazamiento estratégico y las rutas establecidas podrá ayudar a la mitigación de dicho impacto.

CAPÍTULO 6. IMPACTO SOCIAL

La implantación de este nuevo sistema de transporte tiene un impacto con respecto a la sociedad, trayendo consigo varios beneficios sociales a la vez que otros negativos.

El aumento de la población urbana creó en parte la necesidad de esta introducción de movilidad aérea urbana, pero a su vez trae consigo una dificultad aun mayor para la implantación de la misma en zonas congestionadas. Las operaciones de este medio de transporte en Europa, está previsto de aquí a tres o cinco años.

Algunas de las ventajas que presentará en la sociedad será la mejora de la movilidad urbana, reduciendo el tráfico terrestre y las congestiones y mejorando la conectividad de la ciudad. Además traerá la creación de empleos y un desarrollo de la ciudad.

Igual que ciertas ventajas, también podría traer una serie de desventajas como podría ser el impacto en las viviendas en los alrededores, o la necesidad de reubicación. Además se le suma lo ya mencionado en cuanto al ruido.

Por otro lado, la aceptación social de la UAM será totalmente necesario en los diferentes países. La EASA realizó un estudio entre 2020 y 2021 sobre la aceptación, el ruido y el mercado. Este estudio recabó información de alrededor de cuatro mil personas de seis ciudades de Europa, entre las que se encuentran Barcelona, Budapest, Hamburgo, Milán y París. Su objetivo era entender las preocupaciones y opiniones de los ciudadanos para poder implementar las regulaciones.

Los resultados del estudio realizado que se encuentra detallado “Study on the societal acceptance of Urban Air Mobility in Europe” de la EASA, son bastante parecidos en todas las ciudades realizadas. Como conclusiones de este estudio se pudo saber que la mayoría de los ciudadanos tienen una actitud positiva hacia este nuevo modo de transporte, además el uso de estas aeronaves para emergencias también fue bien visto. Todos ellos presentaban también la preocupación en cuanto al impacto que presentaría por el ruido producido en las ciudades y la seguridad de las operaciones. Según indica este estudio, el impacto del ruido efectivamente es una de las mayores preocupaciones. El miedo por la seguridad de estas operaciones y el daño a terceros, así como a las posibles amenazas de hackeo también se compartió.

Tras este estudio, se recabaron una serie de puntos que caerán bajo la competencia de las autoridades reguladoras y que consisten en abordar la seguridad, tanto de las operaciones de las aeronaves como de la fauna, la protección del medioambiente y el nivel de ruido, establecer medidas para prevenir los ataques de software, aumentando la ciberseguridad y una regulación exhaustiva de la coordinación del espacio aéreo.

A continuación se van a presentar una serie de gráficas recogidas de este estudio, donde nos centramos en España, concretamente en Barcelona donde se realizó este estudio para poder analizar los datos para obtener una conclusión final relacionado con la sociedad.

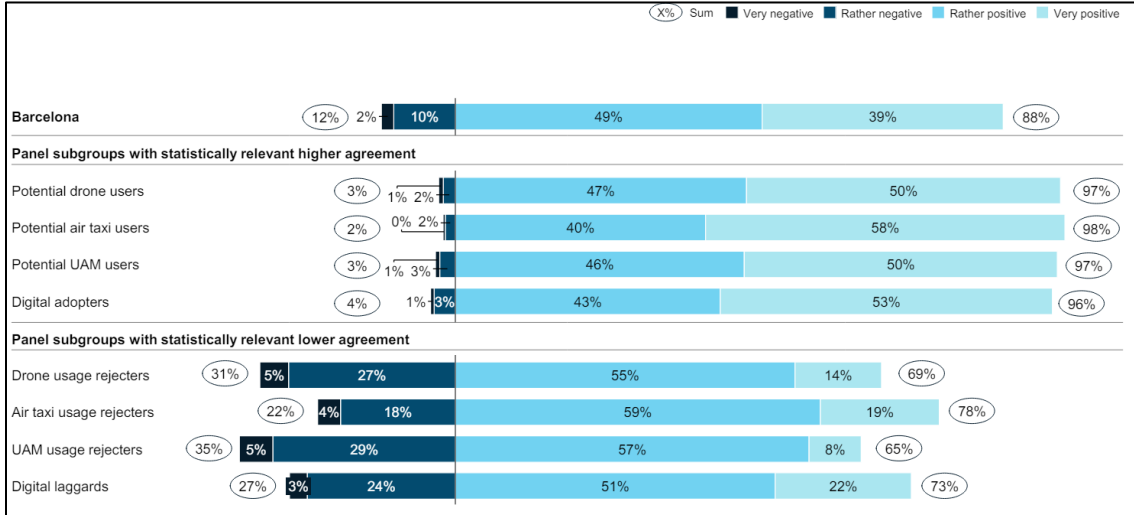


Ilustración 46. Actitud general hacia la UAM por parte de los ciudadanos de Barcelona. Fuente: EASA

