

CIUDAD Y TERRITORIO

ESTUDIOS TERRITORIALES

ISSN(P): 1133-4762; ISSN(E): 2659-3254

Vol. LVI, N° 222, invierno 2024

Págs. 1097-1112

<https://doi.org/10.37230/CyTET.2024.222.1>

CC BY-NC-ND



Criterios de integración de la movilidad aérea urbana en la ciudad

Oscar DÍAZ-OLARIAGA

Profesor Titular
Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Santo Tomás (Bogotá, Colombia)

Resumen: La movilidad aérea urbana es un concepto novedoso de transporte urbano e interurbano. Esta alternativa emergente de transporte se debe en gran medida al desarrollo de vehículos eléctricos de despegue y aterrizaje vertical, que utilizarán una infraestructura terrestre de soporte muy reducida. La rica literatura que la academia viene generando en los últimos años cubre varias dimensiones de esta temática, salvo la de la (futura) integración de este nuevo sistema de transporte con el sistema de movilidad urbano existente. Por ello, la presente investigación identifica, y propone, algunos criterios de integración, en varias dimensiones o ámbitos (las que se consideran, en principio, las más relevantes), que podrían ser de utilidad para los planificadores urbanos, para que los mismos preparen los escenarios de integración de este nuevo modo de transporte urbano con las redes de transporte y otras infraestructuras de movilidad de la ciudad.

Palabras clave: Movilidad aérea urbana; Transporte urbano sostenible; Conectividad urbana / regional; Infraestructura urbana; Planificación urbana.

Integration criteria of urban air mobility in the city

Abstract: Urban air mobility is a novel concept of urban and interurban transportation. This emerging transportation alternative is largely due to the development of electric vertical takeoff and landing vehicles, which will use very little ground support infrastructure. The rich literature that the academy

Recibido: 30.08.2023; Revisado: 21.12.2023

Correo electrónico: diaz_olariaga@yahoo.es; N.º ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4858-3677>

El autor agradece los comentarios y sugerencias realizados por las personas evaluadoras anónimas, que han contribuido a mejorar y enriquecer el manuscrito original.

has been generating in recent years covers several dimensions of this subject, except for the (future) integration of this new transport system with the existing urban mobility system. For this reason, this research identifies, and proposes, some integration criteria, in various dimensions or areas (those considered, in principle, the most relevant), which could be useful for urban planners, so that they can prepare the integration scenarios of this new mode of urban transport with the transport networks and other mobility infrastructures of the city.

Keywords: Urban air mobility; Sustainable urban transport; Urban / regional connectivity; Urban infrastructure; Urban planning.

1. Introducción

La rápida urbanización de las ciudades a nivel mundial (ONU, 2023) estará vinculada a una mayor congestión vehicular, empeorando, especialmente, en las grandes ciudades, causando pérdida de productividad e impactos ambientales negativos. En las grandes metrópolis, los taxis aéreos, que se espera se desplieguen a partir de finales de la presente década, presionan a los planificadores urbanos para que consideren cambios significativos en la infraestructura urbana y de transporte de las ciudades (PUKHOVA & al., 2021; CHANIOTAKIS & al., 2020; LITMAN & STEELE, 2023).

Por ello, el emergente sistema de transporte urbano, denominado movilidad aérea urbana, o más conocido por su acrónimo en inglés UAM (*Urban Air Mobility*) (por practicidad, en adelante se usará el acrónimo en inglés para su referencia), se presenta como parte de la solución a la movilidad urbana. Básicamente, el sistema UAM comprenderá la utilización de aeronaves de propulsión eléctrica, de despegue y aterrizaje vertical, y donde el servicio de transporte funcionará, previsiblemente, bajo diferentes modelos de negocio. El lanzamiento inicial del sistema probablemente contará con vehículos aéreos diseñados para una capacidad de dos a seis pasajeros, y en rutas fijas urbanas e interurbanas. Este nuevo sistema de transporte podría contribuir, en términos generales, a la mejora de la movilidad en las ciudades, como así también a la habitabilidad y oportunidades económicas sostenibles para las comunidades (AHN & HWANG, 2022; PONS-PRATS & al., 2022; COHEN & SHAHEEN, 2021).

La UAM, sus tecnologías emergentes asociadas, los marcos regulatorios, normativos y de certificación, así como las oportunidades que prometen abrir para diversos actores urbanos, pueden sin duda considerarse innovadores. La UAM no es sólo un elemento resultado del avance de las tecnologías de la aviación, sino que también transformará, y de forma relevante, la

planificación de la movilidad y desarrollo urbano. Con este fin, la UAM puede ocupar un lugar destacado en la formación de estrategias de innovación urbana (y no solo de las infraestructuras del transporte) y desarrollo sostenible (KRYLOVA, 2022). Por todo ello, varios actores urbanos, gubernamentales y no gubernamentales, intentan dar respuesta a dos cuestiones importantes que enfrentarán las ciudades frente a la UAM: ¿cómo debería integrarse la UAM en la planificación de la movilidad urbana? Y, por otro lado ¿qué papel debe asumir la UAM en los sistemas de transporte urbano existentes?

La integración de la UAM en un área urbana demandará de toma de decisiones estratégicas que afectarán tanto las estrategias de innovación de la ciudad como los fundamentos de la planificación urbana. La introducción de la UAM exige un enfoque de planificación holístico que abarque no sólo la integración de la UAM en el sistema de transporte existente, sino también el desarrollo de la infraestructura urbana y la habitabilidad general de la ciudad. Esto es necesario para garantizar el nacimiento y evolución sostenible (en todas sus vertientes) del sistema UAM (*The Aerospace, Security and Defence Industries Association of Europe*, [ASD], 2023).

No formular planes sólidos de integración urbana de un nuevo modo de transporte en la ciudad puede anular rápidamente gran parte de su potencial y consecuente éxito. Por ello, será de gran importancia conocer/definir los criterios que ayudarán a formular los planteamientos de integración de la UAM en la ciudad, que, paralelamente, contribuirán a garantizar la seguridad y la confianza del público, todos ellos elementos vitales para ayudar a que este modo de transporte emergente consiga también su éxito comercial (STRAUBINGER, 2019). Entonces, esta investigación propone un conjunto de criterios, segmentados en varias dimensiones o vertientes (las que, en principio, se consideran más relevantes en la fase inicial del sistema UAM) a tener en consideración en la futura planificación de la integración de la movilidad aérea urbana

en la ciudad. Los criterios aquí sugeridos deberían ayudar a los planificadores urbanos y decisores de política pública en el diseño y generación de los planes y políticas de integración urbana, a la vez que beneficie el desarrollo de esta tecnología emergente, a la industria y, por supuesto, a las comunidades (PORSCHÉ CONSULTING, 2021).

Finalmente, este artículo tiene la estructura metodológica que se describe a continuación. En primer lugar, se presenta una concisa revisión de la bibliografía, con el fin de conocer los aportes de la academia sobre las diferentes áreas componentes de la movilidad aérea urbana, en especial, en el concepto de la integración urbana (que como se verá, son prácticamente inexistentes). Paso seguido, se dedica una sección completa a la descripción detallada de la movilidad aérea urbana (tanto de sus componentes como de las características operativas) para su mejor conocimiento conceptual del sistema y comprensión de su operación. Posteriormente, se desarrolla el núcleo principal de este trabajo, la descripción de los criterios de integración de la UAM en la ciudad. Y, finalmente, el trabajo se cierra con las oportunas conclusiones.

2. Revisión de la bibliografía

Un extenso y detallado estudio bibliométrico reciente (LONG & al., 2023) identificó que las publicaciones científicas relacionadas a la movilidad aérea urbana, en los últimos seis años (2017-2022), se centran, mayoritariamente, en los siguientes aspectos: (a) cálculos/proyecciones de demanda; (b) factores que podrán afectar la demanda del servicio UAM; (c) aceptación/aprobación por parte de la sociedad al servicio UAM; (d) localización de los vertipuertos y estructura y/o configuración de la red UAM; (e) aspectos operacionales y gestión del espacio aéreo; y (f) análisis de ciclo de vida del servicio UAM. El estudio identifica muy pocas investigaciones académicas sobre aspectos regulatorios de la UAM (los cuales se centran únicamente en la construcción y operación de vertipuertos) (aunque sí se puede encontrar mucha literatura gris de este concepto, principalmente de la industria, de organizaciones gubernamentales y no gubernamentales, y de organizaciones internacionales de la aviación), y casi ninguna sobre la integración urbana, en un contexto amplio, de la UAM en las ciudades. Otros estudios bibliométricos (también exclusivamente de publicaciones científicas), presentan los mismos resultados (BRUNELLI & al., 2023; SCHWEIGER & PREIS 2022; GARROW & al., 2021). Y, finalmente,

una búsqueda propia realizada por la presente investigación (en bases de datos digitales tales como: ScienceDirect, IEEE Xplore, Taylor & Francis, Springer, Wiley, SAGE y JSTOR), obtuvo los mismos resultados antes citados. Por ello, esta investigación tiene el objetivo de cubrir ese vacío en la literatura científica, al desarrollar y proponer criterios que guíen la integración de la movilidad aérea urbana en las ciudades.

