
LOS VERTIPUERTOS Y SUS UBICACIONES VIABLES ÓPTIMAS EN OPERACIÓN/ NEGOCIO Y TURISMO

PABLO TORREJÓN PLAZA
ÁLVARO RODRÍGUEZ SANZ

Gracias a las mejoras e innovaciones tecnológicas de los motores eléctricos, los sistemas informáticos para el guiado remoto y los sensores para disponer de información de posición para efectuar una navegación aérea de precisión, se han podido desarrollar y poner en operación nuevos vehículos aéreos fiables y seguros de operar, con bajos niveles de emisiones acústicas, con operaciones simples de la aeronave, de bajos costes de operación y de mantenimiento con respecto a la movilidad aérea convencional. Esto es la movilidad aérea avanzada, o *Advanced Air Mobility AAM*, en donde operan los drones o sistemas aéreos no tripulados, *Unmanned Aerial System UAS*.

La AAM incluye aeronaves tripuladas y no tripuladas, autónomas y llevadas por pilotos abordo, eléctricas e híbridas, de diversos tamaños que deben integrarse y coordinarse dentro de los espacios aéreos con el resto de las aeronaves presentes. La AAM es de gran aplicabilidad en los trabajos aéreos de la llamada aviación general y tiene un gran potencial innovador de prestaciones para la aviación comercial, con servicios aéreos seguros, sostenibles con el medio ambiente y beneficiosos para las comunidades y la sociedad, que ésta deberá entender bien para evitar posibles temores, e incluso rechazos.

Según la National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (2020), la aceptación social de un nuevo ecosistema de transporte disruptivo como la AAM tiene el reto de integrarse el espacio aéreo mundial, que no ha sido diseñado pensando en aeronaves como los drones, para una vez coordinados con unos altos niveles de seguridad operacional poder hacerla viable. Entre los factores que se identifican precisos a ser garantizados para que la AAM sea flexible-adaptable, escalable y sobre todo sostenible de forma integral están los siguientes:

- su seguridad operacional.
- su seguridad ante ciberataques.
- su aceptación social.
- su gestión eficaz de contingencias y sobreenvidos.
- minimizar su impacto visual y de emisiones a niveles aceptables.
- articular e implantar una regulación normativa específica para su operatividad integrada con otras aeronaves y con los entornos sociales.
- lograr la capacidad de poder escalarse según surjan los segmentos de mercado.

Un área de aplicación clave de la AAM es la movilidad aérea urbana, o *Urban Air Mobility UAM*, a ser aplicada entre otros servi-

cios para el transporte aéreo de pasajeros y carga dentro o hacia/desde un área metropolitana, para dar soluciones sostenibles y eficientes, con una movilidad alternativa segura y cómoda, en las grandes urbes con constantes saturaciones de tráfico. La UAM es el nuevo paradigma del transporte aéreo altamente automatizado de vehículos y mercancías en las ciudades, que se lleva a cabo mediante aeronaves ligeras, tripuladas o no, a baja altura sobre el espacio aéreo urbano y suburbano.

Las aeronaves protagonistas de la UAM, más que los helicópteros, son los novedosos, económicos y sostenibles eVTOL, que son aeronaves eléctricas (e) de despegue y aterrizaje vertical (Vertical Take-Off and Landing). Los eVTOL generan unas emisiones acústicas muy bajas y son aeronaves sin emisiones atmosféricas en sus vuelos. Entre los fabricantes punteros de los innovadores y sostenibles eVTOL están el gigante aeroespacial Airbus, la startup Joby Aviation, aliada con Uber para ofrecer un nuevo servicio de transporte combinado aéreo/superficie, Eve Air Movility, Volocopter orientada inicialmente al transporte de mercancías, la china EHang, e incluso la española Crisalio Mobility. En las primeras versiones cuenta con la posición para llevar a bordo un piloto, pero la tendencia busca que sean guiados desde tierra de forma automática.

Pero para lograr el despliegue completo de la UAM, además de disponer de los eVTOL hay que construir y poner en servicio los vertipuertos dentro de lugares urbanos operativamente seguros, que son superficies acondicionadas para realizar en ellos el embarque y desembarque de los pasajeros, las operaciones de despegue y aterrizaje de los eVTOL, el mantenimiento de las aeronaves y la carga eléctrica de las baterías. También de precisa habilitar los sistemas de gestión de control del tráfico aéreo y además, con el añadido regulador por parte de las autoridades aeronáuticas y las urbanas a todo lo previo, se debe garantizar el cumplimiento y respeto de las servidumbres operacionales, como para cualquier aeronaves, con el fin de evitar accidentes con obstáculos y edificios, y también las servidumbres acústicas, para compatibilizar los niveles de rui-

do en las proximidades y sobrevuelos de las zonas residenciales.

