

Estrategias de **PLANIFICACIÓN URBANA DE TECNOLOGÍA EMERGENTE EN MOVILIDAD**

*Urban planning strategies for emerging technology
in mobility*

OSCAR DÍAZ-OLARIAGA*

Fecha de recibido:
7 Agosto 2024
Fecha de aceptado:
4 Junio 2025

****Universidad
Santo Tomás,
Colombia**

oscardiazolariaga@
usta.edu.co

RESUMEN. Entre el final de la presente década e inicio de la siguiente, se prevé la entrada en operaciones del sistema de transporte emergente denominado Movilidad Aérea Urbana (UAM, por sus siglas en inglés) en algunas grandes ciudades del mundo. Vehículos aéreos, eléctricos y de despegue/aterrizaje vertical, proporcionarán transporte a demanda tanto a personas como a nivel logístico (en este caso vía drones). Este nuevo sistema de transporte conectará destinos a nivel urbano e interurbano. Ahora bien, esto representará un verdadero desafío para los planificadores urbanos en lo que se refiere a la planificación e integración de la UAM en las ciudades, dicha planificación no se limita solo a la ordenación espacial de las infraestructuras físicas de soporte, o de su interrelación con los otros modos de transporte urbano existentes, sino que también debe tener en cuenta el contexto socio-urbano y habitacional, así también las necesidades de las comunidades. Por ello, la presente investigación, que utiliza como metodología el ‘mapeo sistemático’, tiene como objetivo identificar y proponer estrategias de planificación que podrán ser de utilidad a los planificadores urbanos, para que los mismos preparen, implementen y gestionen los escenarios de integración de este nuevo modo de transporte urbano en sus ciudades.

Palabras clave: espacio urbano, infraestructura urbana, movilidad aérea urbana, planificación urbana.

ABSTRACT. Between the end of this decade and the beginning of the next, the emerging transportation system known as Urban Air Mobility (UAM) is expected to become operational in some major cities around the world. Electric, vertical takeoff and landing aircraft will provide on-demand transportation for both passengers and logistics (in this case, via drones). This new transportation system will connect destinations at both urban and interurban levels. However, this will present a significant challenge for urban planners in terms of planning and integrating UAM into cities. Such planning is not limited to the spatial arrangement of the supporting physical infrastructure or its interrelation with other existing modes of urban transport but must also consider the socio-urban and residential context, as well as the needs of the communities. Therefore, this research, which uses ‘systematic mapping’ as its methodology, aims to identify and propose planning strategies that may be useful to urban planners, so that they can prepare, implement and manage the integration scenarios of this new mode of urban transport in their cities.

Key words: urban space, urban infrastructure, urban air mobility, urban planning.



nivel mundial, el sector transporte aporta aproximadamente el 25% de los gases de efecto invernadero que contribuyen al calentamiento del planeta; en 2016, el sector del transporte originó el 36% de las emisiones de gases de efecto invernadero en América Latina y Caribe, donde el transporte por carreteras, a su vez, generó más del 80% de estas emisiones (Martínez, 2018). En el contexto del cambio climático y de políticas globales, como los Objetivos de Desarrollo Sostenible (Naciones Unidas, 2022), diversas ciudades han establecido metas de sostenibilidad que apuntan a la transición de los combustibles fósiles hacia energías renovables libres de carbono en periodos relativamente cortos. En la mayoría de los casos, un elemento central de tales ambiciones es una transformación total del sistema de transporte urbano, basada a menudo en la sustitución de vehículos que funcionan con combustibles fósiles por modos de transporte más sostenibles (Eissfeldt, 2020).

A medida que las ciudades se vuelven cada vez más complejas y dinámicas en entornos urbanos y metropolitanos más amplios, las soluciones, con enfoque de ciudad inteligente, podrían mejorar la capacidad de los gobiernos locales para proporcionar infraestructura y servicios públicos de movilidad que satisfagan las demandas de la comunidad, y la vez que sean ambientalmente sostenibles (UNDP, 2022, Martínez, 2018). Se espera que en 2050 la población mundial alcance los 9.900 millones de los cuales el 68% vivirá en zonas urbanas (PRB, 2023). Bajo este panorama se

prevé, además de la enorme presión a la que se verán sometidos los planificadores urbanos, un agravamiento de la congestión vehicular en las grandes ciudades, lo que causará impactos negativos tanto en el medioambiente como en la salud de los ciudadanos. Por ello, ya se trabaja en un modo emergente de transporte (de pasajeros y/o carga), denominado Movilidad Aérea Urbana, mejor conocido por su acrónimo en inglés UAM (*Urban Air Mobility*), término que se utilizará en adelante como referencia (AIRBUS, 2017). El sistema UAM comprenderá la utilización de vehículos aéreos para realizar trayectos urbanos e interurbanos (Ahn & Hwang, 2022; Pons-Prats *et al.*, 2022; Cohen & Shaheen, 2021).