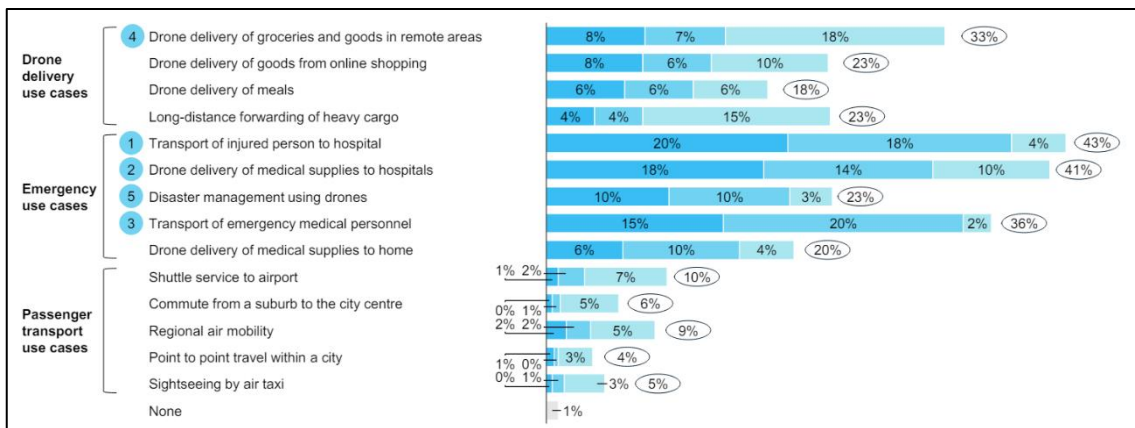


Ilustración 44. Utilidad percibida hacia la UAM por parte de los ciudadanos de Barcelona. Fuente: EASA

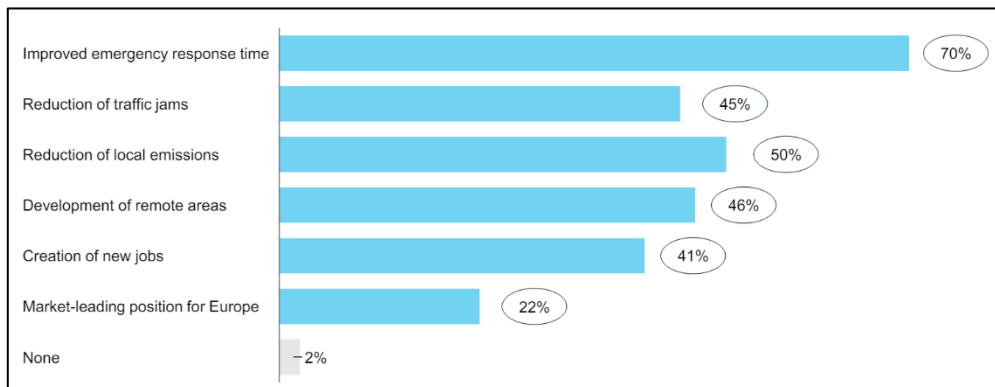


Ilustración 45. Beneficios que podría traer la UAM a las ciudades. Fuente: EASA

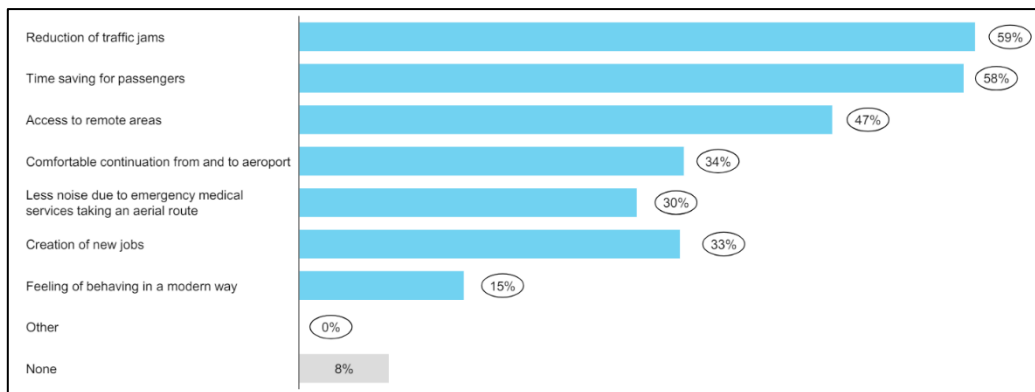


Ilustración 47. Beneficios de los aerotaxis para los ciudadanos de Barcelona. Fuente: EASA