En el caso de Europa y la UE se está considerando su desarrollo e implantación en el U-space, bajo el apoyo y coordinación de los proveedores de servicio de navegación aérea, la autoridad aeronáutica europea la EASA y las correspondientes corporaciones municipales interesadas. Entre los servicios potenciales de la UAM están el ya citado transporte mercancías, los servicios de seguridad pública, la asistencia médica y humanitaria, la lucha contra incendios, la inspección de infraestructuras y, la que más nos interesa pensando en el cliente turístico, la del aerotaxi.

Aspectos para tener presentes son las posibles limitaciones operacionales de los eVTOL, a operar dentro de zonas urbanas, ante climatología adversa por fuertes vientos, lluvias torrenciales o muy baja visibilidad. También sucederá al igual que pasó con la aviación en sus orígenes que los altos costos iniciales hasta lograr su implementación a gran escala hagan que en principio se dirija a clientes con alto poder adquisitivo.

Será preciso determinar de inicio el límite de capacidad máximo de aeronaves en el aire para garantizar la seguridad de las operaciones, que además implica la seguridad de los habitantes sobrevolados, que pueden también recibir impactos negativos, por contaminación visual de los eVTOL en vuelo, además de las emisiones acústicas, que no de las emisiones atmosféricas al ser eléctricos siempre que los puntos de recarga dispongan de electricidad generada con fuentes renovables. A efectos de seguridad también será crítico el garantizar todo lo relativo a las comunicaciones para estos vehículos automatizado, bien por fallos o por perturbaciones, incluyendo en estas últimas los actos ilícitos contra la aviación.

En el ya cercano proceso final de implementación y puesta en servicio de la UAM habrá que considerar la realización de campañas de concienciación con la población y será crítica la obligada la cooperación y coordinación de las autoridades aeronáuticas y urbanas. Por ello el asunto de la regulación normativo-legal es y será una cuestión determinante para que la AAM y la

UAM puedan llegar desarrollarse y dar a la sociedad todos los servicios y prestaciones que ahora potencialmente se ve que pueden llegar a generar.

OACI, por ser el gran y aceptado generador mundial de normas para la aviación, si bien a posteriori por la “sorpresa” de la irrupción de estas nuevas aeronaves, comenzó a normar técnicamente todo lo relativo a los sistemas de drones, empezando por las características propias de los drones, de sus pilotos y de por dónde podían volar, aunque siendo más precisos inicialmente era por donde no podían ser volados hasta no garantizarse de forma adecuada la seguridad operacional de estos sistemas. En 2011 publicó su “Circular Sistemas de aeronaves no tripuladas” y en el 2015 su “Manual sobre sistemas de aeronaves pilotadas a distancia”.

El referente estratégico para los drones, ya temporalmente superado, para el caso español fue el “Plan Estratégico para el desarrollo del sector civil de los drones en España 2018-2021”¹. En la actualidad a nivel europeo y español según figura en la web pública de AESA, ver “Normativa de UAS/drones”², los tres referentes normativos vigentes en relación a los drones son las versiones consolidadas del Reglamento de Ejecución (UE) 2019/947, y del Reglamento Delegado (UE) 2019/945, que incluye cambios por el posterior Reglamento Delegado (UE) 2020/1058; y desde el 25 de junio de 2024 el Real Decreto 517/2024, de 4 de junio, por el que se desarrolla el régimen jurídico para la utilización civil de sistemas de aeronaves no tripuladas, UAS, completando el régimen jurídico aplicable a la utilización civil de UAS regulado en la UE con las actividades al respecto excluidas de la normativa europea, que son conocidas como las actividades o servicios no EASA.

POTENCIAL IMPORTANCIA DE LA MOVILIDAD AÉREA URBANA Y LOS VERTIPUERTOS PARA EL TURISMO

La movilidad aérea urbana (UAM) y sus infraestructuras asociadas, principalmente

los vertipuertos, constituyen una tecnología disruptiva para mejorar el turismo, en particular el asociado a núcleos urbanos.

El turismo de ciudad o urbano se enfrenta actualmente a los problemas asociados al aumento de los desplazamientos, los atascos y la congestión, la contaminación atmosférica y el deterioro de la calidad del medio ambiente. Para superar estos problemas en las zonas urbanas altamente pobladas, las últimas tecnologías han facilitado la UAM como un novedoso modo de transporte interurbano e intraurbano. La movilidad aérea tiene puntos fuertes en cuanto a que aporta rapidez de desplazamiento (reducción de tiempo de viaje), complementa los sistemas de movilidad existentes y contribuye a la sostenibilidad. Sin embargo, la UAM requiere una amplia red de infraestructuras de comunicación, navegación y vigilancia, así como instalaciones en tierra (vertipuertos) para facilitar las operaciones.

Ciudades como Singapur, Los Ángeles, París, Seúl y Tokio están desarrollando estrategias para adoptar el UAM como un sistema de transporte alternativo a los actuales, que permita resolver los problemas derivados de la congestión urbana (Volocopter, 2019).