Se estima que la UAM genere oportunidades relevantes para las comunidades en diversas vertientes; no obstante, su planificación e implementación en las ciudades plantearán verdaderos desafíos. Por lo tanto, la UAM deberá integrarse en la planificación urbana de las ciudades, lo cual demandará un enfoque de planificación holístico (ASD, 2023). Por ello, será de gran importancia conocer y definir los criterios que ayudarán a los planificadores urbanos a formular las estrategias de planificación e integración de la UAM en la ciudad, como así también la gestión de su evolución y desarrollo (Straubinger, 2019; Gillis *et al.*, 2021). En ese orden de ideas, esta investigación tiene como objetivo proponer un conjunto de estrategias a tener en consideración en la futura planificación de la movilidad aérea urbana en la ciudad.

Entonces, el presente artículo tiene la siguiente estructura: en primer lugar, se presenta el marco teórico o conceptual, entendiendo por tal los fundamentos del ecosistema emergente UAM, siempre en el contexto y estrictamente acotado al enfoque de la presente investigación; paso seguido se desarrolla la metodología utilizada (denominada ‘mapeo sistemático’). Posteriormente se desarrolla el núcleo principal del trabajo con la presentación de los resultados, su análisis y discusión, donde se identifican y proponen, a futuro, estrategias de planificación de la UAM en las ciudades (objetivo primario de este estudio). Finalmente, el trabajo se cierra con oportunas conclusiones.

Definición de la UAM

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, y de propulsión eléctrica (a baterías), para el transporte de pasajeros y/o mercancías en trayectos urbanos e interurbanos (EASA, 2022; 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 *et al.*, 2022). Los vehículos aéreos que prestarían servicios UAM volarían en espacios aéreos urbanos de baja altitud (100–1.000 metros) (Polaczyk *et al.*, 2019).

Componentes operativos básicos 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, 2017). Los primeros servicios UAM se prevén a corto-medio plazo (4-8 años), por ello, la industria aeronáutica ya viene trabajando desde hace años en el desarrollo de vehículos aéreos para servicios UAM, tipo VTOL o eVTOL (eléctricos de despegue y aterrizaje vertical) (Fredericks *et al.*, 2018).

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). Numerosos estudios han explorado los requisitos de diseño y construcción de vertipuertos (Preis, 2021; Straubinger *et al.*, 2020; Taylor

et al., 2020). Un vertipuerto tiene un número limitado de componentes, además de que prestará servicio a aeronaves eléctricas pequeñas, 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 12000 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 *et al.*, 2022; Lim & Hwang, 2019). La UAM va a requerir una red de vertipuertos con diferentes características y alcances operativos 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 *et al.*, 2022; Takacs & Haidegger, 2022).

Servicios que ofrecería la UAM

Los servicios que ofrecería la UAM, al menos en sus inicios, serían los siguientes (Cohen *et al.*, 2021; Pons-Prats *et al.*, 2022, Gillis *et al.*, 2021, Perperidou & Kirgiasinis, 2022; Straubinger *et al.*, 2021):

- Gestión y respuesta a emergencias (desastres naturales, catástrofes, etc.).
- Servicios logísticos (entrega de bienes/mercancías/paquetería).
- Servicios médicos ('ambulancia aérea', transporte de órganos, etc.).
- Transporte de pasajeros ('taxi aéreo', transporte corporativo, etc.).

Beneficios esperados de la UAM

Las investigaciones identifican varios beneficios que, en principio, aportará la UAM tanto a las ciudades como a los ciudadanos. A continuación, se citan algunos (los más relacionados el presente estudio) (ASD, 2023; Pons-Prats

et al., 2022; Cohen *et al.*, 2021; UIC2-UAM, 2021; Helsinki, 2023; ASSURE, 2022):

Mejora evolutiva de los sistemas de movilidad existentes en las ciudades:

- ✓La UAM ayudará a impulsar la sostenibilidad en las redes de movilidad.
- Carbono neutro:
 - ✓La UAM será cero emisiones; además, la UAM demostrará cero emisiones en la fase de consumo y emisiones minimizadas durante todo su ciclo de vida.
 - ✓La UAM será un contribuyente significativo para cumplir con las políticas verdes (allí donde existan y/o se apliquen).
 - ✓La UAM contribuirá a la ‘transición sostenible’ del transporte urbano.
- Proporcionará una conectividad de transporte inclusiva y socialmente accesible.