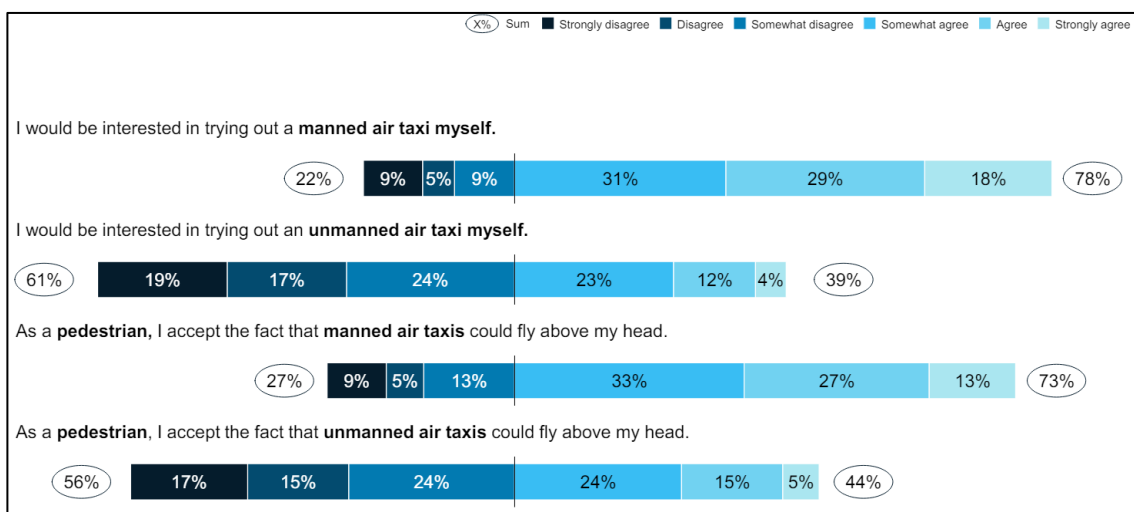


Ilustración 48. Nivel de aceptación de los aerotaxis pilotados o autónomos. Fuente: EASA

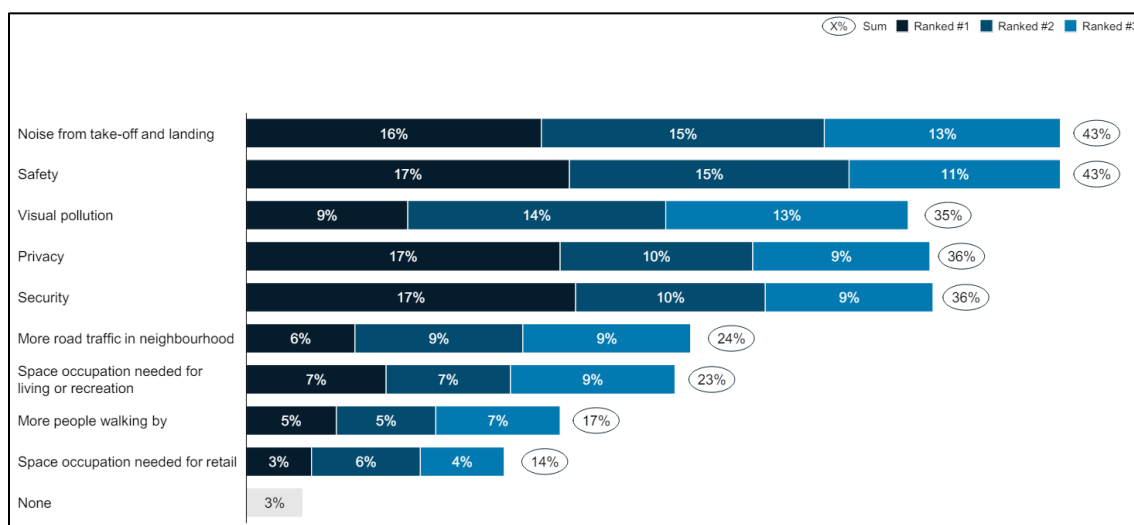


Ilustración 49. Preocupaciones sobre los vertipuertos. Fuente: EASA

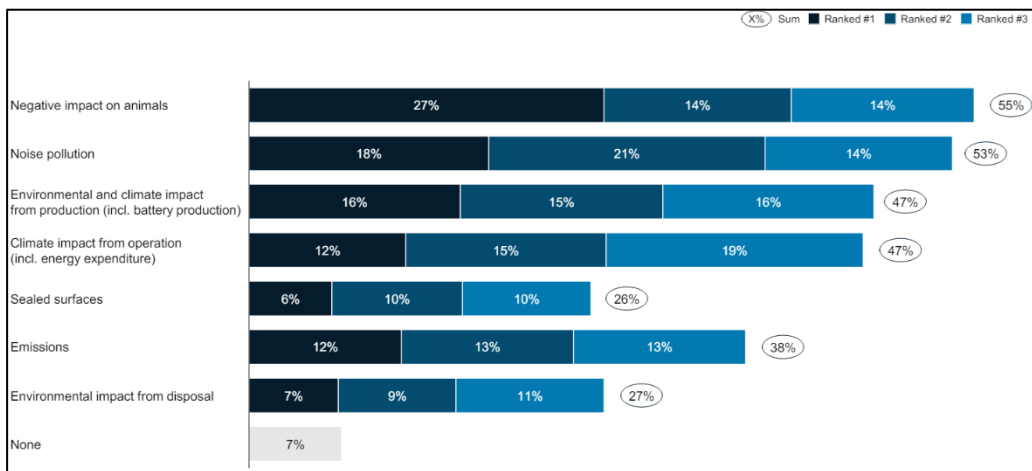


Ilustración 50. Preocupaciones ambientales con respecto a los aerotaxis. Fuente: EASA