3. Movilidad aérea urbana

3.1. Definición

Movilidad aérea urbana se refiere a un emergente sistema de transporte aéreo que utilizará vehículos aéreos (tripulados y/o no tripulados) de despegue y aterrizaje vertical, seguros, eficientes y sostenibles, para el transporte de pasajeros o mercancías en trayectos urbanos e interurbanos (*European Union Aviation Safety Agency [EASA], 2022; Federal Aviation Administration [FAA], 2023; NASA, 2018*). La UAM se enfoca en el transporte de corta y media distancia, en el rango aproximado (previsto) de 3 a 35 km, para vehículos con una capacidad máxima de 2 pasajeros, y hasta 300 km con una capacidad máxima de 6 pasajeros, conectando destinos dentro de grandes áreas urbanas o entre destinos interurbanos (ANAND & al., 2022). Los vehículos aéreos que prestarían servicios UAM volarían en espacios aéreos de baja altitud (100-1000 metros) (POLACZYK & al., 2019). Seguridad (física y operacional), comodidad, protección del medio ambiente, practicidad logística, y ahorro de tiempo (en desplazamiento) se prevé serán las principales características de la UAM (Fu & al., 2019).

3.2. Elementos tecnológicos y de infraestructura básica de la movilidad aérea urbana

La UAM, como nuevo modo de transporte, implica el uso de muchas tecnologías, algunas de las cuales ya se aplican en el sector de la aviación. Sin embargo, las tecnologías existentes necesitan modificaciones y adaptaciones para satisfacer la futura demanda de los servicios UAM. Casi todas las investigaciones relacionadas afirman que, además de la propia tecnología de los vehículos aéreos (sobre todo sus sistemas de propulsión), las comunicaciones (aeronáuticas), las TIC (Tecnologías de la información y las comunicaciones), la gestión del tráfico aéreo, la

automatización, la seguridad operacional, la aceptación social y aspectos relacionados con la privacidad de los ciudadanos son los factores clave para la correcta implementación de la UAM (PONS-PRATS & al., 2022; AIRBUS, 2017). A continuación, se describe y detalla cada una de las tecnologías (básicas) necesarias de la UAM.

Vehículo aéreo VTOL: los vehículos aéreos de despegue y aterrizaje vertical (más conocidos por su acrónimo en inglés, VTOL, *Vertical Take-Off and Landing*) serán los que presten los servicios UAM (BOEING, 2018; AIRBUS, 2018). Aunque los servicios UAM se prevén recién a medio plazo (7-10 años), la industria aeronáutica ya viene trabajando desde hace algunos años en el desarrollo de vehículos aéreos, para servicios UAM, tipo VTOL o eVTOL (eléctricos de despegue y aterrizaje vertical) (FREDERICKS & al., 2018). Actualmente existen más de 50 prototipos (la mayoría de propulsión eléctrica) en fase de desarrollo y/o pruebas, con capacidades de entre 1 y 6 pasajeros, con tiempos de vuelo de entre 25 y 350 minutos, y rangos de alcance de entre 25 y 2000 km, y finalmente, con velocidades de crucero de entre 60 y 500 km/hora (POLACZYK & al., 2019). Como se aprecia en las cifras, algunos desarrollos son muy ambiciosos (en lo que alcance y velocidades se refiere) y puede que dichos vehículos inicien operaciones en fases avanzadas del servicio UAM, por lo que, en las fases iniciales del servicio, solo serán los vehículos de alcance corto y/o medio (y bajas velocidades) los que inicien operaciones (BRELJE & MARTINS, 2019, PONS-PRATS & al., 2022). La FIG. 1 muestra algunos prototipos de vehículos aéreos VTOL.



FIG. 1 / Tipología de vehículos aéreos VTOL (Vertical Take-Off and Landing [prototipos]), todos los de la figura pueden transportar hasta un máximo de seis pasajeros (por ejemplo, en servicios de taxi aéreo)

Fuente: NASA, 2024

Gestión del espacio aéreo: el previsible aumento progresivo del número de vehículos aéreos que prestarán servicios UAM demandará del diseño e implementación de un modelo de gestión del espacio y tráfico aéreo (THIPPHAVONG, 2018; MITRE, 2018; MUELLER & al., 2017). Las

investigaciones sobre la gestión del espacio aéreo UAM incluyen la programación de despegues y llegadas de vehículos aéreos, la integración sin fisuras con las operaciones tradicionales, gestión de trayectoria continua, gestión de redes UAM, gestión del tráfico del espacio aéreo e integración con enfoques tradicionales, etc. (BOSSON & LAUDERDALE, 2018; COTTON & WING, 2018) (FIG. 2). Dos iniciativas en Estados Unidos y Europa financiadas por la NASA y la Comisión Europea lideran la investigación sobre la implementación de la UAM. La más avanzada es la de Estados Unidos, la denominada misión *Advanced Air Mobility* (AAM) (NASA, 2021). Uno de los principales pilares de la AAM es la automatización, que afecta directamente a la gestión del tráfico aéreo. Por otro lado, en Europa, el proyecto CORUS (EUROPEAN COMMISSION, 2019) también es relevante a efectos de gestión del tráfico aéreo, ya que el proyecto se ocupa de la integración de dispositivos autónomos en el espacio aéreo de baja altitud. En esta línea, en la Unión Europea, por un lado, está en marcha el proyecto CORUS-XUAM (2023) un proyecto de demostración a muy gran escala que demostrará cómo los servicios y soluciones de U-space podrían respaldar las operaciones de vuelo integradas de la UAM. Estos servicios deberían permitir que los vehículos eléctricos de despegue y aterrizaje vertical, los sistemas de aeronaves no tripuladas y otros usuarios del espacio aéreo (tripulados y no tripulados) operen de forma segura, sostenible y eficiente en un espacio aéreo controlado y totalmente integrado, sin indebidas impacto en las operaciones actualmente gestionadas por el sistema de Gestión del Tráfico Aéreo. Y, por otro lado, está en curso el proyecto U-ELCOM (2023), que permitirá operaciones comerciales diarias con drones en 2026. En definitiva, las herramientas y los sistemas de gestión del espacio aéreo, actualmente aplicados a la aviación civil, no serán aplicables al futuro tráfico aéreo UAM. Ahora bien, las operaciones iniciales de UAM, caracterizadas por un ritmo lento y una baja complejidad, se ejecutarán utilizando el marco regulatorio actual; pero a medida que aumente el ritmo y la complejidad de las operaciones, las opciones disponibles en el marco regulatorio actual (por ejemplo, corredores / rutas de vuelo preestablecidas) deberán adaptarse al crecimiento. A medida que las operaciones sigan aumentando en volumen y complejidad, la implementación de corredores UAM puede volverse necesaria, e incluso imprescindible, desde el punto de vista operativo para los usuarios del espacio aéreo y/o los proveedores de servicios de Gestión del Tráfico Aéreo (FAA, 2023) (FIG. 2). Por lo tanto, todas las autoridades aeronáuticas nacionales deberán trabajar en el diseño y estandarización de nuevas herramientas, sistemas y lineamientos de gestión del espacio aéreo (WANG & al., 2023, PONS-PRATS & al., 2022).



FIG. 2 / Utilización del espacio aéreo por los vehículos VTOL (Vertical Take-Off and Landing), ejemplo de corredor aéreo UAM (Movilidad Aérea Urbana) de varias pistas

Fuente: FAA, 2023

Infraestructura de soporte: el establecimiento de una infraestructura operativa es un requisito previo esencial para el éxito del desarrollo de los servicios UAM. Las principales infraestructuras físicas (terrestres) de soporte a las operaciones UAM serán los denominados vertipuertos. La Agencia Europea de Seguridad Aérea define vertipuerto como “un área de tierra, agua o estructura que se usa o se pretende usar para el aterrizaje, despegue y movimiento de aeronaves con capacidad VTOL” (EASA, 2022). Por

otro lado, la Administración Federal de Aviación de Estados Unidos define vertipuerto como “un área de tierra, o una estructura, utilizada o destinada a ser utilizada, para aterrizajes y despegues de aeronaves VTOL eléctricas (eVTOL), de hidrógeno e híbridas, que incluye edificios e instalaciones asociadas” (FAA, 2022).

Numerosos estudios han explorado los requisitos de diseño y construcción de vertipuertos (PREIS, 2021; STRAUBINGER & al., 2020; TAYLOR & al., 2020). Un vertipuerto tiene un número limitado de componentes, además de que prestará servicio a aeronaves eléctricas relativamente pequeñas y con capacidad de despegue y aterrizaje vertical, por lo que no demandará de un espacio tan grande como un aeropuerto. Se estima que, al inicio de la era UAM, la superficie que demande un vertipuerto sea de entre 3000 m² y 12 000 m², dependiendo del número de alturas (o niveles) de la infraestructura, esta superficie incluye tanto el “lado tierra” (donde se procesan pasajeros) como el “lado aire” (donde se procesan los vehículos aéreos), superficie que probablemente irá creciendo a medida que aumente la demanda UAM (BIRRELL & al., 2022; LIM & HWANG, 2019) (FIG. 3).