Antecedentes de la planificación UAM

Los antecedentes, en el contexto de la planificación de la UAM en las ciudades, se citan a continuación (se mencionan solo aquellos directamente relacionados al enfoque de la presente investigación) (ASD, 2023; Gillis *et al.*, 2021).

Evolución del transporte y de la congestión vial: tras la saturación terrestre causada por los vehículos privados y el transporte público en el siglo XX, la UAM busca mejorar la calidad de vida y reducir tiempos de viaje, especialmente en áreas urbanas.

Innovación aeronáutica en vehículos aéreos: el desarrollo reciente de vehículos aéreos eléctricos de despegue y aterrizaje vertical (eVTOL) permite vuelos más silenciosos y sostenibles, facilitando la integración de la aviación en entornos urbanos.

Infraestructura: un pilar de la planificación será la localización, diseño y construcción de vertipuertos, infraestructura física necesaria para la operación (despegue y aterrizaje) de los vehículos aéreos UAM en las ciudades.

Solución sostenible: los antecedentes en el dinámico crecimiento de las zonas urbanas incluyen la necesidad de reducir la contaminación del aire y mejorar la eficiencia del transporte ante el crecimiento de la población urbana previsto para 2050.

En definitiva, y con base en los antecedentes antes citados, la próxima planificación de la UAM en las ciudades se enfoca en superar retos tecnológicos, regulatorios, organizativos y la aceptación ciudadana para lograr un sistema de transporte seguro, multimodal y ambientalmente sostenible.

METODOLOGÍA

Para este trabajo se empleó la metodología de ‘mapeo sistemático’, un proceso diseñado para identificar, categorizar y analizar la literatura relevante sobre un tema de investigación específico (Barn *et al.*, 2017; James *et al.*, 2016; Taipalus, 2023; Haakonsen *et al.*, 2023). El objetivo es presentar una visión general del campo científico relacionado, en este caso, el de desarrollo y gestión, en perspectiva, de los aspectos más relevantes de la tecnología emergente movilidad aérea urbana. Este mapeo sistemático se desarrolla en tres bloques básicos: (a) definición para la búsqueda, donde se define la pregunta de investigación, el alcance de la revisión, los criterios de inclusión y exclusión, y finalmente la cadena de búsqueda; (b) ejecución de la búsqueda, y (c) análisis y discusión de los resultados.

En lo que se refiere a la definición de la búsqueda, las preguntas de investigación son aquellas relacionadas a los fundamentos del concepto ‘movilidad aérea urbana’, a saber: ¿cuáles son las estrategias de planificación de la UAM en la ciudad? Y ¿bajo qué criterios o estrategias se debería integrar la UAM en la ciudad? En cuanto al alcance de la revisión, se realizó una búsqueda en los siguientes catálogos digitales: ScienceDirect, IEEE Xplore, Taylor & Francis, Springer, Wiley, SAGE y JSTOR. Para la búsqueda se utilizaron varios descriptores (palabras clave) asociados al elemento núcleo, Movilidad Aérea Urbana.

El periodo temporal de búsqueda es 2014-2025, aunque la mayoría de las publicaciones encontradas y seleccionadas son muy recientes, debido que este modo de transporte urbano es aún emergente.

Para filtrar los estudios se aplicaron los siguientes criterios de inclusión/exclusión:

(a) se incluyeron todas aquellas publicaciones científicas que solo tengan relación con el campo de estudio (o de investigación) ‘Movilidad Aérea Urbana’; (b) se incluyeron estudios editados en idioma inglés y español; (c) se incluyeron todos los estudios que proponen lineamientos y metodologías para la gestión de alguno (o de todos) de los elementos básicos de la UAM; (d) se incluyeron casos de estudios, siempre y cuando aportaran un marco conceptual relacionado y con resultados concretos, medibles y comparables; (e) se incluyeron informes y/o estudios técnicos con base científica sólida; (j) se incluyó ‘literatura gris’ siempre y cuando presentara un fundamento teórico sólido, riguroso y formal. (e) se excluyeron artículos sin diseño de investigación y sin una pregunta de investigación bien definida; (f) se excluyeron revisiones terciarias. Finalmente, en cuanto al conducta de la búsqueda, se aplicaron dos filtros de revisión: (a) primer filtro de revisión: título del artículo y resumen; (b) segundo filtro de revisión: texto completo del artículo.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Desafíos en la implementación de la UAM

Antes de presentar las estrategias de planificación de la UAM por parte de los planificadores urbanos, procede mencionar y analizar algunas posibles barreras y desafíos para el despliegue y adopción de UAM en las ciudades, los cuales de presentan a continuación (Reiche *et al.*, 2018; Cohen *et al.*, 2021; Cohen & Shaheen, 2021; Shaheen *et al.*, 2018).