Aunque el rápido desarrollo de la inteligencia artificial y el aprendizaje automático han desempeñado un papel transformador en la mejora de los sistemas de turismo inteligente, como tecnología avanzada para enriquecer experiencias y promover la sostenibilidad en destinos turísticos. aún quedan por resolver muchas cuestiones relacionadas con la selección de modos de transporte para el turismo urbano. Dependiendo de las características geográficas de un destino, los principales modos de transporte (avión, tren, automóvil o transporte marítimo) pueden utilizarse para el turismo urbano. En particular, la influencia del transporte aéreo en el desarrollo del turismo urbano ha sido significativa y positiva, al aumentar la conectividad y el acceso a regiones remotas. En ese sentido, la UAM supone un paso más, facilitando una intermodalidad con toda la región urbana cer-

¹ https://cdn.mitma.gob.es/portal-web-drupal/aviacion/220208_plan_de_despliegue_u-space_vfinal_acordada.pdf

² <https://www.seguridadaaerea.gob.es/es/ambitos/drones/normativa-de-uas-drones>

cana a los aeropuertos. El impacto sobre el turismo de la UAM se deriva de su propia definición, como transporte aéreo eficiente y seguro en zonas urbanas, utilizando sistemas operativos de aeronaves tripuladas y no tripuladas. Como señala la Administración Federal de Aviación de EE.UU. (FAA), el sistema UAM se constituye como un modo de transporte que fomenta el transporte eficiente y seguro utilizando vehículos altamente mecanizados que permiten a los pasajeros volar a baja altura alrededor de las ciudades (FAA, 2023).

Los modos de transporte asociados a la UAM incluyen taxis aéreos, vehículos aéreos personales y hoverbikes. Existen múltiples tecnologías en evolución, como los vehículos autónomos privados, que pueden contribuir a un aumento de los desplazamientos totales. Sin embargo, los modos de transporte asociados a la UAM se encuentran actualmente en fase de desarrollo y prueba, aunque a un ritmo rápido. La UAM reducirá la congestión, acortará los desplazamientos y mejorará el movimiento de las personas dentro de las ciudades y entre ellas. Por lo tanto, la UAM tendrá un impacto revolucionario en el estilo de vida y los futuros paradigmas de viaje.

Uno de los principales retos para que la UAM consiga mejorar la calidad del turismo urbano es lograr una experiencia de viaje más cómoda, rentable, agradable, segura y sostenible para los pasajeros y los operadores de eVTOL que utilizarán los vertipuertos.

En este sentido, estas infraestructuras deben proporcionar diseños y conceptos viables que se integren armónicamente en entornos urbanos, así como en infraestructuras de transporte ya existentes (aeropuertos o estaciones de tren) para hacer realidad esta experiencia de viaje sin costuras.

INTEGRACIÓN DE LOS VERTIPUERTOS EN LA INFRAESTRUCTURA AEROPORTUARIA

La Agencia de Seguridad Aérea de la Unión Europea (EASA) define un vertipuerto como «una zona de tierra, agua o estructura

utilizada o destinada a ser utilizada para el aterrizaje y despegue de aeronaves VTOL» (EASA, 2024). Esta descripción técnica pone de manifiesto que los vertipuertos son las áreas que suministran la infraestructura necesaria para el transporte aéreo comercial seguro de pasajeros o mercancías que viajan en VTOL. Un vertipuerto puede estar ubicado en cualquier área, pero de manera realista y predominantemente en las zonas urbanas y en los aeropuertos, permitiendo las operaciones de VTOL dentro de las ciudades y entre ciudades y aeropuertos. En ese sentido, los vertipuertos pueden entenderse como los nuevos nodos de los aeropuertos para las aeronaves VTOL y estarán equipados con una serie de instalaciones dedicadas. Varias empresas están desarrollando actualmente conceptos de vertipuerto, incluyendo sus infraestructuras y equipamiento asociado, y se inspiran en gran medida en los helipuertos.

Criterios de diseño para los vertipuertos integrados en la infraestructura aeroportuaria

Al abordar las operaciones de los vertipuertos y su infraestructura, solo hay unas pocas publicaciones y proyectos (especificaciones de diseño, directrices, marcos regulatorios iniciales) en la literatura actual. Europa está liderando los esfuerzos globales para habilitar nuevos conceptos de UAM, donde los vertipuertos juegan un papel crucial. En ese sentido, el documento de Especificaciones Técnicas Prototipo para el Diseño de Vertipuertos Visuales de la EASA (2022) constituye una guía pionera a nivel mundial. Estas especificaciones se centran en el diseño de vertipuertos destinados a la operación de aeronaves VTOL tripuladas, certificadas en la categoría mejorada (categoría de certificación y operación de aeronaves VTOL que indica que la aeronave cumple los requisitos para mantener la seguridad del vuelo y del aterrizaje tras un fallo crítico para la performance). Se trata de una primera iniciativa europea necesaria para el desarrollo del vertipuerto y se limita a un tipo específico de VTOL (operaciones tripuladas para mejorar el transporte de pasajeros y carga). Este prototipo presenta una

innovación fundamental, en comparación con los diseños clásicos de helipuertos, referida a la implementación de un volumen libre de obstáculos para proteger el aterrizaje y así garantizar el vuelo seguro de VTOL en zonas congestionadas.