FIG. 3 / Configuración prevista de un vertipuerto. Legenda: (A) área de despegue y aterrizaje de las aeronaves VTOL (Vertical Take-Off and Landing), (B) puestos de estacionamiento de las aeronaves VTOL, (C) área terminal (de gestión de pasajeros)

Fuente: LILIU, 2020

La UAM va a requerir una red de vertipuertos con diferentes características y capacidades operativas para satisfacer las necesidades futuras de movilidad urbana e interurbana. Se prevé que el vertipuerto, además de ser soporte a las operaciones aéreas o aeronáuticas, pueda ofrecer servicios adicionales relacionados con el pasajero (entretenimiento, compras, etc.), con la gestión administrativa de la infraestructura (relacionado con el personal, oficinas, etc.), y con el vehículo aéreo (estacionamiento, mantenimiento, vigilancia, etc.) (SCHWEIGER & al., 2022). Cabe mencionar que, como infraestructura de soporte a la UAM, se deberán construir, adicionalmente a los vertipuertos, los denominados vertistop (PREIS, 2021; SCHWEIGER & PREIS, 2022). Los vertistops serán similares a los vertipuertos, pero de un tamaño muy reducido (inicialmente de un área de no más de 1000 m²) y servirán como simples estaciones o puntos de escala. En los vertistops, en el lado aire, no se prevé ningún tipo de servicio complejo sobre la aeronave, y en el lado tierra los servicios ofrecidos a los pasajeros serían los mínimos. En analogía a los aeropuertos, y considerando la demanda de viajes, los vertipuertos serían estaciones origen-destino, mientras que los vertistops solo sería estaciones de destino (AHN & HWANG, 2022; UBER ELEVATE, 2016).

3.3. Aspectos normativos y de certificación

Como cualquier otra tecnología disruptiva, la UAM plantea una nueva preocupación en términos de seguridad y privacidad. Esto exigirá cambios significativos en el marco normativo existente, que abarcará desde la aeronavegabilidad y la certificación de operadores hasta las normas de diseño, construcción y operación de la infraestructura de soporte (STRAUBINGER & al., 2020; TAKACS & HAIDEGGER, 2022).

Las aeronaves VTOL y la infraestructura terrestre asociada comparten algunas similitudes con la tecnología aeronáutica y las soluciones terrestres actuales, en particular los helicópteros y los helipuertos, lo que implica que una gran parte de los reglamentos y normas existentes pueden aplicarse a la infraestructura vertipuerto. Aun así, las características distintivas de las aeronaves VTOL, desde los medios de propulsión y el grado de autonomía previsto, requerirán el establecimiento de directrices y/o certificaciones muy estrictas. El objetivo de estas acciones es facilitar el desarrollo del marco normativo que permita la operación

segura de aeronaves de taxi aéreo y VTOL eléctricas (eVTOL) (PONS-PRATS & al., 2022).

En lo que se refiere a las normativas en materia de diseño y construcción de infraestructuras de soporte a la UAM, la Agencia Europea de Seguridad Aérea publicó, por primera vez a nivel mundial (marzo 2022), las primeras especificaciones técnicas detalladas (en formato guía) para el diseño y construcción de vertipuertos (EASA, 2022). Estas especificaciones describen en detalle las características físicas de un vertipuerto, el entorno de obstáculos requerido, ayudas visuales, luces y marcas, así como conceptos para vertipuertos alternativos en ruta para un vuelo y aterrizaje seguros y continuos. Considerando que muchos vertipuertos se construirán dentro de un entorno urbano la guía de EASA ofrece soluciones nuevas e innovadoras específicamente para entornos urbanos congestionados. Y, por otro lado, la Administración Federal de Aviación de Estados Unidos publicó, en septiembre 2022, un memorando que proporciona una guía provisional para el diseño y construcción de vertipuertos (FAA, 2022).

3.4. Principales actores del sistema UAM

El sistema UAM constará de diferentes actores, a continuación, se mencionan los más probables, brindando información sobre el posible poder de mercado de cada actor y la posible colaboración e integración vertical entre los diferentes niveles del mercado (NNEJI & al., 2017; STRAUBINGER & al., 2020; COHEN & al., 2021; SMIRNOV & al., 2023; PONS-PRATS & al., 2022; BULANOWSKI & al., 2022; MITRE, 2018).

Proveedor de la plataforma: el proveedor de la plataforma interactúa directamente con el cliente final (el pasajero) y ofrece (y vende) el servicio UAM al cliente. El proveedor de la plataforma puede ser una empresa que organiza servicios de diferentes proveedores de servicios y luego los vende, o puede ser una empresa que solo ofrece una plataforma digital para ofertas de servicios de uno o varios proveedores de servicios. Debido a los efectos de la red, un número menor de proveedores de plataformas parece ser más eficiente, pero podría dar lugar a un fuerte poder de mercado de uno o unos pocos jugadores, lo que nuevamente podría generar ineficiencias.

Prestador del servicio: el prestador del servicio es la empresa que presta el servicio de transporte de la UAM. Esto se hace mediante

la programación de viajes, la gestión de la flota de vehículos aéreos (incluida la carga/repostaje, la programación del mantenimiento, la reparación y la revisión [MRO, su acrónimo en inglés], y la limpieza). Dependiendo del modelo de negocio, esta empresa puede interactuar directamente con el cliente final u ofrecer su servicio de transporte a través de una plataforma externa. En los casos de contacto directo con el cliente, el proveedor de servicios también puede operar la plataforma ya sea abarcando las ofertas de otros proveedores de servicios o solo sus propios servicios de transporte.

Propietario del vehículo aéreo: la empresa propietaria de los vehículos aéreos puede ser la empresa que también proporciona el servicio UAM o una empresa de arrendamiento independiente cuyo único negocio es arrendar vehículos aéreos a operadores de servicios. Esto podría suceder a través de un contrato de arrendamiento a largo plazo o mediante contratos a corto plazo y flexibles.

Fabricante de vehículos aéreos: actualmente, el número de empresas que desarrollan vehículos aéreos para servicio UAM es bastante grande en comparación con, por ejemplo, el número de fabricantes de automóviles, fabricantes de trenes o fabricantes de aviones. Se espera que esto disminuya con el tiempo para converger hacia un oligopolio.

Empresa de mantenimiento, reparación y revisión (MRO): la prestación del servicio MRO puede ser ofrecida por empresas independientes, por el fabricante del vehículo aéreo, por el propietario del vehículo o por el proveedor del servicio. Dado que el transporte aéreo enfrenta altos estándares de seguridad y protección, la empresa MRO enfrentará altos criterios de certificación y debe garantizar altos niveles de calidad.

Proveedor de infraestructura terrestre de soporte: la provisión y operación de infraestructura terrestre (vertipuertos) es esencial para la introducción exitosa de la UAM. La infraestructura terrestre puede ser suministrada por empresas públicas, asociaciones público-privadas o empresas privadas. Debido a los altos costos de inversión, podría surgir un monopolio natural. Para otros modos de transporte, este problema a menudo se resuelve poniendo la infraestructura bajo la responsabilidad de un organismo público o regulando estrictamente al proveedor de la infraestructura.

Proveedor de infraestructura de comunicaciones: la infraestructura de comunicaciones es un requisito previo necesario para la UAM,

especialmente cuando se esperan altos niveles de autonomía. Se estima que el mercado esté dominado por uno o unos pocos proveedores debido a los altos costos fijos. Es probable que los jugadores sean proveedores de telecomunicaciones actuales.

Proveedor de la gestión del tráfico aéreo de la UAM: la discusión sobre la provisión de este servicio está todavía en sus comienzos, se espera que un organismo (público o privado, pero bajo concesión y control público) supervise y tal vez organice los viajes aéreos de la UAM. Por ejemplo, en Europa, el proyecto CORUS-XUAM (2023) demostrará cómo los servicios y soluciones de U-space podrían respaldar las operaciones de vuelo integradas de la movilidad aérea urbana, y permitirían que los vehículos VTOL, los sistemas de aeronaves no tripuladas y otros usuarios del espacio aéreo operen de forma segura, sostenible y eficiente en un espacio aéreo controlado y totalmente integrado.

Actualmente, se están realizando pocas investigaciones en este campo. Todavía se necesita mucha investigación para identificar quién va a estar activo en qué campos y cómo esto se traduce en diferentes niveles de competencia en los diferentes niveles del mercado y en modelos comerciales adecuados.

4. Criterios de integración de la movilidad aérea urbana

4.1. Fundamentos

La presente investigación identifica algunos criterios a considerar en la planificación de la integración de la movilidad aérea urbana con las redes de transporte y otras infraestructuras de movilidad de la ciudad. Actualmente, este tema aún no está en la agenda de la mayoría de las ciudades/países del mundo; no hay a la fecha, a nivel operativo, disponibilidad de infraestructura dedicada a este medio de transporte emergente, incluso existe un gran desconocimiento sobre cuál es/será la actitud de los ciudadanos y otras partes interesadas clave sobre su despliegue en la ciudad, aunque la academia ya está aportando algunos indicios al respecto (RAUTRAY & al., 2022; PONS-PRATS & al., 2022; GILLIS & al., 2021). Sin embargo, es posible identificar aspectos muy precisos de la UAM, en varias de sus dimensiones o vertientes, que demandarán el establecimiento de criterios para su desarrollo e integración en la ciudades, en especial, con sus actuales sistemas de transporte / movilidad.

A continuación, en las siguientes subsecciones, se presentan y desarrollan estos criterios.