Movilidad de pasajeros y asequibilidad y equidad social: en la actualidad, existe la preocupación de que la UAM no sea una opción de transporte asequible para los ciudadanos de ingresos bajos y medios, y que solo los perfiles de ingresos altos puedan utilizar la UAM para evitar la congestión. La electrificación y automatización de la UAM podría reducir costos; sin embargo, persiste la incertidumbre sobre si la UAM podrá lograr asequibilidad en el mercado masivo. Además, resulta fundamental que la UAM sea accesible para personas con discapacidad y otros usuarios con necesidades especiales. En cuanto a la asequibilidad, existen preocupacio-

nes similares vinculadas a casos de uso crítico, como el transporte médico de emergencia; cuya viabilidad dependerá directamente del modelo del sistema de salud (público o privado) de cada país.

Estética y contaminación visual: un gran número de vehículos aéreos volando a baja altitud en áreas residenciales podría crear perturbaciones visuales no deseadas.

Contaminación acústica: es un problema potencial que podría surgir con múltiples vehículos aéreos de baja altitud en áreas urbanas. En el futuro, el uso de vehículos aéreos convencionales para los primeros servicios de movilidad de pasajeros de la UAM podría aumentar las preocupaciones de la comunidad sobre el ruido y limitar la adopción, particularmente para casos de uso no esenciales. Es posible que la UAM deba cumplir con un estándar de ruido más estricto debido a que múltiples tipos de vehículos aéreos (tripulados y no tripulados) que operarán en áreas urbanas superpobladas a baja altitud.

Aumento de la actividad aérea sobre zonas residenciales: las comunidades residenciales pueden estar preocupadas por los vehículos aéreos, que volarán a baja altitud, que sobrevuelan casas y jardines debido, principalmente, a temas de seguridad física (es decir, tanto para personas como para bienes inmuebles), privacidad y ruido.

Criterios de sostenibilidad en las estrategias de planificación de la UAM

Con respecto a la larga tradición de investigación sobre transporte, la movilidad sostenible es un concepto relativamente reciente. Una de las iniciativas a nivel institucional que marcó un antes y un después en esta materia fue el Libro Verde de 1992 de la Comisión Europea, titulado *Strategy for Sustainable Mobility: Green Paper on the Impact of Transport on the Environment* (European Commission, 1992). El documento reconocía una relación cada vez más problemática entre los efectos positivos del transporte sobre el bienestar económico y sus impactos ambientales negativos. A partir de ahí, los focos de investigación y políticas, los enfoques metodológicos y las preguntas de investigación han sufrido cambios sustanciales

(Holden *et al.*, 2019). Las observaciones actuales sobre el impacto del transporte en la economía y la sociedad, así como su interrelación, han derivado en perspectivas más integradas e interdisciplinarias.

Para describir esta complejidad e ilustrar compensaciones o sinergias en el contexto de la planificación urbana, un gran número de autores se refieren a la tríada de pilares ecológicos, económicos y sociales de la movilidad sostenible (Biehle, 2022; Litman, 2007). Mientras que el pilar económico enfatiza el papel de la movilidad para garantizar una producción y un desarrollo eficientes en el uso de los recursos, la ambición de una movilidad ambientalmente sostenible contribuye a la preservación del clima, la conservación de los recursos no renovables, la protección de la biodiversidad y la reducción de la contaminación del aire, agua y suelo. El pilar social garantiza que la movilidad contribuya a la cohesión comunitaria al apoyar la equidad, la participación, la salud y la seguridad en la sociedad (Bebber *et al.*, 2021). Por lo tanto, los sistemas de movilidad socialmente sostenibles garantizarían que todos puedan satisfacer sus necesidades de transporte para participar en la vida social y económica en igualdad de condiciones (Jeekel, 2017).

La integración de la UAM no se limita solo a la ordenación espacial de las infraestructuras físicas de soporte, ni tampoco solo a las proyecciones (de demanda) del mercado, sino que también debe incluir y tener en cuenta el contexto urbano y las necesidades locales. Se espera que las sinergias más amplias y la complementariedad que la UAM aporta al tejido de movilidad metropolitana existente mejoren la eficiencia y eficacia del sistema de movilidad general de la ciudad (UIC2-UAM, 2021).