El citado documento ofrece detalles técnicos precisos sobre las características físicas de un vertipuerto, el entorno de obstáculos, las ayudas visuales, la iluminación y las señales visuales necesarias, así como los conceptos para vertipuertos alternativos en ruta para garantizar un vuelo y aterrizaje seguros.

Las especificaciones prototipo son de naturaleza no vinculante y su propósito es proporcionar orientación técnica y recomendaciones de mejores prácticas. No obstante, no sustituyen a las disposiciones legislativas y regulatorias que se adoptarán oficialmente en el futuro. Con todo, introducen los requisitos fundamentales para garantizar que los vertipuertos sean seguros y operativos, por lo que sirve como una primera fase hacia el desarrollo de un marco regulatorio completo para el diseño y certificación de vertipuertos, operaciones y supervisión de operadores.

El documento se divide en varias partes, y asemeja su estructura a la normativa análoga para el diseño de helipuertos (OACI, 2020): datos técnicos del vertipuerto, características físicas, obstáculos, ayudas visuales, vertipuertos alternativos en ruta y procedimientos de emergencia.

Entre las necesidades básicas detectadas para la correcta integración de los vertipuertos en la infraestructura aeroportuaria, se incluye la dotación de hangares dedicados para albergar y mantener aeronaves, las instalaciones para abastecimiento de energía, los equipos de comunicaciones y telemetría, los servicios de emergencia asociados y otros elementos que permitan la operación (suministros, accesos, almacenes, talleres). En cuanto a zonas operativas, el diseño de un vertipuerto requiere dotar a la infraestructura de:

- plataforma dedicada, como área donde las aeronaves estacionan, cargan o descargan pasajeros y mercancía, y

se reabastecen de combustible. Es una parte crucial de las operaciones, ya que proporciona espacio para diversas actividades de asistencia en tierra.

- el área de aproximación y despegue final (FATO), que es un área designada donde las aeronaves completan su aproximación final o aterrizaje e inician su maniobra de despegue. Esta área es crucial para garantizar operaciones seguras y eficientes. La FATO debe estar libre de obstáculos y cumplir con requisitos específicos de tamaño y pendiente para adaptarse a las características de rendimiento de las aeronaves.
- el área de aterrizaje y despegue (TLOF), que es un área de designada donde aterrizan y despegan las aeronaves. Por lo general, está pavimentado y marcado con una "H" o "V" para indicar su propósito (Helicópteros o VTOL). La TLOF suele estar situada dentro de la zona de aproximación y despegue final (FATO) pero depende de la configuración elegida para la implantación del vertipuerto no siendo obligatorio que FATO sea igual a TLOF. Al igual que FATO, debe estar libre de obstáculos para garantizar la seguridad de las operaciones.

Una consideración y requisito importante para el funcionamiento de la infraestructura es la integración del vertipuerto en el espacio aéreo existente en la zona circundante. Se trata de garantizar la seguridad de las operaciones VTOL hacia y desde el vertipuerto, que pueden necesitar ser separadas o segregadas de otras operaciones, como se verá en el apartado 4. Es decir, la operación de un vertipuerto y su integración con los aeropuertos existentes va más allá de los aspectos de infraestructura: se trata de un tráfico con nuevas características y prestaciones. Las operaciones requieren un concepto operacional respaldado por procedimientos y herramientas que permitan la integración de los vertipuertos en el espacio aéreo. Debido a la novedad de los estándares y el marco regulatorio para las operaciones VTOL, la gestión del espacio aéreo de los vertipuertos y su integración con las infraestructuras de transporte aéreo existentes son grandes retos pendientes de resolver.

Entre los numerosos proyectos que buscan desarrollar la integración de los vertipuertos en el transporte aéreo y, en particular, en el entorno aeroportuario, destaca a nivel europeo el proyecto EUREKA (SESAR, 2024). Formado por un consorcio de 35 miembros (entre los que se encuentran AENA y ENAIRE) y liderado por EUROCONTROL, es un paso esencial hacia la implantación de la UAM en Europa. Al integrar de forma segura las operaciones VTOL en los aeropuertos y el espacio aéreo existente, el proyecto liberará el potencial de los sistemas de transporte UAM seguros y sostenibles, buscando satisfacer con éxito las necesidades de transporte urbano futuro. En concreto, EUREKA pretende desarrollar cuatro soluciones SESAR (Single European Sky ATM Research) esenciales:

- llegada/salida a/desde los vertipuertos, que engloba la planificación de rutas y trayectorias.
- gestión colaborativa del tráfico en los vertipuertos, optimizando la utilización de recursos y la asignación de capacidades.
- gestión de interrupciones y emergencias de vertipuertos, que garantiza la preparación ante circunstancias imprevistas.