4.2. Criterios de sostenibilidad de la integración de la UAM

La integración de los servicios de la UAM en la cadena de transporte urbano de la ciudad debe incorporar un sistema de indicadores destinados a monitorear y evaluar la sostenibilidad global del proceso de integración. En particular, el sistema de indicadores debería abordar varios aspectos de la sostenibilidad de los servicios de la UAM (GARROW & al., 2021; PONS-PRATS & al., 2022; AL HADDAD & al., 2020; COHEN & al., 2021; THIPPHAVONG, 2018; STRAUBINGER & al., 2020; *International Forum for Aviation Research* [IFAR], 2023; EASA, 2021), por ejemplo:

- a) sostenibilidad económica, evaluando costes y beneficios de los servicios de UAM, tanto a nivel industrial como social (posibles indicadores: ingresos de explotación, costes de inversión, costes de explotación);
- b) sostenibilidad ambiental, midiendo la contribución de los servicios de la UAM a la mejora del medio ambiente mediante el uso de vehículos eléctricos y combustibles alternativos (posibles indicadores: ciclo de vida de vehículo VTOL, consumo relativo de combustible (por pasajeros y por kilómetro recorrido), calidad del aire, emisiones, ruido);
- c) sostenibilidad social, evaluando la aceptabilidad general de los servicios de la UAM y sus efectos sobre la facilidad de desplazamiento de las personas en una ciudad con respecto a la accesibilidad física y económica y sus efectos sobre la salud. Esto incluye la forma en que se organiza la sociedad tanto en términos de uso del suelo como en términos de gobernanza (posibles indicadores: aceptación, satisfacción, accesibilidad física hacia el transporte, accesibilidad física del vehículo aéreo de transporte, revalorización del precio del suelo debido a la relocalización / cambio de residencia de los habitantes, ya que la UAM disminuiría los tiempos de desplazamientos trabajo-hogar, como ya sucedió con la introducción del tren de alta velocidad (GENG & al., 2015; WANG & al., 2019).

Entre estas tres dimensiones de la sostenibilidad, debe prestarse especial atención a la vertiente de sostenibilidad social, por el carácter disruptivo de la UAM, que se apoya en

tecnologías totalmente inéditas tanto para el público en general como para la mayoría de los usuarios del transporte (COHEN & al., 2020).

En un futuro muy próximo, la UAM podría proporcionar transporte a demanda para necesidades individuales, así como para nuevos modelos de logística. También conectarán importantes nodos de transporte, como aeropuertos y estaciones de trenes, y centros de ciudades, además de proporcionar transferencias rápidas con estos nodos. Otro servicio potencial o probable es el transporte regional, aumentar la accesibilidad a ciudades / regiones / territorios relativamente alejados de las grandes ciudades y, a través de ello, otorgar acceso a nuevos mercados laborales, eventos culturales y atención médica, al mismo tiempo que se promueve el crecimiento económico y se fomenta el turismo, es una oportunidad para las regiones / territorios actualmente rezagados. El servicio UAM propuesto podría cubrir el vacío dejado que otros modos de transporte, como el aéreo (convencional) o el tren (ya sea por falta de infraestructuras de soporte o por baja rentabilidad comercial de las rutas), al conectar ciertas ciudades / regiones / territorios de los países. Con este tipo de servicio UAM los gobiernos locales podrían fortalecer la conectividad de dichas regiones con las ciudades principales para evitar una mayor despoblación.

En otro orden, la UAM debería ayudar a cumplir los objetivos políticos de sostenibilidad y descarbonización. En todo el mundo, las autoridades están tratando de mantenerse al día con los desarrollos de esta tecnología emergente diseñando, e incluso proponiendo, regulaciones a nivel nacional e internacional y definiendo criterios para la planificación política. Por ejemplo, la Comisión Europea fomenta la UAM para garantizar el crecimiento económico, por ello, su programa Horizonte 2020 sobre transporte inteligente, verde e integrado, identificó dos criterios clave para lograr una UAM sostenible (EUROPEAN COMMISSION, 2023): disminuir la huella ambiental general y controlar la contaminación acústica y visual. A lo largo de esta tarea, se abordan tres aspectos principales que deben incorporarse en un sistema UAM sostenible: (a) los impactos sociales de las actividades de transporte, (b) las preocupaciones y la aceptación del público, incluida la seguridad, y (c) la privacidad.

La expresión impactos sociales se refiere tanto a los beneficios potenciales como a los impactos negativos de la UAM que afectan a la sociedad. Uno de los beneficios potenciales más destacados es la reducción de la congestión del tráfico rodado o vial. Además, otro beneficio percibido

es la eficiencia en los servicios de atención médica, servicios de entrega optimizados y mejores servicios de búsqueda y rescate. En cuanto a los impactos negativos, están relacionados con las preocupaciones del público, muy especialmente con la contaminación acústica, generada tanto por los vehículos aéreos de transporte de pasajeros como de los vehículos no tripulados (drones) para el transporte de mercancías (ASD, 2023).

Entonces, ¿qué es importante considerar para que la UAM sea aceptada por la sociedad? Una estrategia exitosa debe considerar los siguientes aspectos (YEDAVALLI & MOOBERRY, 2019): (a) conocimiento de la tecnología por parte del público en general; (b) equidad del proceso de toma de decisiones; evaluación general de costos, riesgos y beneficios de una nueva tecnología; (c) contexto local; y (d) confianza en los tomadores de decisiones y otras partes interesadas relevantes.

Además de la inclusión de impactos sociales en el despliegue de la UAM, también se deben destacar las preocupaciones y la aceptación del público, incluida la “seguridad operacional” y la “seguridad física”. Por “seguridad operacional” se entiende el conjunto de medidas, procedimientos y protocolos a implementar en la operación (aeronáutica) de los vehículos aéreos que prestarán servicios UAM, destinados a prevenir o reducir eventos accidentales que puedan causar lesiones a las personas o daños a la propiedad (GRAYDON & al., 2020; COKORILLO, 2020; KOPARDEKAR & al., 2016); mientras que la “seguridad física” se refiere al conjunto de acciones, medidas y protocolos a implementar como respuesta a una amenaza en curso, derivada de una acción ilícita, con el fin de causar daño a personas, equipos y/o infraestructura (TORENS, 2021; ZEISER, 2019).

Finalmente, otro problema para la sostenibilidad social de la UAM está relacionado con la privacidad. La mayoría de las preocupaciones están relacionadas con posibles violaciones de la privacidad y la falta de transparencia con respecto a los objetivos y propósitos de las operaciones tanto con vehículos aéreos tripulados como con los no tripulados (drones). En muchos casos, los drones pueden volar a una altura significativa y pueden no ser tan fácilmente reconocibles. Esto puede causar, de forma intencionada o no, violaciones a la privacidad. Queda claro que la permisibilidad legal y los efectos sobre la privacidad y otras libertades civiles son un punto crucial para la sostenibilidad social de la UAM (VATTAPPARAMBAN & al., 2016). Los vehículos aéreos urbanos (tripulados o no) pueden

convertirse en herramientas de espionaje y enviarse a cualquier lugar para vigilancia y monitoreo constante de cosas y/o personas. También se pueden utilizar para realizar cierto tipo de ataques cibernéticos/físicos que pueden dañar bienes y personas (ZEISER, 2019).

4.3. Criterios de desarrollo de la infraestructura de soporte de la UAM

Los requisitos de infraestructura de UAM y las demandas de los clientes brindan una oportunidad para construir nuevos negocios. El desarrollo de vertipuertos en una amplia área metropolitana será fundamental para el crecimiento de la industria UAM; la cantidad y la ubicación de las plataformas de despegue y aterrizaje determinarán la cantidad de vuelos UAM que una ciudad puede acomodar. Los operadores de los vertipuertos proporcionarán a las flotas de VTOL servicios de intercambio o recarga de baterías y brindarán servicios de tránsito a los pasajeros de la UAM. Los operadores de flotas serán responsables de administrar los vehículos aéreos VTOL que volarán por las ciudades. También interactuarán con operadores de vertipuertos y plataformas de reserva que reciben solicitudes de viajes de pasajeros o movimientos de carga (MAVRAJ, 2022; DI VITO, 2023; STRAUBINGER & ROTHFELD, 2018).

4.3.1. Criterios de localización de los vertipuertos

A mediados de la década de 1990, COHEN (1996) abordó el problema específico de la ubicación de los vertipuertos de una red UAM al examinar las restricciones de ubicación, como los requisitos de disponibilidad de suelo. Parece evidente que el tema de disponibilidad de suelo es una cuestión crítica a la hora de construir nuevos elementos de infraestructura para la maniobra de aeronaves VTOL (VASCIK & HANSMAN, 2017; UBER ELEVATE, 2016). Pero no muchos estudios tienen en cuenta todos los criterios (además de la disponibilidad de suelo) que podrían influir en la estructuración de la red UAM, es decir, donde localizar los vertipuertos, que serán las infraestructuras de soporte del servicio UAM, y que, en definitiva, afectarían la utilidad y eficacia de dicho servicio (WILLEY & SALMON, 2021).

Procede aclarar que, aunque existen estudios que proponen (a nivel de simulación, o como

modelos conceptuales) la ubicación de vertipuertos dentro de ciudades (seleccionadas como casos de estudio o de potencial aplicación), ninguno de ellos se basa en la experiencia práctica o real (ANTCLIFF & al., 2016; VASCIK & HANSMAN, 2017; FADHIL, 2018; VASCIK & HANSMAN, 2019; RAJENDRAN & ZACK, 2019; RATH & CHOW, 2022; ARELLANO, 2020; MINETA, 2023).

Entonces, a continuación, se mencionan algunos criterios (en principio los más relevantes) que se prevé influyan en la ubicación de los vertipuertos en las ciudades.