Formulación de estrategias para la planificación y gestión de la UAM

En primer lugar, los planificadores urbanos deberán realizar un conjunto de actividades, relacionados con la futura operatividad de la UAM, a saber (ASD, 2023; Helsinki, 2023; Krylova, 2022; IFAR, 2023):

- estudiar los impactos ambientales de la implementación de la UAM y las políticas para apoyar la sostenibilidad;

- investigar los impactos de la UAM en la seguridad y la salud;
- identificar las necesidades de datos, incluidas métricas de datos, formatos de datos y estándares para compartir;
- modelar los impactos potenciales del tráfico y el uso del suelo de la UAM en la comunidad;
- comprender y evaluar la percepción pública de este modo de transporte emergente;
- identificar las mejores prácticas para la integración multimodal y el diseño de vertipuertos;
- estudiar la equidad social y los impactos económicos de la UAM en las comunidades (por ejemplo, oportunidades de mayor empleo, reducción del tráfico de vehículos terrestres, accesibilidad de la UAM por parte de comunidades desfavorecidas y usuarios con necesidades especiales).

El siguiente paso consiste en diseñar estrategias que mitiguen las preocupaciones comunitarias ante el inicio de operaciones de la UAM, con el fin de fomentar su aceptación gradual. A continuación, se presentan algunas estrategias en función de las probables preocupaciones de la ciudadanía frente a la UAM (ASD, 2023; Gillis *et al.*, 2021):

- Ruido, contaminación visual y privacidad:
 - ✓ Simulaciones visuales de operaciones de la UAM para comunidades.
 - ✓ Operaciones de vuelo a mayores altitudes.
 - ✓ Desviaciones de la trayectoria de vuelo para evitar áreas sensibles.
 - ✓ Restricciones de vuelo durante el día.
 - ✓ Rutas de vuelo sobre corredores de transporte existentes (es decir, carreteras, autopistas, rutas fluviales y rutas aéreas).
 - ✓ Incorporar las posibles preocupaciones de la comunidad en la planificación del vertipuerto (ubicación, acceso al suelo, caminos de acceso, etc.).
 - ✓ Imitar la densidad de vehículos aéreos o sus vuelos.

- ✓ Restringir el uso de equipos fotográficos y videográficos en las aeronaves.
- ✓ Restringir las rutas aéreas, tanto de naves tripuladas como no tripuladas, sobre ciertas zonas residenciales y otras zonas sensibles de la ciudad.
- Equidad social:
 - ✓ Considerar el acceso de personas discapacitadas como parte de todos los procesos de planificación e implementación.
 - ✓ Ampliar el acceso a través de modelos de precios especiales al servicio UAM, subsidios y otros programas que amplíen el acceso a personas de bajos ingresos y comunidades marginadas.
- Seguridad:
 - ✓ Generar confianza pública a través de programas de demostración y evaluaciones independientes.
 - ✓ Pedagogía y divulgación sobre certificación, aeronavegabilidad y otros procesos regulatorios destinados a proteger la seguridad pública.
- Retrasos en el tráfico de la UAM vinculados a las condiciones climáticas, la congestión del espacio aéreo y la planificación operacional en los vertipuertos.
- Uso total de energía por UAM por pasajero-km y tonelada-km.
- La satisfacción percibida de utilizar la UAM.
- Generación estadística sobre accidentes de vehículos de la UAM dentro del casco urbano.
- El riesgo de delincuencia y la seguridad de los pasajeros en la UAM, incluida una evaluación del potencial de que los delitos cibernéticos y la seguridad afecten a la UAM.

Desarrollo de indicadores

En la literatura actual, faltan estudios e investigaciones sobre indicadores de movilidad de la UAM (que sirvan como una herramienta útil para que las ciudades y áreas urbanas identifiquen las fortalezas y debilidades del sistema de movilidad, en este caso de la UAM, y se centren en áreas de mejora). En este contexto, resulta crucial cuantificar los impactos mediante un conjunto de indicadores que también sean KPI (indicadores clave de desempeño) apropiados para evaluar la implementación y el desarrollo de la UAM (Al Haddad *et al.*, 2020; UIC2-UAM, 2021). Por lo tanto, el presente estudio propone los siguientes indicadores:

- Indicador de asequibilidad a la UAM para los grupos poblacionales más pobres.
- La accesibilidad de la UAM para grupos vulnerables, incluidos aquellos con discapacidades visuales y auditivas, y aquellos con restricciones físicas.
- Emisiones generadas por la UAM (incluidos todos los componentes del sistema).
- Número de personas afectadas por la contaminación acústica.

Ejes de contraste de la planificación e integración de la UAM en las ciudades

Aunque la UAM es emergente, es decir, a la fecha no existen servicios comerciales operativos (en transporte de pasajeros) en ninguna ciudad del mundo, y por lo tanto no se dispone de experiencias reales, es posible formular ciertos ejes de contraste en la futura planificación e integración de la UAM en las ciudades, los cuales se citan a continuación (solo aquellos que se ajustan al enfoque del presente estudio).