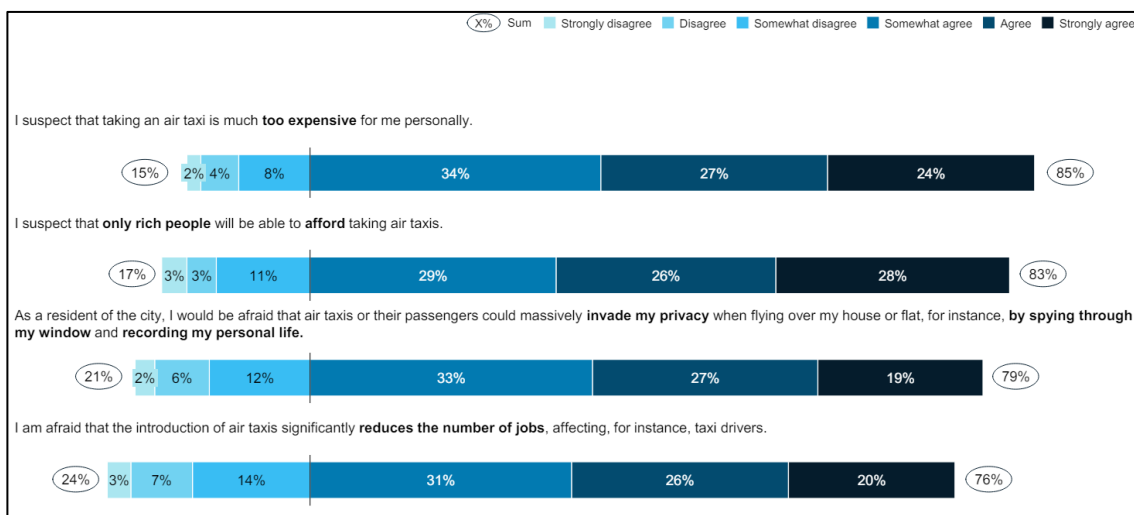


Ilustración 51. Declaraciones negativas con respecto a los aerotaxis en Barcelona. Fuente: EASA

CAPÍTULO 7. EL FUTURO DE LA MOVILIDAD AÉREA URBANA. CONCLUSIONES

El futuro de la movilidad aérea urbana promete traer consigo una serie de cambios con respecto a la manera en que nos desplazamos tanto en zonas urbanas como suburbanas. Las aeronaves con despegue y aterrizaje vertical totalmente eléctricas han sido desarrolladas con tecnología avanzada para reducir el impacto ambiental. La demanda en cuanto a transporte en las ciudades crece cada día y la necesidad de la descongestión del tráfico dentro de las mismas hará que el tráfico aéreo sea una opción bastante aceptada.

Como hemos podido analizar, numerosas empresas se encuentran en desarrollo de aeronaves con estas características, donde destaca el nivel de ruido disminuido, la seguridad y eficiencia que proporcionan con respecto a vehículos convencionales.

Por su parte, la Agencia de Seguridad Aérea de la Unión Europea (entre otras) está en pleno desarrollo de normativas y regulaciones que se encarguen de velar por la seguridad, asegurando el cumplimiento de estándares de seguridad y operatividad. La cooperación internacional de numerosas asociaciones permite también un mayor desarrollo y capacidad de despliegue para la UAM.

En cuanto a la aceptación social, hemos visto que para la implementación de la UAM, ésta es totalmente necesaria. Preocupaciones con respecto a la seguridad, privacidad, ruido emitido por la aeronave y la operación del vertipuerto, deberán ser resueltas, principalmente en aquellas ubicaciones densamente pobladas donde las preocupaciones crecen aún más.

También debemos considerar los beneficios socioeconómicos que traerá consigo la implantación de esta nueva movilidad. La creación de empleos, tanto para las operaciones en los vertipuertos como para el desarrollo de tecnologías de mejora, la gestión y otros campos se verá explotada de manera positiva.

Tras el estudio realizado por la EASA en España, se puede observar algunas de las opiniones generales que hay actualmente. En cuanto a la utilidad percibida por parte de la población para este nuevo sistema de movilidad aérea, el mayor porcentaje coincide en el uso de este como medio de transporte para respuesta ante emergencias y un menor porcentaje para los aerotaxis. Por otro lado, también consideran que traiga consigo beneficios como la reducción de la congestión, ahorro de tiempo para los pasajeros, una conexión más fácil con el aeropuerto y una ruta extra para las emergencias. En cuanto al transporte en aerotaxi pilotado o autónomo, el 78% estaba interesado en probar este nuevo medio, mientras que solo el 39% lo haría si fuera autónomo, sin contar con un piloto.

Con respecto al sobrevuelo de estas aeronaves por ciudades urbanas, el 73% estaban de acuerdo con ser sobrevolados por eVTOL pilotados, mientras que el 61% estaban en desacuerdo con esto si las aeronaves no contaban con un piloto a bordo. También hubo declaraciones negativas con respecto a la UAM, donde un 85% de la población coincidió en que probablemente sería demasiado caro y que solo la gente rica podría permitirse viajar en este medio de transporte.

Como conclusión, la movilidad aérea urbana tiene un futuro prometedor donde aún presenta una serie de desafíos técnicos, regulatorios y sociales que se deberán de afrontar. La colaboración internacional es clave para la mejora, promoviendo la seguridad, sostenibilidad y diferentes beneficios económicos. La clave del éxito de la movilidad aérea urbana reside principalmente en la aceptación social, una regulación efectiva y la innovación tecnológica tanto de las aeronaves eVTOL como de los vertipuertos.