Densidad de población: la población como factor influyente para la ubicación de estaciones UAM (los vertipuertos) es un factor comúnmente utilizado en las investigaciones relacionadas (ANAND & al., 2021; SCHWEIGER & PREIS, 2022). En general, los estudios proponen ubicar los vertipuertos de la UAM cerca, o inmersas, en zonas con una importante cantidad de población, ya que podría representar una mayor cantidad de usuarios (potenciales clientes/pasajeros). Si bien UAM no es un modo de transporte que esté ya disponible existe al menos una similitud importante con el transporte público actual: las estaciones (de buses, metro, BRT [*Bus Rapid Transit*], trenes). Para que los usuarios puedan acceder a los vuelos de la UAM, primero tendrán que acceder a una estación de la UAM. Como tal, las pautas de accesibilidad de las estaciones de transporte público pueden servir como sustituto de la accesibilidad de las estaciones de la UAM (PLOETNER, 2020). Si bien una gran cantidad de población no equivale necesariamente a una gran cantidad de usuarios de UAM, sirve como un elemento importante para un mercado potencial.

Renta per cápita (o nivel de ingresos): cuando inicie el servicio UAM, se prevé que la tarifa de dicho servicio será alta (o costosa, en términos relativos con otros modos de transporte) (UBER ELEVATE, 2016). Por ello, los estudios actuales, tienen en cuenta este factor (identificación de zonas con habitantes de alto o muy alto poder adquisitivo) a la hora de determinar, o incluso modelizar, las localizaciones de las estaciones UAM, es decir, los vertipuertos, ya que influirá directamente en la demanda potencial del servicio (SYED, 2017; VASCIK & HANSMAN, 2017; GERMAN & al., 2018).

Zonas de interés turístico: este criterio comprende lugares turísticos con alta demanda de visitas. El turismo simboliza una evidencia de la demanda del modo de transporte urbano (ALBALATE & BEL, 2010), por lo tanto, es importante que el área de captación de cualquier nodo de transporte cubra el lugar de atracción turística. La forma en que los turistas llegan

al lugar de atracción turística debe ser conveniente para ellos (GRONAU & KAGERMEIER, 2007). Estudios estiman que el número de viajes turísticos en vehículos VTOL (partiendo desde estaciones UAM) podría captar del 5 al 20% de la demanda total de viajes generada por el turismo en la ciudad y/o su periferia (FADHIL, 2018; PLOETNER, 2020).

Existencia de nodos principales de transporte: las investigaciones prevén que exista una demanda potencial de servicios UAM desde y hacia los principales centros de transporte de la ciudad (aeropuertos, estaciones de trenes de cercanías (interurbanos) y trenes de larga distancia, y estaciones de buses de larga distancia) (VASCIK & HANSMAN, 2017; UBER ELEVATE, 2016). Los principales nodos de transporte también son importantes cuando se trata de intermodalidad, por ello, proporcionar infraestructura terrestre UAM en los principales nodos de transporte puede mejorar la rapidez, flexibilidad y comodidad de viaje, ya que los pasajeros de larga distancia pueden cambiar el modo de transporte casi sin problemas. Los vehículos VTOL podrían prestar servicio en lo que se denomina la "primera y última milla" en un viaje de larga distancia, en el que el avión o el tren (de larga distancia) actúa como transportador principal (ANAND & al., 2021).

Zonas de alta densidad laboral: al igual que el factor población, el empleo también fue un factor comúnmente utilizado en las investigaciones relacionadas (SYED, 2017; DASKILEWICZ & al., 2018). En muchas ciudades, o regiones metropolitanas, del mundo existen zonas o áreas con una alta actividad laboral (comercial, industrial, financiera, gubernamental, etc.) y por lo tanto de una importante cantidad de trabajadores (ANTCLIFF & al., 2016). Por lo tanto, tener infraestructura terrestre de la UAM para apoyar y servir a estas áreas de alta densidad laboral, podría generar una importante demanda del servicio.

Restricciones ambientales: las ubicaciones candidatas deben tener en cuenta las limitaciones ambientales, principalmente relacionadas con las características del viento y los impactos del ruido en el contexto urbano (DÍAZ OLARIAGA, 2018; MARMOLEJO DUARTE & ROMANO CÓRDOBA, 2009). En particular, las acciones del viento podrían afectar las operaciones de vuelo, por lo que es necesario evaluar las direcciones y distribuciones de velocidad del viento en las zonas donde se ubicarían los vertipuertos (OTTE & al., 2018).

4.4. Criterios de planificación a nivel urbano / regional

Dado que la UAM deberá ser muy versátil en lo que se refiere a su interrelación con el resto de los modos de transporte existentes en la ciudad/región, cada nivel de la infraestructura existente deberá planificarse para acomodarlo (AIRBUS, 2017). Por lo tanto, será necesario que los planificadores, y decisores de políticas públicas, planifiquen la infraestructura de soporte en dos niveles: a nivel regional para dotar a las autoridades correspondientes con la infraestructura adecuada para los viajes interregionales, y a nivel de ciudad para preparar las áreas urbanas para viajes urbanos (dentro de la ciudad) e interurbanos (entre ciudades próximas) (ASD, 2023; UIC2-UAM, 2021; HELSINKI, 2023; ASSURE [Alliance for System Safety of UAS through Research Excellence], 2022; PERPERIDOU & KIRGIAFINIS, 2022). A continuación, se citan algunos conceptos que podrían dar soporte a los criterios de planificación en los dos niveles antes citados:

- 1) Nivel regional:
 - a) generar incentivos de arriba hacia abajo en puntos desatendidos de la economía para los cuales el costo-beneficio del gasto en infraestructura convencional (por ejemplo, ferrocarril, carretera, túnel y puente) no se acumula;
 - b) exigir sitios de aterrizaje con capacidades de servicio básico a lo largo de las rutas propuestas de mayor frecuencia.
- 2) Nivel municipal (o metropolitano):
 - a) identificar los sitios de despegue y aterrizaje del servicio UAM durante las fases de planificación de la ciudad;
 - b) redefinir los centros de conectividad multimodal para incluir opciones de UAM como multiplicadores de fuerza para los servicios de transporte existentes;
 - c) identificar zonas estratégicas de la ciudad para las instalaciones de apoyo asociadas (por ejemplo, servicios de emergencia).

4.5. Criterios de toma de decisiones y desarrollo de políticas

Inevitablemente, la ampliación de los sistemas de infraestructura de transporte de la actualidad,

con la integración de la UAM, involucrará a muchas partes interesadas de los sectores público y privado. Los gobiernos son los instigadores naturales de los esfuerzos de cambio sistémico, ya que solo ellos tienen el poder de crear y promover marcos y estándares legales relevantes, y son los garantes últimos de la seguridad y la estabilidad a nivel sistémico, a través de políticas y regulaciones (VASCIK & HANSMAN, 2017; EISSFELDT, 2020; STRAUBINGER & al., 2021; STRAUBINGER, 2019). A continuación, se citan las fuentes de generación de criterios, según el nivel institucional.

- 1) Gobierno central: en términos generales (sin entrar a distinguir o individualizar país), a nivel nacional la toma de decisiones serán resultado de lineamientos de políticas nacionales por parte de órganos estatutarios (p. ej., autoridades especiales de planificación) y comités encargados de aprobar, monitorear y certificar el desarrollo de infraestructura UAM según los estándares apropiados.
- 2) Autoridades municipales/locales: estas pueden facilitar el despliegue de la UAM a nivel local: (a) haciendo de la infraestructura de UAM una consideración de rutina en la planificación urbana y los principales procesos de desarrollo; (b) asignando presupuestos a la infraestructura de UAM; (c) desarrollar asociaciones público-privadas para acelerar el desarrollo de la infraestructura UAM cuando sea posible; y (d) desarrollar flujos de ingresos regulados a partir de las operaciones de infraestructura de la UAM.

5. Conclusiones

El presente artículo presenta y propone criterios a considerar para la futura-próxima planificación de la integración de la movilidad aérea urbana con las redes y sistemas de transporte de las ciudades. Actualmente, este tema aún no está en la agenda de la mayoría de las ciudades como lo demuestra la falta de regulación al respecto, la disponibilidad de infraestructuras dedicadas al emergente medio de transporte o incluso el desconocimiento sobre cuál es la actitud de los ciudadanos y otras partes interesadas clave sobre su implementación. En tal contexto, tratar de establecer cómo podría ocurrir la integración en el corto-medio plazo es un ejercicio con un alto nivel de incertidumbre.

Ahora bien, en el marco global actual, se espera que la densidad poblacional continúe

umentando en las áreas urbanas y la gente seguirá realizando movimientos diarios sistemáticos para asegurar los viajes del hogar al trabajo. Si esta tendencia continúa en el tiempo, entonces la movilidad aérea urbana deberá integrarse dentro de la red de transporte de las ciudades en una perspectiva de sistema amplio, teniendo en consideración los siguientes aspectos: (a) las cuestiones de seguridad y protección deben abordarse y resolverse antes de su despliegue; (b) se debe predecir la aceptación pública y los aspectos regulatorios y organizativos relevantes de los sistemas de movilidad aérea urbana; (c) los conceptos operativos y de servicio que permiten que el tráfico de la UAM se integre en un entorno de transporte urbano multimodal son requisitos esenciales para complementar la adaptación, evolución e integración de la infraestructura para una movilidad puerta a puerta eficiente y fluida y, por último, (d) la sostenibilidad ambiental. Todos estos criterios son fundamentales para integrar la UAM con la movilidad terrestre y se sustentan en la premisa de que los hábitos actuales de la población activa se mantienen dentro de la tendencia actual.