Infraestructura: modelo centralizado vs. descentralizado. El modelo centralizado propone pocos ‘vertipuertos’ masivos en puntos clave de la ciudad; en cuanto al flujo de tráfico sugiere alta densidad en corredores específicos (fácil de controlar); en lo que se refiere al impacto urbano requiere grandes modificaciones arquitectónicas. Mientras el modelo descentralizado propone cientos de vertipuertos en azoteas de edificios altos, parkings y plazas; el flujo de tráfico sería disperso y complejo (ello requeriría una gestión de tráfico aéreo automatizada); sería necesaria una integración orgánica en el mobiliario urbano existente (Birrell *et al.*, 2022).

Integración social: ¿servicio VIP o transporte público? Uno de los contrastes más fuertes reside en la accesibilidad económica y la percepción social: (a) bajo el enfoque de lujo y eficiencia la UAM se despliega como un servicio exclusivo para ejecutivos y emergencias (p. ej. ambulancia aérea). El contraste aquí es la optimización del tiempo para sectores

de alta productividad a costa de una posible segregación para el resto de la población. (b) bajo el enfoque de equidad espacial la UAM se integra como una extensión del metro o autobús. Aquí el contraste es la democratización del cielo urbano, donde el beneficio es colectivo (reducción del tráfico en tierra para todos), aunque el reto técnico y de costes es mucho mayor (Al Haddad *et al.*, 2020).

Sostenibilidad: ruido vs. emisiones. El contraste ambiental representa una de las mayores tensiones en el diseño de las estrategias para la integración de la UAM en las ciudades: (a) ganancia en emisiones: al ser eléctricos los vehículos aéreos, se elimina la huella de carbono directa en comparación con los coches de combustión interna; (b) la (nueva) contaminación acústica: es el contraste negativo de la UAM con la introducción de ruido constante en niveles de altura donde antes no existía, y muy especialmente en zonas residenciales (Eissfeldt, 2020).

Seguridad: el contraste de la percepción. (a) seguridad operacional: los estándares de aviación son altísimos, lo que hace que los vehículos aéreos UAM sean teóricamente más seguros que el vehículo particular en carreteras; (b) seguridad percibida: el contraste es psicológico; un accidente de un vehículo aéreo UAM, o incluso de un dron, podría generar un impacto mediático y un temor social mucho mayor que los miles de accidentes automovilísticos que ocurren diariamente (ASSURE, 2022).

CONCLUSIONES

La introducción/integración a gran escala de la UAM en las ciudades debe planificarse con estrategias que contemplen y asuman ciertos criterios multidimensionales, a saber:

- La representación tridimensional de los planes urbanos y las disposiciones / normas / regulaciones / restricciones de planificación urbana: la planificación urbana se encarga del desarrollo espacial de las ciudades o aglomeraciones urbanas y la mejora de las condiciones de vida, y define los procesos de construcción y la distribución espacial de los usos del suelo. Las ciudades y aglomeraciones urbanas no solo se desarrollan horizontalmente sino también verticalmente, y a medida que atraigan a más ciudadanos, intensificando su superpoblación, más complejo y dinámico se volverá su desarrollo vertical. La representación tridimensional de los planes urbanos y las disposiciones / normas / regulaciones / restricciones de planificación urbana es una necesidad emergente para comprender la dinámica del espacio urbano y las perspectivas de desarrollo.
- Desarrollo de la red de infraestructura de soporte de la UAM: siguiendo la organización bidimensional de las infraestructuras de transporte con respecto a la planificación urbana, es necesario definir ubicaciones espaciales específicas dentro de las ciudades o en sus suburbios de la red de estaciones UAM (vertipuertos y vertistops).
- Interrelación del proceso de aterrizaje/despegue de los vehículos aéreos y el entorno urbano: la UAM es un nuevo uso tridimensional del espacio urbano; los procesos de aterrizaje y despegue afectarán y serán afectados por el paisaje urbano y del desarrollo urbano en el entorno de los vertipuertos. Por lo tanto, la planificación de la integración UAM deberá tener en cuenta las operaciones de despegue/aterrizaje para garantizar tanto la seguridad de los vuelos (en rela-

ción infraestructuras urbanas en altura) como la protección de las personas, su privacidad y los bienes inmuebles en el entorno.