Vertipuertos como eje de intermodalidad

Mientras se desarrolla la regulación asociada a los vertipuertos y su integración dentro de la infraestructura aeroportuaria, ya existen iniciativas en todo el mundo para implementar las primeras rutas de VTOL que permitan conectar los aeropuertos con el entorno urbano circundante. Esto puede entenderse como un avance en la intermodalidad, en la que los VTOL permitirán a los viajeros o la carga que llega a los aeropuertos recorrer el último tramo de su viaje evitando otros modos de transporte más congestionados, al tiempo que facilitarán el acceso a localizaciones con problemas de conectividad. Es decir, la infraestructura integrada aeropuerto-vertipuerto facilitará la transferencia rápida de pasajeros entre

vuelos de corta y larga distancia, sirviendo como un enlace entre vuelos comerciales y transporte urbano VTOL. En logística, distribución y planificación de transporte, la movilidad de último kilómetro (como traducción del concepto anglosajón “last mile”), hace referencia al trayecto final del transporte de personas y mercancías. En el caso de la integración aeroportuaria de los VTOL, ésta última etapa corresponde a la distribución desde ciertos nodos (aeropuertos-vertipuertos) hasta el destino final y se caracteriza por una mayor complejidad que el resto del viaje debido al incremento exponencial del número de rutas y destinos posibles. Según EASA (2021), entre los beneficios que el uso de la AAM traerá para el desarrollo de la intermodalidad, podemos encontrar menores tiempos de respuesta, menor congestión, reducción de la contaminación e impacto ambiental y la mejora en el acceso a regiones remotas.

Vertipuertos como innovación en actividades aeroportuarias

La integración de vertipuertos en infraestructuras aeroportuarias no tiene como único objetivo mejorar la conectividad y facilitar la movilidad urbana, también puede servir como un eje de innovación para la modernización de tareas operativas y de mantenimiento en los aeropuertos. En este sentido, la implementación de tecnología de vehículos aéreos no tripulados (UAV) para la optimización de la gestión operativa de los aeropuertos se basa en la tesis de la superioridad de los sistemas UAV en comparación con las metodologías convencionales en cinco áreas críticas de la operación aeroportuaria:

1. Calibración precisa de sistemas de ayudas visuales o radiayudas, como puede ser la calibración precisa de sistemas de iluminación de pista, la verificación exacta de señalizaciones aeroportuarias, o la optimización de la visibilidad para garantizar operaciones aeronáuticas seguras.
2. Control y gestión eficiente de fauna, como el monitoreo en tiempo real de movimientos de fauna mediante cámara

ras multiespectrales, la detección temprana de patrones de migración aviar a través de sistemas de radar integrados, o la reducción significativa del riesgo de colisiones entre aeronaves y fauna.

3. Refuerzo integral de la seguridad aeroportuaria, como la cobertura de seguridad omnidireccional en tiempo real, la identificación proactiva de amenazas potenciales, o la respuesta rápida ante incidentes de seguridad.
4. Detección y mitigación de objetos extraños (FOD), como el escaneo eficiente y sistemático de pistas y calles de rodaje, la detección precisa de objetos extraños potencialmente peligrosos, o la mitigación oportuna de riesgos para mejorar la seguridad operacional
5. Mantenimiento y detección de problemas superficiales en el pavimento (pistas, calles de rodadura y plataformas), con tareas de inspección y corrección periódicas que permitan certificar que se encuentran en buen estado.

SERVICIOS DE NAVEGACIÓN AÉREA U-SPACE PARA ATENDER LA UAM

La operación de los eVTOL como aeronaves autónomas para transportar pasajeros o mercancías, conviviendo sus aeronaves en el espacio aéreo con las operaciones de la aviación tripulada, es compleja. Por ello, es preciso el diseño e implantación, bajo las directrices normativas que al respecto marquen las diversas autoridades competentes, de operaciones y procedimientos para que el sistema de espacio aéreo en el que se desarrollará la AAM, con sus capacidades operacionales cuidadosamente determinadas, pueda operar con seguridad y eficiencia los vuelos autónomos.

Como toda la aviación, los eVTOL de la UAM deberán operar de forma segura, pero por un espacio aéreo a baja cota con presencia de múltiples obstáculos, principalmente edificios, pero también grúas, antenas, tendidos eléctricos, arbolado, vallas publicitarias, etc. También deberá tenerse consideración por el ruido que generan en vuelo

los eVTOL en la proximidad de sus maniobras a zonas pobladas sensibles, las zonas prohibidas al sobrevuelo y las áreas restringidas al vuelo, etc.