REFERENCIAS & BIBLIOGRAFÍA

1. Movilidad aérea urbana. (s. f.-b). <https://www.meep.app/es/blog-es/movilidad-aerea-urbana>
2. Lilium Jet - The first electric VTOL (EVTOL) jet - Lilium. (s. f.). <https://lilium.com/jet>
3. Colaboradores de Wikipedia. (2024, 16 enero). Lilium Jet. Wikipedia, la Enciclopedia Libre. https://es.wikipedia.org/wiki/Lilium_Jet
4. Lilium receives EASA Design Organization approval - Lilium. (s.f.). <https://lilium.com/newsroom-detail/lilium-receives-easa-design-organization-approval>
5. Global airport operator Fraport and Lilium to collaborate on development of commercial eVTOL network - Lilium. (2024, 1 octubre). <https://lilium.com/newsroom-detail/fraport-and-lilium-to-collaborate-on-development-of-commercial-evtol-network>
6. Lufthansa Group and Lilium sign Memorandum of Understanding for strategic partnership - Lilium. (2023, 12 julio). <https://lilium.com/newsroom-detail/lufthansa-group-and-lilium-sign-memorandum-of-understanding-for-strategic-partnership>
7. Lilium and AJW Group Form Strategic Collaboration on Material Management as part of Lilium's Aftermarket Services - Lilium. (s. f.). <https://lilium.com/newsroom-detail/lilium-and-ajw-group-form-strategic-collaboration>
8. CITIC Offshore Helicopter and Lilium partner to launch eVTOL Network in China's Greater Bay Area - Lilium. (s. f.). <https://lilium.com/newsroom-detail/citic-offshore-helicopter-and-lilium-partner-to-launch-evtol-network-in-chinas-greater-bay-area>
9. CityAirbus demonstrator. (2022, 17 junio). Airbus. <https://www.airbus.com/en/innovation/low-carbon-aviation/urban-air-mobility/cityairbus-nextgen/cityairbus-demonstrator>
10. Airbus. (2024, 21 marzo). CityAirbus NextGen makes its debut. Airbus. <https://www.airbus.com/en/newsroom/press-releases/2024-03-cityairbus-nextgen-makes-its-debut>
11. Airbus unmanned traffic management. (2021, 22 junio). Airbus. <https://www.airbus.com/en/innovation/autonomous-connected/airbus-unmanned-traffic-management>
12. Vahana. (2021, 1 julio). Airbus. <https://www.airbus.com/en/innovation/low-carbon-aviation/urban-air-mobility/cityairbus-nextgen/vahana>
13. CityAirbus NextGen presentation. (2021, 24 junio). Airbus. <https://www.airbus.com/en/innovation/low-carbon-aviation/urban-air-mobility/cityairbus-nextgen>
14. Aeroespacial, A. (2023, 27 septiembre). Joby entrega el primer avión eVTOL a la Fuerza Aérea de EEUU - Actualidad Aeroespacial. Actualidad Aeroespacial. <https://actualidadaeroespacial.com/joby-entrega-el-primer-avion-evtol-a-la-fuerza-aerea-de-eeuu/>
15. Iris. (2024, 12 febrero). Joby Aviation se alía con Emiratos Árabes Unidos para operar su eVTOL de forma exclusiva. Somos Electricos - Web Sobre Movilidad y Coches Eléctricos. <https://somoselectricos.com/joby-aviation-asociacion-emiratos-arabes-unidos/>
16. VoloCity - the urban air taxi by Volocopter. (s. f.). Volocopter. <https://www.volocopter.com/en/solutions/volocity>
17. Wikipedia contributors. (2023, 23 octubre). Volocopter Volocity. Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Volocopter_Volocity

18. Volocopter VoloCity (prototype). (s. f.). <https://evtol.news/volocopter-velocity/>
19. Reed, J., & Reed, J. (2023, 10 agosto). Version 2.0 of the Urban Air Mobility Concept of Operations. Avionics International. <https://www.aviationtoday.com/2023/08/10/version-2-0-of-the-urban-air-mobility-concept-of-operations/>
20. Designboom. (2023, 22 octubre). lilium introduces flexible cabin configuration system to its zero-emissions eVTOL. Designboom | Architecture & Design Magazine. <https://www.designboom.com/technology/lilium-flexible-cabin-configuration-zero-emissions-evtol-03-09-2022/>
21. EHANG | UAM - Passenger Autonomous Aerial Vehicle (AAV). (s. f.). <https://www.ehang.com/ehangaav>
22. Detalle nota de prensa. Policía Nacional España. (s. f.). https://www.policia.es/_es/comunicacion_prensa_detalle.php?ID=13941#
23. EHANG 216 | Mobility City. (s. f.). Fundación Ibercaja. <https://www.mobilitycity.es/explora/exposiciones/ehang-216/>
24. Archer Aviation Midnight (production aircraft). (s. f.). <https://evtol.news/archer/>
25. InterGlobe Enterprises and Archer Aviation Announce Plans to Launch All-Electric Air Taxi Service Across India in 2026. (s. f.). <https://archer.com/news/interglobe-enterprises-and-archer-aviation-announce-plans-to-launch-all-electric-air-taxi-service-across-india-in-2026>
26. Archer. (s. f.). <https://www.archer.com/usher/>
27. Vertical Aerospace VA-X1 (proof of concept). (s. f.). <https://evtol.news/vertical-aerospace/>
28. Vertical Aerospace VX4 (production model). (s. f.). <https://evtol.news/vertical-aerospace-VA-1X>
29. Vertical Aerospace. (2024, 21 marzo). Vertical Aerospace · pioneering electric aviation. <https://vertical-aerospace.com/>
30. Los vertipuertos en entornos urbanos | EASA. (2022, 24 marzo). EASA. <https://www.easa.europa.eu/es/light/topics/vertiports-urban-environment>
31. La startup de taxis aéreos Skyports abre una oficina en Japón antes del lanzamiento en 2025 | Noticias tecnológicas del Reino Unido (2022, 17 de octubre).
32. SkyPorts Infrastructure. (2023, 3 agosto). Skyports - Infrastructure for Advanced Air Mobility. Skyports Infrastructure. <https://skyports.net/>
33. Mullan, M. (2024, 5 marzo). Skyports, RTA and Joby to launch air taxi service in Dubai. Skyports Infrastructure. <https://skyports.net/skyports-rta-and-joby-to-launch-air-taxi-service-in-dubai/>
34. SkyPorts Infrastructure. (2023a, marzo 31). VertiPorts | Skyports Infrastructure. Skyports Infrastructure. <https://skyports.net/vertiports/>
35. <https://skyports.net/skyports-and-bicester-motion-unveil-plans-for-uks-first-vertiport-testbed-for-air-taxi-industry/>
36. VoloPort – the home of electric Urban Air Mobility. (s. f.). Volocopter. <https://www.volocopter.com/en/solutions/voloport>
37. Urban-Air Port Ltd. (s. f.). urban-Air Port Ltd. <https://www.urbanairport.com/>
38. Air One event — urban-Air Port Ltd. (s. f.). urban-Air Port Ltd. <https://www.urbanairport.com/airone>
39. Redacción. (2024b, marzo 26). LG Electronics anuncia su ingreso en el mercado AAM a través de un acuerdo con Urban-Air Port. Infodron. <https://www.infodron.es/texto-diario/mostrar/4771346/lg-electronics-anuncia-ingreso-mercado-aam-traves-acuerdo-urban-air-port>