Los criterios aquí presentados serán un insumo de la planificación de la integración de la UAM en las ciudades / regiones, a medida que dicha integración se desarrolle, pero su temporalidad estará sujeta a la propia introducción de la UAM, la cual pasará por varias etapas de evolución y desarrollo en los próximos años. Según varios estudios relacionados, se espera que la adopción de servicios UAM se produzca en varias fases (según el modelo de negocio). Estas fases se corresponderán con la expansión de los servicios UAM desde unas pocas ciudades (inicialmente grandes metrópolis) a múltiples ubicaciones en muchos países. La primera fase ya está en desarrollo, y en la cual se formula todo el marco regulatorio, normativo y legal de este nuevo sistema de transporte. Se estima que esta fase se extienda, al menos, hasta mediados-finales de la presente década. Una vez terminada esta fase, se podrá iniciar los servicios UAM, previsto para finales de la presente década, y a diferentes velocidades en distintas ciudades / regiones del mundo. Se estima que para mediados de la próxima década el sistema y mercado UAM ya muestre una sólida consolidación. Y en una etapa final de desarrollo del mercado, posiblemente para principios de la década de 2040, se prevé que el despliegue comercial de los servicios de pasajeros y carga de la UAM será generalizado (en muchas ciudades / regiones del mundo).

La presente investigación indica, a la fecha, una falta de planteamientos (tanto a nivel académico

como a nivel real), sobre la integración urbana de este nuevo sistema de transporte emergente, que contribuya y de soporte a los esfuerzos de planificación para determinar cómo y dónde la UAM puede encajar en la movilidad de las grandes ciudades. Por ello, este trabajo sugiere criterios de integración, en varias dimensiones o ámbitos, que podrían ser de utilidad para los planificadores urbanos y decisores de políticas, para preparar el escenario de integración de este nuevo modo de transporte urbano.

En definitiva, este servicio de transporte emergente, que se prevé generará una verdadera industria relacionada o de soporte, tendrá el potencial de impactar en las comunidades en términos de accesibilidad, sostenibilidad y desarrollo económico. Desde hace unos pocos años, la academia, la industria y el sector gubernamental, vienen trabajando con el objetivo de sentar las bases necesarias en todos los niveles (divulgación, análisis sectorial, desarrollo tecnológico, regulación, certificación, etc.) para demostrar el valor potencial del servicio/mercado/industria UAM para la sociedad. Es de esperar que, con un enfoque reflexivo y las consideraciones políticas correctas, se podrá garantizar la plena integración del sistema UAM en la infraestructura de transporte urbano existente de las ciudades.

6. Bibliografía

- AHN, B. & HWANG, H.Y. (2022): Design Criteria and accommodating capacity analysis of vertiports for urban air Mobility and its application at Gimpo Airport in Korea. *Applied Sciences*, 12, 6077, <https://doi.org/10.3390/app12126077>
- AIRBUS (2017): Rethinking urban air mobility. Toulouse, AIRBUS. <https://www.airbus.com/en/newsroom/stories/2017-06-rethinking-urban-air-mobility>
- AIRBUS (2018): *Blueprint for the sky*. Toulouse, Francia, AIRBUS.
- ALBALATE, D. & BEL, G. (2010): Tourism and urban public transport: Holding demand pressure under supply constraints. *Tourism Management*, 31(3), pp. 425-433. DOI: [10.1016/j.tourman.2009.04.011](https://doi.org/10.1016/j.tourman.2009.04.011)
- AL HADDAD, C. & CHANIOTAKIS, E. & STRAUBINGER, A. & PLÖTNER, K. & ANTONIOU, C. (2020): Factors affecting the adoption and use of urban air mobility. *Transportation Research Part A*, 132, pp. 696-712, DOI: [10.1016/j.tra.2019.12.020](https://doi.org/10.1016/j.tra.2019.12.020)
- ANAND, A. & KAUR, H. & JUSTIN, C. & ZAIDI, T. & MAVRIS, D. (2021): A scenario-based evaluation of global urban air mobility demand. *AIAA Scitech Forum*. DOI: [10.2514/6.2021-1516](https://doi.org/10.2514/6.2021-1516)
- ANTCLIFF, K. & MOORE, M. & GOODRICH, K. (2016): *Silicon Valley as an early adopter for on-demand civil VTOL operations*. 16th AIAA Aviation Technology, Integration, and Operations Conference. 13-17

- June 2016, Washington, D.C., DOI: [10.2514/6.2016-3466](https://doi.org/10.2514/6.2016-3466)
- ARELLANO, S. (2020): *A Data-and Demand-Based Approach at Identifying Accessible Locations for Urban Air Mobility Stations*. Master Thesis. Technical University of Munich.
- ASD (2023): *Urban air mobility and sustainable development*. Brussels, Belgium, Aerospace, Security and Defence Industries Association of Europe.
- ASSURE (2022): *Urban Air Mobility Study: Safety Standards, Aircraft Certification, and Impact on Market Feasibility and Growth Potentials. Technical Report*. Alliance for System Safety of UAS through Research Excellence.
- BIRRELL, S. & PAYRE, W. & ZDANOWICZ, K. & HERRIOTTS, P. (2022): Urban air mobility infrastructure design: Using virtual reality to capture user experience within the world's first urban airport. *Applied Ergonomics*, 105, 103843, DOI: [10.1016/j.apergo.2022.103843](https://doi.org/10.1016/j.apergo.2022.103843)
- BOEING (2018): Flight path for the future of mobility. http://www.boeing.com/NeXt/common/docs/Boeing_Future_of_Mobility_White%20Paper.pdf
- BOSSON, C. & LAUDERDALE, T. (2018): *Simulation evaluations of an autonomous urban air mobility network management and separation service*. Aviation Technology, Integration, and Operations Conference. June 25-29, 2018, Atlanta (Georgia), DOI: [10.2514/6.2018-3365](https://doi.org/10.2514/6.2018-3365)
- BRELJE, B. & MARTINS, J. (2019): Electric, hybrid, and turboelectric fixed-wing aircraft: A review of concepts, models, and design approaches. *Progress in Aerospace Sciences*, 104, pp. 1-19, DOI: [10.1016/j.paerosci.2018.06.004](https://doi.org/10.1016/j.paerosci.2018.06.004)
- BRUNELLI, M. & DITTA, C. & POSTORINO, M. (2023): New infrastructures for Urban Air Mobility systems: A systematic review on vertiport location and capacity. *Journal of Air Transport Management*, 112, 102460, DOI: [10.1016/j.jairtraman.2023.102460](https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2023.102460)
- BULANOWSKI, K. & GILLIS, D. & FAKHRAIAN, E. & LIMA, S. & SEMANJSKI, I. (2022): *AURORA—Creating Space for Urban Air Mobility in Our Cities*. 6th Conference on Sustainable Urban Mobility. August 31-September 2, 2022, Skiathos Island (Greece).
- CHANIOTAKIS, E. & EFTHYMIU, D. & ANTONIOU, C. (2020): Data aspects of the evaluation of demand for emerging transportation systems. *Demand for Emerging Transportation Systems*, pp. 77-99, DOI: [10.1016/B978-0-12-815018-4.00005-X](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815018-4.00005-X)
- COHEN, M. (1996): The Vertiport as an Urban Design Problem. *SAE Technical Paper 965523*. DOI: [10.4271/965523](https://doi.org/10.4271/965523)
- COHEN, A. & GUAN, J. & BEAMER, M. & DITTOE, R. & MOKHTARIMOUSAVI, S. (2020): Reimagining the Future of Transportation with Personal Flight: Preparing and Planning for Urban Air Mobility. *Proceeding of 99th Annual Meeting Transportation Research Board*. DOI: [10.7922/G2TT4P6H](https://doi.org/10.7922/G2TT4P6H)
- COHEN, A. & SHAHEEN, S. (2021): Urban Air Mobility: Opportunities and Obstacles. *Working Paper*. Transportation Sustainability Research Center, University of California (Berkeley).
- COHEN, A. & SHAHEEN, S. & FARRAR, E. (2021): Urban Air Mobility: History, Ecosystem, Market Potential, and Challenges. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 22(9), pp. 6074-6087, DOI: [10.1109/TITS.2021.3082767](https://doi.org/10.1109/TITS.2021.3082767)
- COKORILLO, O. (2020): Urban Air Mobility: Safety Challenges. *Transportation Research Procedia*, 45, 21–29.
- CORUS-XUAM (2023): CORUS-XUAM Project. <https://corus-xuam.eu/>
- COTTON, W. & WING, D. (2018): *Airborne trajectory management for urban air mobility*. Aviation Technology, Integration, and Operations Conference. June 25-29, 2018, Atlanta (Georgia), DOI: [10.2514/6.2018-3674](https://doi.org/10.2514/6.2018-3674)
- DASKILEWICZ, M. & GERMAN, B. & WARREN, M. & GARROW, L. & BODDUPALLI, S. & DOUTHAT, T. (2018): *Progress in Vertiport Placement and Estimating Aircraft Range Requirements for eVTOL Daily Commuting*. 2018 Aviation Technology, Integration, and Operations Conference. June 25-29, 2018, Atlanta, Georgia. DOI: [10.2514/6.2018-2884](https://doi.org/10.2514/6.2018-2884)
- DÍAZ OLARIAGA, O. (2018). Análisis de mitigación de ruido aeroportuario. El caso del Aeropuerto Internacional de Bogotá-El Dorado (Colombia). *Ciudad y Territorio Estudios Territoriales*, 50(197), 557–576. <https://recyt.fecyt.es/index.php/CyTET/article/view/76682/46998>
- DI VITO, V. (2023): Operational Concepts for Urban Air Mobility deployment in the next decades. *Journal of Physics: Conference Series*, 2526, 012098. DOI: [10.1088/1742-6596/2526/1/012098](https://doi.org/10.1088/1742-6596/2526/1/012098)
- EASA (2021): *Study on the societal acceptance of Urban Air Mobility in Europe*. Cologne, Germany: European Union Aviation Safety Agency.
- EASA (2022): *Vertiports*. Cologne, Germany, European Union Aviation Safety Agency.
- EISELDT, H. (2020): Sustainable urban air mobility supported with participatory noise sensing. *Sustainability*, 12(8), 3320, DOI: [10.3390/su12083320](https://doi.org/10.3390/su12083320)
- EUROPEAN COMMISSION (2019): CORUS (Concept of Operation for European UTM Systems) Project. <https://cordis.europa.eu/project/id/763551>
- EUROPEAN COMMISSION (2023): Towards sustainable urban air mobility. Horizon 2020 Programme. https://cordis.europa.eu/programme/id/H2020_MG-3-6-2020
- FAA (2022): *Memorandum. Vertiport Design*. Washington DC, USA, Federal Aviation Administration, U.S. Department of Transportation.
- FAA (2023): *Urban Air Mobility (UAM): Concept of Operations*. Washington DC, USA, Federal Aviation Administration, U.S. Department of Transportation.
- FADHIL, D. (2018): *A GIS-based analysis for selecting ground infrastructure locations for urban air mobility*. Master Thesis. Technical University of Munich.
- FREDERICKS, W. & SRIPAD, S. & BOWER, G. & VISWANATHAN, V. (2018): Performance metrics required of next-generation batteries to electrify vertical takeoff and landing (VTOL) aircraft. *ACS Energy Letters*, 3(12), pp. 2989-2994, DOI: [10.1021/acsenerylett.8b02195](https://doi.org/10.1021/acsenerylett.8b02195)
- FU, M. & ROTHFELD, R. & ANTONIOU, C. (2019): Exploring preferences for transportation modes in an Urban Air Mobility environment: Munich case study. *Transportation Research Record*. DOI: [10.1177/0361198119843858](https://doi.org/10.1177/0361198119843858)
- GARROW, L. & GERMAN, B. & LEONARD, C. (2021): Urban air mobility: A comprehensive review and