En consecuencia, es preciso y necesario definir nuevos espacios aéreos para la UAM, compatibles y coordinados con los que usa la llamemos aviación clásica de aviones y helicópteros, así como con otros drones de la AAM, en los que hay que diseñar, implantar y operar nuevos procedimientos de despegue, vuelo y aterrizaje para los eVTOL que, además de ser eficientes para permitir la viabilidad económica de sus servicios comerciales, aseguren y garanticen la seguridad de estas aeronaves y la de los residentes, construcciones y bienes que serán sobrevolados.

A efectos de la gestión y el control del tráfico aéreo se pueden considerar tres zonas o niveles (véase Figura 1). Las aeronaves clásicas vuelan a gran altitud, bajo el control de gestión del tránsito aéreo, Air Traffic Management ATM, con posibilidad de encontrar obstáculos solo en sus fases de despegue y aterrizaje, debiendo separarse entre ellas con el apoyo de los controladores aéreos. A muy baja altura, inferior a los 400 metros, operarán los drones bajo control de gestión de tráfico UAS, Unmanned Aircraft Systems Traffic Management UTM, mientras que las aeronaves de la UAM, los eVTOL, según estima la Administración Federal de Aviación de los Estados Unidos, la FAA, volarán con múltiples obstáculos en su proximidad y a baja cota, operando en ruta por encima de los 400 pies sobre el nivel del suelo y bajo el control del Unmanned Air Traffic Management UATM, siendo imprescindible disponer y emplear de muy fiables sistemas de navegación de precisión y sistemas de comunicación.

El objetivo del U-space es realizar la gestión automatizada del tráfico de drones, especialmente en el espacio aéreo de baja altitud y en entornos urbanos, como es el caso de los eVTOL en la UAM, e integrarlo en el sistema de gestión del tráfico aéreo ya existente para la aviación tripulada, bajo criterios de seguridad, protección, privacidad y sostenibilidad medioambiental.

FIGURA 1
CONCEPTO DE INTERACCIÓN DEL ESPACIO AÉREO



Fuente: MDPI (2021): <https://www.mdpi.com/2076-3417/11/22/10707>

El despliegue de U-space, según ENAIRE (2024), trae consigo nuevos actores:

- el operador/piloto de drones que operará en entorno U-space conectándose a un proveedor de servicio U-space,
- proveedores de servicios U-space (USSP): ENAIRE y otras organizaciones podrán certificarse para prestar los servicios U-space a los operadores de drones, o UAS,
- proveedores de servicios de información común (CISP), que facilita la información necesaria para los USSPs. En España se optó por implantar un modelo de prestación de servicio centralizado donde con ENAIRE como proveedor único.

En el caso español la herramienta de impulso es el Plan de Acción Nacional para el Despliegue del U-space (PANDU) 2022-2025, cuyo objetivo es lograr un diseño efectivo y la coordinación de todos los participantes involucrados, ver Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible (2024), para disponer del "ecosistema técnico y regulatorio necesario para su implantación". Para conformar el primer espacio aéreo U-

space, el Ministerio de Transporte y Movilidad Sostenible está trabajando con AESA, ENAIRE el Ministerio de Defensa, los Gestores Aeroportuarios, los Proveedores de Servicio de Tránsito Aéreo ATSP, junto con otras administraciones nacionales, autonómicas y locales.

Según la web pública de ENAIRE³, son servicios U-space obligatorios a ofrecer por parte de los USSP:

- el servicio de identificación de Red: identifica y ofrece la identificación de todos los drones, así como su posición en el espacio aéreo U-space.
- el servicio de Geo-consciencia: ofrece información sobre las condiciones operacionales y las limitaciones del espacio aéreo aplicables dentro del U-space.
- el servicio de Autorización de vuelos UAS: facilita la autorización de operaciones a los drones, garantizando que las actividades en el mismo volumen U-space estén libre de conflicto con respecto a otros drones y zonas UAS.
- el servicio de Información de Tráfico: indica información de tráfico de otros

³ https://www.enaire.es/servicios/drones/todo_lo_necesario_para_volar_tu_dron/ospace_y_el_rol_de_enaire

drones y aeronaves tripuladas próximas a la operación.

Como servicios opcionales de U-space a ser ofrecidos por los USSP están el servicio de Información meteorológica, que proporciona previsiones e información meteorológica real antes o durante el vuelo, y el servicio de Supervisión de la conformidad, que verifica si se cumplen los requisitos establecidos y los términos de la autorización de vuelo de drones.

POSIBLES UBICACIONES FUERA DEL RECINTO AEROPORTUARIO

Las ciudades actuales no se han concebido, planificado y construido pensando en que llegaría la UAM a ellas, lo cual hace complejo el determinar la ubicación y el número de vertipuertos a poner en servicio, ya que a las restricciones de superficies disponibles y los limitantes de seguridad operacional por la presencia de los diversos tipos de obstáculos urbanos a baja altura, hay que tener en todo momento presente que las operaciones de las compañías operadoras deben ser rentables, para ser viables económicamente en el mercado del transporte aéreo y por su competencia con los modos de transporte se superficie presentes.