40. El aeropuerto de Múnich se asocia con Urban-Air Port®. (s.f.). Key Aero. <https://www.key.aero/es/article/el-aeropuerto-de-munich-se-asocia-con-urban-air-portr>
41. Noticias, & Noticias. (2024b, enero 18). Archer Aviation desarrollará infraestructuras para sus eVTOL en Los Ángeles y Nueva York entre otras ciudades en EEUU. Hispaviación. <https://www.hispaviacion.es/archer-aviation-desarrollara-infraestructuras-para-sus-evtol-en-los-angeles-y-nueva-york-entre-otras-ciudades-en-eeuu/>
42. U-SPACE y el rol de ENAIRE. (s.f.). ENAIRE. https://www.enaire.es/servicios/drones/todo_lo_necesario_para_volar_tu_dron/uspace_y_el_rol_de_enaire
43. Concepto U-Space | Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible. (s.f.). <https://www.transportes.gob.es/aviacion-civil/politica-espacio-aereo/portal-para-la-coordinacion-del-u-space-en-espana/concepto-ospace>
44. U-Space, el aire en el que nos desplazaremos | AERTEC. (s.f.). <https://aertecsolutions.com/2023/09/12/u-space-el-aire-en-el-que-nos-desplazaremos/>
45. Wikipedia contributors. (2024, 19 abril). Air traffic management. Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Air_traffic_management
46. SESAR Joint Undertaking | Delivering the Digital European Sky. (s.f.). <https://www.sesarju.eu/>
47. AMU-LED. (2021, 18 octubre). Ineco. <https://www.ineco.com/webineco/amu-led>
48. Europa pone a prueba el futuro de la movilidad aérea urbana. (s.f.). <https://www.ineco.com/ineco/comunicacion/noticias/europa-pone-prueba-el-futuro-de-la-movilidad-aerea-urbana>
49. SESAR Joint Undertaking | European ATM Master Plan update on the right track, workshop concludes. (s.f.). <https://www.sesarju.eu/news/european-atm-master-plan-update-right-track-workshop-concludes>
50. Redacción. (2024c, abril 12). La Comisión Europea adopta un nuevo paquete normativo para regular las operaciones con aerotaxis. Infodron. <https://www.infodron.es/texto-diario/mostrar/4794172/comision-europea-adopta-nuevo-paquete-normativo-regular-operaciones-aerotaxis>
51. EASA proposes rules for VTOL operations, including air taxis | EASA. (2023, 31 agosto). EASA. <https://www.easa.europa.eu/en/newsroom-and-events/press-releases/easa-proposes-rules-vtol-operations-including-air-taxis>
52. European Commission adopts regulatory package, giving go-ahead for VTOL operations and air taxis | EASA. (2024, 10 abril). EASA. <https://www.easa.europa.eu/en/newsroom-and-events/news/european-commission-adopts-regulatory-package-giving-go-ahead-vtol>
53. Opinion No 03/2023 - Introduction of a regulatory framework for the operation of drones — Enabling innovative air mobility with MVCA, the initial airworthiness of UAS subject to certification, and the continuing airworthiness of those UAS operated in the «specific» category | EASA. (2023, 31 agosto). EASA. <https://www.easa.europa.eu/en/document-library/opinions/opinion-no-032023>
54. Redacción. (2024d, abril 12). La Comisión Europea adopta un nuevo paquete normativo para regular las operaciones con aerotaxis. Infodron. <https://www.infodron.es/texto-diario/mostrar/4794172/comision-europea-adopta-nuevo-paquete-normativo-regular-operaciones-aerotaxis>
55. Air Traffic Management (ATM) / Air Navigation Services (ANS) | EASA. (s.f.). EASA. <https://www.easa.europa.eu/en/the-agency/faqs/air-traffic-management-atm-air-navigation-services-ans#category-atm-basics>