- comparative analysis with autonomous and electric ground transportation for informing future research. *Transportation Research Part C*, 132, 103377, DOI: [10.1016/j.trc.2021.103377](https://doi.org/10.1016/j.trc.2021.103377)
- GENG, B. & BAO, H. & LIANG, Y. (2015): A study of the effect of a high-speed rail station on spatial variations in housing price based on the hedonic model. *Habitat International*, 49, pp. 333-339. DOI: [10.1016/j.habitatint.2015.06.005](https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2015.06.005)
- GERMAN, B. & DASKILEWICZ, M. & HAMILTON, T. & WARREN, M. (2018): *Cargo Delivery in by Passenger eVTOL Aircraft: A Case Study in the San Francisco Bay Area*. 2018 AIAA Aerospace Sciences Meeting. DOI: [10.2514/6.2018-2006](https://doi.org/10.2514/6.2018-2006)
- GILLIS, D. & PETRI, M. & PRATELLI, A. & SEMANJSKI, I. & SEMANJSKI, S. (2021): *Urban Air Mobility: A State of Art Analysis*. Computational Science and Its Applications. 21st International Conference. September 13–16, 2021, Cagliari (Italy).
- GRAYDON, M. & NEOGI, N. & WASSON, K. (2020): Guidance for Designing Safety into Urban Air Mobility: Hazard Analysis Techniques. AIAA Scitech 2020 Forum. 6-10 January 2020, Orlando (FL), DOI: [10.2514/6.2020-2099](https://doi.org/10.2514/6.2020-2099)
- GRONAU, W. & KAGERMEIER, A. (2007): Key factors for successful leisure and tourism public transport provision. *Journal of Transport Geography*, 15(2), pp. 127-135. DOI: [10.1016/j.jtrangeo.2006.12.008](https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2006.12.008)
- HELSINKI (2023): Study on the Future of Helsinki's Urban Air Mobility. *White Paper*. <https://mobilitylab.hel.fi/app/uploads/2023/05/2023-05-08-Helsinki-UAM-Report-final.pdf>
- IFAR (2023): *Scientific Assessment for Urban Air Mobility (UAM)*. Montreal, Canada, International Forum for Aviation Research (IFAR).
- KRYLOVA, M. (2022): *Urban planning requirements for the new air mobility (UAM) infrastructure integration*. Master Thesis. Frankfurt University of Applied Sciences, Germany.
- LILIUM (2020). Designing a scalable vertiport. Gauting, Germany, Liliium GmbH, <https://liliium.com/news-room-detail/designing-a-scalable-vertiport>
- LIM, E. & HWANG, H. (2019): The selection of vertiport location for on-demand mobility and its application to Seoul metro area. *International Journal of Aeronautical and Space Sciences*, DOI: [10.1007/s42405-018-0117-0](https://doi.org/10.1007/s42405-018-0117-0)
- LITMAN, T. & STEELE, R. (2023): *Land Use Impacts on Transport*. Victoria, Canada, Victoria Transport Policy Institute.
- LONG, Q. & MA, J. & JIANG, F. & WEBSTER, C. (2023): Demand analysis in urban air mobility: A literature review. *Journal of Air Transport Management*, 112, 102436, DOI: [10.1016/j.jairtraman.2023.102436](https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2023.102436)
- MARMOLEJO DUARTE, C. & ROMANO CÓRDOBA, J. (2009). La valoración económica social del ruido aeroportuario: un análisis para el entorno residencial del Aeropuerto de Barcelona. *Ciudad y Territorio Estudios Territoriales*, 41(159), 65–86. <https://recyt.fecyt.es/index.php/CyTET/article/view/75907/46314>
- MAVRAJ, G. (2022): Systematic review of ground-based infrastructure for the innovative urban air mobility. *Transactions on Aerospace Research*, 269(4), pp. 1-17 DOI: [10.2478/tar-2022-0019](https://doi.org/10.2478/tar-2022-0019)
- MINETA (2023): *Land Use Analysis on Vertiports Based on a Case Study of the San Francisco Bay Area*. San José, USA, Mineta Transportation Institute.
- MITRE (2018): *Urban air mobility landscape report*. Bedford, USA, MITRE.
- MUELLER, E. & KOPARDEKAR, P. & GOODRICH, K. (2017): *Enabling Airspace Integration for High-Density Mobility Operations*. 17th AIAA Aviation Technology, Integration, and Operations Conference. 5-9 June 2017, Denver (Colorado), DOI: [10.2514/6.2017-3086](https://doi.org/10.2514/6.2017-3086)
- National Aeronautics and Space Administration, NASA (2018): *Urban Air Mobility Market Study*. Washington DC, USA, National Aeronautics and Space Administration. <https://ntrs.nasa.gov/citations/20190000519>
- National Aeronautics and Space Administration, NASA (2021): Advanced Air Mobility Project. <https://www.nasa.gov/aeroresearch/programs/iasp/aam/description/>
- National Aeronautics and Space Administration, NASA (2024): NASA Urban Air Mobility (UAM) Reference Vehicles. Washington DC, USA, National Aeronautics and Space Administration. <https://sacd.larc.nasa.gov/uam-refs/>
- NNEJI, V. & STIMPSON, A. & CUMMINGS, M. & GOODRICH, K. (2017): *Exploring concepts of operations for on-demand passenger air transportation*. 17th AIAA Aviation Technology, Integration, and Operations Conference. 5-9 June 2017, Denver (Colorado), DOI: [10.2514/6.2017-3085](https://doi.org/10.2514/6.2017-3085)
- ONU (2023): Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas. <https://www.un.org/en/desa/around-25-billion-more-people-will-be-living-cities-2050-projects-new-un-report>
- OTTE, T. & METZNER, N. & LIPP, J. & SCHWIENHORST, M. & SOLVAY, A. & MEISEN, T. (2018): *User-centered integration of automated air mobility into urban transportation networks*. IEEE/AIAA Digital Avionics Systems Conference. DOI: [10.1109/DASC.2018.8569820](https://doi.org/10.1109/DASC.2018.8569820)
- PERPERIDOU, D. & KIRGIAFINIS, D. (2022): *Urban Air Mobility (UAM) Integration to Urban Planning*. 6th Conference on Sustainable Urban Mobility. August 31–September 2, 2022, Skiathos Island (Greece).
- PLOETNER, K. (2020): Long-term application potential of urban air mobility complementing public transport: an upper Bavaria example. *CEAS Aeronautical Journal*, 11(4), pp. 991–1007. DOI: [10.1007/s13272-020-00468-5](https://doi.org/10.1007/s13272-020-00468-5)
- POLACZYK, N. & TROMBINO, E. & WEI, P. & MITICI, M. (2019): *A review of current technology and research in urban on-demand air mobility applications*. 8th Biennial Autonomous VTOL Technical Meeting and 6th Annual Electric VTOL Symposium. Jan. 28-Feb. 1, 2019, Mesa (USA).
- POINS PRATS, J. & ZIVOJINOVIC, T. & KULJANIN, J. (2022): On the understanding of the current status of urban air mobility development and its future prospects: Commuting in a flying vehicle as a new paradigm. *Transportation Research Part E*, 166, 102868, DOI: [10.1016/j.tr.2022.102868](https://doi.org/10.1016/j.tr.2022.102868)