- Planes de movilidad sostenible de la UAM: la amplia difusión de la UAM impactará las condiciones de movilidad en el espacio aéreo urbano, así como la movilidad terrestre afecta las condiciones urbanas. Así, los esquemas de desarrollo de la UAM deben incluir el uso sustentable del espacio aéreo urbano con respecto a: (a) la protección de las propiedades privadas y el espacio aéreo privado, especialmente del uso excesivo, (b) la garantía de la seguridad de los pasajeros, (c) la prevención de accidentes, y (d) la protección de espacios públicos comunes (por ejemplo, parques, escuelas, hospitales) contra el uso excesivo de su espacio aéreo. En esta perspectiva, el uso del espacio aéreo público urbano de la red viaria existente podría ser la solución adecuada (en especial en lo que se refiere a mitigar, o más bien restringir geográficamente, la contaminación acústica).

En definitiva, a la fecha se verifica un importante vacío tanto en la literatura científica como en la denominada 'literatura gris' sobre planteamientos y/o propuestas de estrategias de planificación urbana de la UAM, que contribuya y de soporte a los esfuerzos de planificación para determinar cómo y dónde la UAM puede encajar en el desarrollo urbano de las grandes ciudades. Por ello, este trabajo presenta como aporte a la literatura académica sugerencias de ciertas estrategias de planificación, en varias dimensiones o ámbitos (las que se consideran, en principio, las más relevantes según el enfoque del presente trabajo), que podrían ser de utilidad para los planificadores urbanos, para que los mismos puedan preparar los escenarios de implementación, integración y gestión de este nuevo modo de transporte urbano.

El ecosistema UAM es aún emergente (a la fecha no opera comercialmente de forma masiva en ninguna ciudad del mundo), por ello, las propuestas aquí presentadas, aunque conceptualmente válidas, pueden presentar limitaciones, principalmente a nivel operacional.

En consecuencia, habrá que esperar a que los países desarrollen el marco legal, regulatorio y normativo para la UAM y, con base en ellos, reformular las estrategias de planificación e integración de la UAM en las ciudades. Esto invita a dar continuidad a la presente línea de investigación en los próximos años.

FUENTES DE CONSULTA

Ahn, B., & Hwang, H.-Y. (2022). Design Criteria and accommodation capacity analysis of vertiports for urban air Mobility and its application at Gimpo Airport in Korea. *Applied Sciences*, 12(12), 6077. <https://doi.org/10.3390/app12126077>

AIRBUS (2017). *Rethinking Urban Air Mobility*. Toulouse: AIRBUS. Disponible en <https://acortar.link/yhOgpw>, consultado el 22 de julio de 2024.

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, 696-712. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2019.12.020>

ASD (2023). *Urban air mobility and sustainable development*. Brussels: Aerospace, Security and Defence Industries Association of Europe.

Alliance for System Safety of UAS through Research Excellence (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. <https://acortar.link/eLqGus>, consultado el 28 de junio de 2024.

Barn, B., Barat, S., & Clark, T. (2017). Conducting Systematic Literature Reviews and Systematic Mapping Studies. *Proceedings of the 10th Innovations in Software Engineering Conference*. <https://doi.org/10.1145/3021460.3021489>

Bebber, S., Libardi, B., De Atayde Moschen, S., Correa da Silva, M.B., Fachineili, A., & Nogueira, M. (2021). Sustainable Mobility Scale: A Contribution for Sustainability Assessment Systems in Urban Mobility. *Cleaner Engineering and Technology*, (5), 100271. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100271>

Biehle, T. (2022). Social Sustainable Urban Air Mobility in Europe. *Sustainability*, 14(15), 9312. <https://doi.org/10.3390/su14159312>

Birrell, S., 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. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2022.103843>

BOEING (2018). *Flight path for the future of mobility*. BOEING. <https://acortar.link/zcfCpF>, consultado el 21 de junio de 2024.

Cohen, A., Shaheen, S., & Farrar, E. (2021). Urban Air Mobility: History, Ecosystem, Market Potential, and Challenges. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 22(9), 6074-6087. <https://doi.org/10.1109/TITS.2021.3082767>

Cohen, A., & Shaheen, S. (2021). Urban Air Mobility: Opportunities and Obstacles. *Working Paper*. Transportation Sustainability Research Center, University of California.

European Union Aviation Safety Agency (EASA) (2022). *Vertiports*. Cologne: EASA.

Eissfeldt, H. (2020). Sustainable urban air mobility supported with participatory noise sensing. *Sustainability*, 12(8), 3320. <https://doi.org/10.3390/su12083320>

European Commission (1992). *Strategy for Sustainable Mobility: Green Paper on the Impact of Transport on the Environment*. Brussels: European Commission.

Federal Aviation Administration (FAA) (2023). *Urban Air Mobility (UAM). Concept of Operations*. Washington DC: Federal Aviation Administration, U.S. Department of Transportation.