Esto implica que los vertipuertos deben ubicarse en lugares donde la demanda de los pasajeros mantenga un tráfico estable en el tiempo y por encima del punto de equilibrio del negocio en su conjunto. Hay que rentabilizar y amortizar los propios eVTOL, las infraestructuras, las instalaciones y equipamientos, compensando con los ingresos que sean generados por el transporte de pasajeros los gastos de personal, el mantenimiento de los eVTOL, los pagos por los servicios de los vertipuertos y de navegación aérea, los suministros eléctricos de recargas de los eVTOL, etc.

Para los operadores aéreos de los eVTOL serán críticos los costes de las aeronaves y la competitividad con respecto a los otros transportes alternativos, como son los transportes rodados de superficie y en ocasiones al helicóptero, del precio final pasajero/Km a cobrar. Según la National

Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (2020): *“El valor por asiento-milla o el costo de flete por milla será la métrica por la cual se construirán los negocios. Para las operaciones de taxis aéreas, las estimaciones actuales del costo por milla por asiento para una aeronave de dos personas promedian aproximadamente \$11 por milla. Las primeras versiones de las operaciones de taxi aéreo que utilizan un vehículo aéreo de despegue y aterrizaje vertical (eVTOL) de cinco asientos con motor eléctrico tienen un costo estimado de aproximadamente \$ 6.25 por milla. Estos costos son actualmente más altos que los de un viaje compartido en automóvil de lujo. Si el ahorro de tiempo para el consumidor tiene valor, el costo más alto puede ser aceptable”.*

En cuanto a los precios de los eVTOL, sobre referencias publicadas que serán variables a la baja para grandes compras o cuando la producción se consolide y gane en eficiencia y se generen economías de escala, se manejan cifras de 400.000 \$ para los biplaza no tripulados EH216-S de EHang, con una velocidad máxima de diseño de 130 km/h y una autonomía de vuelo de 30 Km, ver EHang (2024), y de 1.300.000 para los Joby de 5 plazas.

El norteamericano S4 2.0, de Joby Aviation, es un eVTOL de cinco plazas, piloto (para las fases iniciales) y cuatro pasajeros, con un alcance que supera los 160 km. Además de haber superado el proceso de certificación de aeronaves ante la FAA, autoridad aeronáutica de los EE.UU., el pasado 12 de noviembre de 2023, realizó un vuelo entre el helipuerto de Manhattan y el aeropuerto Internacional John F. Kennedy en solo siete minutos, mientras que el tiempo óptimo de este trayecto en coche no baja de los 45 minutos.

El proyecto de eVTOL español Integrity, ver CRISALION MOBILITY (2024), será capaz de transportar un piloto (para las fases iniciales) y cinco pasajeros, con un alcance de 130 kilómetros, una velocidad de crucero de 180 km/hora. A mediados del 2024 Crisalion anunció tener en estudio nuevas rutas aéreas con su Integrity conectar con el propio aeropuerto de Málaga-Costa del Sol a diferentes zonas turísticas como Puerto Banús

en Marbella, e incluso Ronda y Gibraltar e, incluso, sin descartar algunos puntos de la Costa Norte de Marruecos.

No obstante, el transporte de pasajeros por helicóptero es de alto precio y puede que reducir los costos operativos entre un 25% y un 45% al emplear los eVTOL no sea suficiente para implantar los eVTOL para el público en general, mientras no llegue su producción a gran escala que permita minorar más aún sus costes operativos. Todo lo previo conlleva a pensar en que en los primeros años hasta que se logre una masa crítica de pasajeros estabilizados, más que la especialización de los operadores de eVTOL en segmentos definidos, lo cual implicará en coherencia la determinación de los vertipuertos urbanos, deberá hacerse orientándose a un mix principal de pasajeros turísticos, ejecutivos de negocios, personalidades y VIPs, con puntuales pasajeros que por urgencia precisen un muy rápido desplazamiento de los que se ofrezcan.

Por ello, para el caso particular de Madrid, se propone el realizar estudios de viabilidad de mercado para los siguientes emplazamientos de vertipuertos:

- Los aeropuertos de Adolfo Suárez Madrid-Barajas y Madrid-Cuatro Vientos
- Las estaciones de Chamartín-Clara Campoamor y Atocha
- Plaza de Oriente
- Plaza de España
- Plaza de Joan Miró
- Paseo del Prado
- Parque del Retiro
- Parque del Oeste / Universidad Complutense de Madrid
- Plaza de Azca
- Nuevos Ministerios
- Cuatro Torres Business Area CTBA
- Recintos FERIALES de IFEMA
- Distrito Telefónica
- Parque Científico de Madrid / Campus de la UAM
- Ciudad de la Imagen - Pozuelo de Alarcón
- Madrid Science & Innovation District MaSID – Tres Cantos

- Ciudad Financiera Grupo Santander CGS – Boadilla del Monte
- Toledo
- Alcalá de Henares
- Las Bases Aéreas de Torrejón y de Getafe

CONCLUSIONES

Si los drones llegaron para quedarse, su aplicación mediante los eVTOL en la UAM a diferentes servicios, entre ellos el transporte aéreo comercial de pasajeros turísticos, será algo que se tardará poco tiempo en ver como se implanta y generaliza. Su potencial de mejora de la sostenibilidad económica, social y medioambiental, así como de aumento de la competitividad turística, requiere que todos los partícipes implicados coordinen sus respectivas actuaciones, para lograr los mayores niveles de seguridad operacional y de eficiencia en aras de que los servicios de los operadores aéreos sean rentables desde el punto de vista empresarial.