56. Diseños de VTOL para la movilidad aérea urbana | EASA. (s. f.). EASA. <https://www.easa.europa.eu/es/light/topics/vtol-designs-urban-air-mobility>
57. Despegue y aterrizaje en vertical (VTOL, por sus siglas en inglés) | EASA. (s. f.). EASA. <https://www.easa.europa.eu/es/light/topics/vertical-take-and-landing-vtol>
58. Redacción. (2023, 5 septiembre). LA EASA propone reglas para las operaciones VTOL, incluidos los taxis aéreos. Infodron. <https://www.infodron.es/texto-diario/mostrar/4422749/easa-propone-reglas-operaciones-vtol-incluidos-taxis-aereos>
59. EASA issues world's first design specifications for vertiports | EASA. (2022, 24 marzo). EASA. <https://www.easa.europa.eu/en/newsroom-and-events/press-releases/easa-issues-worlds-first-design-specifications-vertiports>
60. Prototype Technical Design Specifications for Vertiports | EASA. (2022, 24 marzo). EASA. <https://www.easa.europa.eu/en/document-library/general-publications/prototype-technical-design-specifications-vertiports>
61. Vertiports in the Urban Environment | EASA. (2022, 24 marzo). EASA. <https://www.easa.europa.eu/en/light/topics/vertiports-urban-environment>
62. EASA issues world's first design specifications for vertiports | EASA. (2022b, marzo 24). EASA. <https://www.easa.europa.eu/en/newsroom-and-events/press-releases/easa-issues-worlds-first-design-specifications-vertiports>
63. Prototype Technical Design Specifications for Vertiports | EASA. (2022b, marzo 24). EASA. <https://www.easa.europa.eu/en/document-library/general-publications/prototype-technical-design-specifications-vertiports>
64. Vertiports in the Urban Environment | EASA. (2022b, marzo 24). EASA. <https://www.easa.europa.eu/en/light/topics/vertiports-urban-environment>
65. Manual de procedimiento | Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible. (s. f.). <https://www.transportes.gob.es/areas-de-actividad/aviacion-civil/politicas-aeroportuarias/infraestructuras-de-competencia-autonomica/manual-de-procedimiento>
66. Manual de procedimiento | Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible. (s. f.-b). <https://www.transportes.gob.es/areas-de-actividad/aviacion-civil/politicas-aeroportuarias/infraestructuras-de-competencia-autonomica/manual-de-procedimiento>
67. Agencia Estatal de Seguridad Aérea. <https://www.seguridadaerea.gob.es/es/search/node/aerodromos>
68. Aeródromos/Helipuertos de uso restringido | Agencia Estatal de Seguridad Aérea. <https://www.seguridadaerea.gob.es/es/ambitos/aeropuertos/aerodromos-helipuertos-de-uso-restringido/material-guia-de-aea>
69. Verificación de aeropuertos según Real Decreto 862/2009 | Agencia Estatal de Seguridad Aérea. <https://www.seguridadaerea.gob.es/es/ambitos/aeropuertos/aeropuertos-helipuertos-de-uso-publico-verificados/verificacion-de-aerodromos-segun-real-decreto-862-2009>
70. Manual de Aeródromo | Agencia Estatal de Seguridad Aérea. <https://www.seguridadaerea.gob.es/es/ambitos/aeropuertos/aeropuertos-helipuertos-de-uso-publico-verificados/verificacion-de-aerodromos/manual-de-aerodromo>
71. Nuevas infraestructuras | Agencia Estatal de Seguridad Aérea. <https://www.seguridadaerea.gob.es/es/ambitos/normativas/normativa-gestion-de-la-seguridad-operacional>
72. Sistema de Gestión de la Seguridad Operacional SMS | Agencia Estatal de Seguridad Aérea. <https://www.seguridadaerea.gob.es/es/ambitos/gestion-de-la-seguridad-operacional/marco-general-del-programa-estatal-de-seguridad-operacional-peso/sistema->