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), 2989-2994. <https://doi.org/10.1021/acsenenergylett.8b02195>

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).

Haakonsen, S., Ronnquist, A., & Labonnote, N. (2023). Fifty years of shape grammars: A systematic mapping of its application in engineering and architecture. *International Journal of Architectural Computing*, 21(1), 5-22. <https://doi.org/10.1177/14780771221089882>

Helsinki (2023). Study on the Future of Helsinki's Urban Air Mobility. *White Paper*. Disponible en <https://mobilitylab.hel.fi/app/uploads/2023/05/2023-05-08-Helsinki-UAM-Report-final.pdf>, consultado el 16 de mayo de 2024.

Holden, E., Gilpin, G., & Banister, D. (2019). Sustainable Mobility at Thirty. *Sustainability*, 11(7), 1965. <https://doi.org/10.3390/su11071965>

International Forum for Aviation Research (IFAR) (2023). *Scientific Assessment for Urban Air Mobility (UAM)*. Montreal: (IFAR).

James, K., & Haddaway, N. (2016). A methodology for systematic mapping in environmental sciences. *Environmental Evidence*. <https://doi.org/10.1186/s13750-016-0059-6>

Jeekel, H. (2017). Social Sustainability and Smart Mobility: Exploring the Relationship. *Transportation Research Procedia*, (25), 4296-4310.

Krylova, M. (2022). *Urban planning requirements for the new air mobility (UAM) infrastructure integration*. Master Thesis. Frankfurt University of Applied Sciences, Germany.

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*. <https://doi.org/10.1007/s42405-018-0117-0>

Litman, T. (2007). Developing Indicators for Comprehensive and Sustainable Transport Planning. *Transportation Research Record*, (1), 10-15. <https://doi.org/10.3141/2017-02>

Martínez, H. (2018). *El desafío del sector transporte en el contexto del cumplimiento de las contribuciones determinadas a nivel nacional de América Latina*. Santiago de Chile: CEPAL.

Naciones Unidas (2022). *The Sustainable Development Goals Report*. New York: United Nations.

National Aeronautics and Space Administration (NASA) (2018). *Urban Air Mobility Market Study*. Washington, DC: NASA. Disponible en <https://ntrs.nasa.gov/citations/20190000519>, consultado el 15 de julio de 2024.

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).

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).

Pons-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. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2022.102868>

Population Reference Bureau (PRB) (2023). PRB's 2020 World Population Data Sheet. Disponible en <https://interactivos.prb.org/2020-wpds/>, consultado el 4 de junio de 2024.

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. <https://doi.org/10.2514/6.2021-2372>

Reiche, C., Goyal, R., Cohen, A., Serrao, J., Kimmel, S., Fernando, C., & Shaheen, S. (2018). *Executive Briefing: Urban Air Mobility Market Study*. Washington D.C.: NASA.

Schweiger, K., Knabe, F., & Korn, B. (2022). An exemplary definition of a vertidrome's airspace concept of operations. *Aerospace Science and Technology*, 125, 107144. <https://doi.org/10.1016/j.ast.2021.107144>

Shaheen, S., Cohen, A., & Farrar, E. (2018). The Potential Societal Barriers of Urban Air Mobility (UAM). In *Urban Air Mobility Market Study*. Washington D.C.: National Aeronautics and Space Administration. Disponible en <https://escholarship.org/uc/item/7p69d2bg>, consultado el 22 de abril de 2024.

Straubinger, A. (2019). Policies addressing possible urban air mobility market distortions – a first discussion. *Transportation Research Procedia*, (41), 64-66.

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. <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(2), 361-380. <https://doi.org/10.1007/s13272-021-00514-w>

Taipalus, T. (2023). Systematic Mapping Study in Information Systems Research. *Journal of the Midwest Association for Information Systems*, 1, 2. <https://doi.org/10.17705/3jnmw.000079>

Takacs, A., & Haidegger, T. (2022). Infrastructural requirements and regulatory challenges of a sustainable Urban Air Mobility ecosystem. *Buildings*, (12), 747. <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)*. <https://doi.org/10.1109/ICNS50378.2020.9222989>

UIC2-UAM (2021). *Urban Air Mobility and Sustainable Urban Mobility Planning*. Practitioner Briefing. Brussels: European Commission.

United Nations Development Programme (UNDP) (2022). *The Sky's Not The Limit: How Lower-Income Cities Can Leverage Drones*. Singapore: UNDP Global Centre for Technology, Innovation and Sustainable Development. Disponible en <https://acortar.link/h13GXu>, consultado el 28 de abril de 2024.