- PORSCH CONSULTING (2021): *The economics of vertical mobility*. Stuttgart, Germany, Porsche Consulting.
- PREIS, L. (2021): *Quick Sizing, Throughput Estimating and Layout Planning for VTOL Aerodromes – A Methodology for Vertiport Design*. AIAA Aviation Forum. August 2-6, 2021. DOI: [10.2514/6.2021-2372](https://doi.org/10.2514/6.2021-2372)
- PUKHOVA, A. & LLORCA, C. & MORENO, A. & STAVES, C. & ZHANG, Q. & MOECKEL, R. (2021): Flying taxis revived: Can Urban air mobility reduce road congestion? *Journal of Urban Mobility*, 1, 100002, <https://doi.org/10.1016/j.urbmob.2021.100002>
- RAJENDRAN, S. & ZACK, J. (2019): Insights on strategic air taxi network infrastructure locations using an iterative constrained clustering approach. *Transportation Research Part E*, 128, pp. 470–505. DOI: [10.1016/j.tre.2019.06.003](https://doi.org/10.1016/j.tre.2019.06.003)
- RATH, S. & CHOW, J. (2022): Air taxi skyport location problem with single-allocation choice-constrained elastic demand for airport access. *Journal of Air Transport Management*, 105, 102294. DOI: [10.1016/j.jairtraman.2022.102294](https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2022.102294)
- RAUTRAY, P. & MATHEW, D. & EISENBART, B. & KUYIS, J. (2022): Understanding Working Scenarios of Urban Air Mobility. *International Design Conference - Design 2022*. DOI: [10.1017/pds.2022.58](https://doi.org/10.1017/pds.2022.58)
- SCHWEIGER, K. & PREIS, L. (2022): Urban Air Mobility: systematic review of scientific publications and regulations for vertiport design and operations. *Drones*, 6, 179, DOI: [10.3390/drones6070179](https://doi.org/10.3390/drones6070179)
- SCHWEIGER, K. & KNABE, F. & KORN, B. (2022): An exemplary definition of a vertidrome's airside concept of operations. *Aerospace Science and Technology*, 125, 107144, DOI: [10.1016/j.ast.2021.107144](https://doi.org/10.1016/j.ast.2021.107144)
- SMIRNOV, A. & SMOLOKUROV, E. & BOLSHAKOV, R. & PARSHIN, V. (2023): Problems and prospects for the development of urban air mobility on the basis of unmanned transport systems. *Transportation Research Procedia*, 68, pp. 151-159.
- STRAUBINGER, A. (2019): Policies addressing possible urban air mobility market distortions – a first discussion. *Transportation Research Procedia*, 41, pp. 64-66.
- STRAUBINGER, A. & ROTHFELD, R. (2018): Identification of relevant aspects for personal air transport system integration in urban mobility modelling. *Proceedings of 7th Transport Research Arena TRA*, 212, pp. 1-10, DOI: [10.5281/zenodo.1446077](https://doi.org/10.5281/zenodo.1446077)
- STRAUBINGER, A. & ROTHFELD, R. & SHAMIYEH, M. & BÜCHTER, K. & KAISER, J. & PLÖTNER, K. (2020): An overview of current research and developments in urban air mobility—setting the scene for UAM introduction. *Journal of Air Transport Management*, 87, 101852, DOI: [10.1016/j.jairtraman.2020.101852](https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2020.101852)
- STRAUBINGER, A. & MICHELMANN, J. & BIEHLE, T. (2021): Business model options for passenger urban air mobility. *CEAS Aeronautical Journal*, 12, pp. 361-380, DOI: [10.1007/s13272-021-00514-w](https://doi.org/10.1007/s13272-021-00514-w)
- SYED, N. (2017): *Preliminary Considerations for ODM Air Traffic Management based on Analysis of Commuter Passenger Demand and Travel Patterns for the Silicon Valley Region of California*. 17th AIAA Aviation Technology, Integration, and Operations Conference. DOI: [10.2514/6.2017-3082](https://doi.org/10.2514/6.2017-3082)
- TAKACS, A. & HAIDEGGER, T. (2022): Infrastructural requirements and regulatory challenges of a sustainable Urban Air Mobility ecosystem. *Buildings*, 12, 747, DOI: [10.3390/buildings12060747](https://doi.org/10.3390/buildings12060747)
- TAYLOR, M. & SALDANLI, A. & PARK, A. (2020): *Design of a vertiport design tool*. 2020 Integrated Communications Navigation and Surveillance Conference (ICNS). DOI: [10.1109/ICNS50378.2020.9222989](https://doi.org/10.1109/ICNS50378.2020.9222989)
- THIPPHAVONG, D. (2018): *Urban Air Mobility Airspace Integration Concepts and Considerations*. Aviation Technology, Integration, and Operations Conference. June 25-29, 2018, Atlanta (Georgia), USA.
- TORENS, C. (2021): *HorizonUAM: Safety and Security Considerations for Urban Air Mobility*. AIAA Aviation Forum. August 2-6, 2021, DOI: [10.2514/6.2021-3199](https://doi.org/10.2514/6.2021-3199)
- U-ELCOME (2023): U-Elcome Project. <https://u-elcome.eu/>
- UBER ELEVATE (2016): Fast-forwarding to a future of on-demand urban air transportation. <https://evtol.news/media/PDFs/UberElevateWhitePaperOct2016.pdf>
- UIC2-UAM (2021): *Urban Air Mobility and Sustainable Urban Mobility Planning – Practitioner Briefing*. Brussels, Belgium, European Commission.
- VASCIK, P. & HANSMAN, R. (2017): *Evaluation of key operational constraints affecting on-demand mobility for aviation in the Los Angeles basin: ground infrastructure, air traffic control and noise*. 17th AIAA Aviation Technology, Integration, and Operations Conference. 5-9 June 2017, Denver (Colorado), DOI: [10.2514/6.2017-3084](https://doi.org/10.2514/6.2017-3084)
- VASCIK, P. & HANSMAN, R. (2019): *Development of vertiport capacity envelopes and analysis of their sensitivity to topological and operational factors*. AIAA Scitech 2019 Forum. 7-11 January 2019, San Diego (California), DOI: [10.2514/6.2019-0526](https://doi.org/10.2514/6.2019-0526)
- VATTAPPARAMBAN, E. & GÜVENC, I. & YUREKLI, A. & AKKAYA, K. & ULUAGAC, S. (2016): *Drones for smart cities: Issues in cybersecurity, privacy, and public safety*. 2016 International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC). DOI: [10.1109/IWCMC.2016.7577060](https://doi.org/10.1109/IWCMC.2016.7577060)
- WANG, R. & YE, L. & CHEN, L. (2019): The impact of high-speed rail on housing prices: Evidence from China's prefecture-level cities. *Sustainability*, 11(13), 3681, DOI: [10.3390/su11133681](https://doi.org/10.3390/su11133681)
- WANG, L. & DENG, X. & GUI, J. & JIANG, P. & ZENG, F. & WAN, S. (2023): A review of Urban Air Mobility-enabled intelligent transportation systems: mechanisms, applications and challenges. *Journal of Systems Architecture*, 141, 102902, DOI: [10.1016/j.sysarc.2023.102902](https://doi.org/10.1016/j.sysarc.2023.102902)
- WILLEY, L. & SALMON, J. (2021): A method for urban air mobility network design using hub location and subgraph isomorphism. *Transportation Research Part C*, 125, 102997, DOI: [10.1016/j.trc.2021.102997](https://doi.org/10.1016/j.trc.2021.102997)
- YEDAVALLI, P. & MOOBERRY, J. (2019): An Assessment of Public Perception of Urban Air Mobility (UAM). Airbus UTM. <https://www.airbus.com/sites/g/files/>

jcbta136/files/2022-07/Airbus-UTM-public-perception-study%20-urban-air-mobility.pdf

ZEISER, H. (2019): *Security aspects of Urban Air Mobility. Are we prepared?* Civitas Forum 2019. 2-4 October 2019, Graz (Austria).

7. Listado de Acrónimos/Siglas

AAM	<i>Advanced Air Mobility</i>	ASSURE	<i>Alliance for System Safety of UAS through Research Excellence</i>
ASD	<i>The Aerospace, Security and Defence Industries Association of Europe</i>	BRT	<i>Bus Rapid Transit</i>
		EASA	<i>European Union Aviation Safety Agency</i>
		eVTOL	<i>Electric Vertical Take-Off and Landing</i>
		FAA	<i>Federal Aviation Administration, U.S</i>
		IFAR	<i>International Forum for Aviation Research</i>
		MRO	<i>Maintenance, Repair & Overhaul</i>
		NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
		UAM	<i>Urban Air Mobility- Movilidad Aérea Urbana</i>
		VTOL	<i>Vertical Take-Off and Landing</i>