- de-gestion-de-la-seguridad-operacional-sms#Normativa%20sectorial%20aplicable%20al%20SMS
73. Cyber Security | Agencia Estatal de Seguridad Aérea. <https://www.seguridadaerea.gob.es/es/ambitos/security/cyber-security>
 74. Primera Red de Vertipuertos en España | Estrategia de Movilidad Segura, Sostenible y Conectada 2030. (s. f.). <https://esmovilidad.transportes.gob.es/noticias/primera-red-de-vertipuertos-en-espana>
 75. Gestión de la Seguridad Operacional (SMS). (s. f.). <https://www.aac.gob.sv/sms/>
 76. BOE-A-2013-12913 Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental. (2013, 9 diciembre). <https://www.boe.es/eli/es/l/2013/12/09/21>
 77. BOE-A-2003-20976 Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido. (2003, 17 noviembre). <https://www.boe.es/eli/es/l/2003/11/17/37>
 78. Urban Air Mobility - UAM | EASA. (2021, 19 mayo). EASA. <https://www.easa.europa.eu/en/light/topics/urban-air-mobility-uam>
 79. Crisalion elige Mobility City para presentar sus últimas novedades. (2024, 13 marzo). Fundación Ibercaja. <https://www.mobilitycity.es/n-oticias/crisalion-elige-mobility-city-para-presentar-sus-ultimas-novedades/>
 80. Mercado, L. (2024, 20 mayo). ACS invierte 103 millones en la empresa de taxis voladores Skyports. Libre Mercado. <https://www.libremercado.com/2024-04-19/acs-invierte-103-millones-en-la-empresa-de-taxis-voladores-skyports-7118968/>
 81. Redacción. (2024b, marzo 2). Aena, UrbanV y Volocopter se asocian para desarrollar un proyecto piloto de UAM en España. Infodron. <https://www.infodron.es/texto-diario/mostrar/4741982/aena-urbanv-volocopter-asocian-desarrollar-proyecto-piloto-uam-espana>
 82. Proveedores de servicios U-Space | EASA. <https://www.seguridadaerea.gob.es/es/ambitos/navegacion-aerea/proveedores-de-servicios-u-space>
 83. Landing in a Brand new world | Bluenest, powered by globalvia. (2023, Febrero). <https://www.bluenest.io/>
 84. An Assessment of Public Perception of Urban Air Mobility (UAM) | Airbus UTM. (s.f.). <https://www.airbus.com/sites/g/files/jlcbta136/files/2022-07/Airbus-UTM-public-perception-study%20-urban-air-mobility.pdf>
 85. Engineering brief Vertiports design | Federal Aviation Administration. (2022, 21 septiembre). https://www.faa.gov/airports/engineering/engineering_briefs/engineering_brief_105_vertiport_design
 86. Libro Blanco de I+D+i para la aviación no tripulada en España drones / UAS | Agencia Estatal de Seguridad Aérea. (2022, diciembre). <https://www.seguridadaerea.gob.es/sites/default/files/Libro%20Blanco%20Aviaci%C3%B3n%20No%20Tripulada%20AESA%20Esp%202022%20.pdf>
 87. 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) | European Union Aviation Safety Agency. (2022, marzo). <https://www.easa.europa.eu/en/document-library/general-publications/prototype-technical-design-specifications-vertiports>
 88. Introduction of a regulatory framework for the operation of unmanned aircraft systems and for urban air mobility in the European Union aviation system. Terms of reference for rulemaking task RMT.0230 | EASA. (2021, 22 abril). <https://www.easa.europa.eu/en/document-library/terms-of-reference-and-rulemaking-group-compositions/tor-rmt0230>

89. New air mobility. Terms of Reference for rulemaking task RMT.0731 (Subtasks 1, 2, & 3) | EASA. (s.f.). <https://www.easa.europa.eu/en/document-library/terms-of-reference-and-rulemaking-group-compositions/tor-rmt0731>
90. Special Condition for small-category VTOL aircraft. SC-VTOL-01 | EASA. (2019, 2 julio). <https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/SC-VTOL-01.pdf>
91. Urban Air Mobility Survey Evaluation Report | EASA. (2021, mayo). https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/uam_detailed_survey_evaluation.pdf
92. Study on the societal acceptance of Urban Air Mobility in Europe | EASA. (2021, 19 mayo). <https://www.easa.europa.eu/en/downloads/127760/en>
93. Vertical Aerospace. Case Study | Dassault Systemes. Vertical Aerospace. (s.f.). <https://www.3ds.com/insights/customer-stories/vertical-aerospace>
94. MANUAL REFERENTE AL PROCEDIMIENTO PARA LA TRAMITACIÓN Y EMISIÓN DE LOS INFORMES Y CERTIFICADOS DE COMPATIBILIDAD DEL ESPACIO AÉREO PREVISTOS EN EL ARTÍCULO 9.2 DE LA LEY DE SEGURIDAD AÉREA, EVACUADOS POR LA ADMINISTRACIÓN GENERAL DEL ESTADO CON CARÁCTER PREVIO A LA APROBACIÓN/AUTORIZACIÓN AUTONÓMICA DEL PLANEAMIENTO AEROPORTUARIO, ESTABLECIMIENTO, MODIFICACIÓN Y APERTURA AL TRÁFICO DE INSTALACIONES AEROPORTUARIAS AUTONÓMICAS | Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible. (s.f.). <https://www.transportes.gob.es/areas-de-actividad/aviacion-civil/politicas-aerportuarias/infraestructuras-de-competencia-autonomica/manual-de-procedimiento>
95. Autorización de Aeródromos y Helipuertos de Uso Restringido que no han sido transferidos a las CC.AA. PS-DAN-CEAP-06 | AESA. (s.f.). https://www.seguridadearea.gob.es/sites/default/files/adur-16-gui-110_guia_autorizacion_aerod_y_helip.pdf
96. Tramitación ambiental de proyectos de establecimiento o modificación de aeródromos y helipuertos de uso restringido. | Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible. AESA. (s.f.). https://www.seguridadearea.gob.es/sites/default/files/EAR-TAPA-GU01%20Ed.01_Tram%20ambiental%20proyectos%20establecimiento%20o%20modificacion%20AD%20o%20HPT%20uso%20restringido.pdf