En este sentido es un modelo de referencia de colaboración el descrito en Nueva York, que en el caso de Madrid se ha plasmado con la creación de la Comisión de Movilidad Aérea Urbana, ver Diario de Madrid (2024), para lograr adaptar a Madrid a los nuevos servicios de movilidad aérea para el transporte de mercancías y personas, con una nueva dimensión de la movilidad urbana que viene a completar, de forma sostenible y eficiente, la movilidad tradicional terrestre centrada en el tráfico rodado.

La Comisión de Movilidad Aérea Urbana de Madrid está integrada por autoridades municipales del Ayuntamiento de Madrid, Policía Municipal, Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana; Ministerio del Interior; Ministerio de Defensa; la Agencia Estatal de Seguridad Aérea AESA y la Comunidad de Madrid. Madrid se une, así, a la implantación paulatina del proyecto comunitario Unmanned Traffic Management (UTM) para la gestión del tráfico no tripulado, mejorando la calidad del aire frente al tráfico rodado, así como la reducción de la contaminación acústica.

REFERENCIAS

- ALTON (2023). "Movilidad aérea avanzada (AAM): implicaciones para los proveedores de servicios de transporte". Ver enlace: https://altonaviation.com/es/alton_insights/advanced-air-mobility-implications-for-transport-service-providers/
- CRISALION MOBILITY (2024). "Preguntas frecuentes". Ver enlace: <https://crisalion.com/faqs-crisalion/>
- Diario de Madrid (2024). "El Ayuntamiento constituye la Comisión de Movilidad Aérea Urbana para adaptarse al Madrid del futuro. El primer órgano colegiado de estas características en España. Ver enlace: <https://diario.madrid.es/blog/notas-de-prensa/el-ayuntamiento-constituye-la-comision-de-movilidad-aerea-urbana-para-adaptarse-al-madrid-del-futuro/>
- EASA (2021). "Study on the societal acceptance of Urban Air Mobility in Europe". European Union Aviation Safety Agency. Ver enlace: <https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/uam-full-report.pdf>
- EASA (2024). "SPECIAL CONDITION Vertical Take-Off and Landing (VTOL) Aircraft". European Union Aviation Safety Agency. Ver enlace: <https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/special-condition-vtol>
- FAA (2023). "Urban Air Mobility (UAM). Concept of Operations". Federal Aviation Administration. Ver enlace: https://www.faa.gov/air-taxis/uam_blueprint
- EHang (2024). "EHang AAV: Se acerca la era de la movilidad aérea urbana". Ver enlace: <https://www.ehang.com/ehangaav/>
- National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (2020). "Advancing Aerial Mobility: A National Blueprint". Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/25646>.
- OACI (2020). "Annex 14 - Aerodromes - Volume II - Helicopters". International Civil Aviation Organization. Ver enlace: <https://store.icao.int/en/annexes/annex-14>
- SESAR (2024). "EUREKA- European Key solutions for vertiports and UAM". SESAR Joint Undertaking. <https://www.sesarju.eu/projects/EUREKA>.
- Volocopter (2019). The launch of urban air mobility in Singapore-A ROADMAP. Ver enlace: https://cdn.volocopter.com/assets/vnrac6vfvrab/DcsQRmxTSPhAcK1xmKnS4/5290e554030c7b2a093e14d1eafbe7e5/Volocopter_Whitepaper_Singapore-Roadmap_web.pdf

SOBRE LOS AUTORES

Pablo Torrejón Plaza es Ingeniero Técnico Aeronáutico (UPM), Gestor Aeronáutico (UAM), Máster Sistemas Aeroportuarios (UPM) y Executive-MBA (Ie). Desde 2015 en la División de Sostenibilidad y Relaciones Institucionales de la Dirección General de ENAIRE (previamente en el OAAAN y Aena).

Álvaro Rodríguez Sanz es Doctor en Ingeniería Aeroespacial e Ingeniero Aeronáutico (UPM), Máster en Gestión y Planificación de Aeropuertos (Cranfield). Jefe de División de Planes Directores y Navegación Aérea en Aena, Profesor Asociado en el Departamento Sistemas Aeroespaciales, Transporte Aéreo y Aeropuertos de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Aeronáutica y del Espacio (UPM).