

# ANÁLISIS DEL ENFOQUE SOCIAL SOSTENIBLE DE LA TECNOLOGÍA EMERGENTE MOVILIDAD AÉREA URBANA

Oscar Díaz Olariaga\*



<https://orcid.org/0000-0002-4858-3677>

RECIBIDO: 03/03/2025 / ACEPTADO: 23/04/2025 / PUBLICADO: 15/05/2025

**Cómo citar:** Díaz Olariaga, O. (2025). Análisis del enfoque social sostenible de la tecnología emergente Movilidad Aérea Urbana. *Telos: Revista de Estudios Interdisciplinarios en Ciencias Sociales*, 27(2), 705-723. [www.doi.org/10.36390/telos272.17](http://www.doi.org/10.36390/telos272.17)

## RESUMEN

La Movilidad Aérea Urbana es una tecnología emergente de transporte aéreo cuya función será el transporte de pasajeros y mercancías, a nivel urbano, interurbano y regional utilizando vehículos aéreos con capacidad de despegue y aterrizaje vertical, mayoritariamente de propulsión eléctrica. Esta tecnología disruptiva no es sólo un elemento del avance de las tecnologías de la aviación, sino un pilar de la futura planificación de la movilidad y el desarrollo urbano. Con este fin, la Movilidad Aérea Urbana puede ocupar un lugar destacado en la formación de estrategias de innovación urbana y transición sostenible en materia de movilidad. El presente artículo, de revisión temática general, que utiliza como metodología la técnica de mapeo sistemático, realiza un análisis del enfoque sostenible del futuro desarrollo de la Movilidad Aérea Urbana en las ciudades, pero donde el concepto de sostenibilidad va mucho más allá lo puramente ambiental, contemplando también la dimensión social del concepto, y teniendo en cuenta todo el ciclo de vida del producto / servicio de dicha tecnología emergente. A nivel de resultados, se destaca que el análisis aquí presentado propone el desarrollo de un marco de sostenibilidad para la Movilidad Aérea Urbana que proporcionaría directrices para apoyar la evaluación de impactos ambientales, sociales y económicos de esta tecnología emergente, donde la Evaluación del Ciclo de Vida tendría un papel clave.

**Palabras clave:** desarrollo sostenible, sociedad y tecnología, movilidad aérea urbana, movilidad sostenible, tecnología emergente

---

\* Profesor Titular, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Santo Tomás, Bogotá, Colombia. Ingeniero Aeronáutico. Doctor Ingeniero Aeronáutico por la Universidad Politécnica de Madrid. Doctor en Ciencias Económicas y Empresariales por la UNED. [oscardiazolariaga@usta.edu.co](mailto:oscardiazolariaga@usta.edu.co)

## *Analysis of the sustainable social approach to emerging Urban Air Mobility technology*

### ABSTRACT

Urban Air Mobility is an emerging air transport technology whose purpose is to transport passengers and freight at urban, interurban, and regional levels using aerial vehicles capable of vertical takeoff and landing, mostly powered by electric propulsion. This disruptive technology is not only an element of the advancement of aviation technologies but also a pillar of future mobility planning and urban development. To this end, Urban Air Mobility can play a prominent role in shaping urban innovation and sustainable mobility transition strategies. This article, a general thematic review that uses systematic mapping as its methodology, analyzes the sustainable approach to the future development of Urban Air Mobility in cities. However, the concept of sustainability goes far beyond the purely environmental, also considering the social dimension of the concept and considering the entire product/service lifecycle of this emerging technology. At the results level, it is highlighted that the analysis presented here proposes the development of a sustainability framework for Urban Air Mobility that would provide guidelines to support the assessment of environmental, social and economic impacts of this emerging technology, where Life Cycle Assessment would play a key role.

**Keywords:** sustainable development, society and technology, urban air mobility, sustainable mobility, emerging technology.

### Introducción

El mundo está cada vez más urbanizado. Se estima que en 2050 la población mundial alcance los 9.900 millones de habitantes de los cuales el 68% vivirá en zonas urbanas (PRB, 2020). El transporte terrestre en las grandes zonas urbanas se ha enfrentado a desafíos durante varios años, de entre los más importantes la congestión vehicular. Por ello, en el contexto del cambio climático y de, por ejemplo, los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas (UN, 2024), muchas ciudades y regiones se han fijado objetivos de sostenibilidad ambiciosos que apuntan, entre otras cosas, a la transición a energías renovables libres de carbono en periodos de tiempo relativamente cortos.

En la mayoría de los casos, un elemento central de tales objetivos es una transformación total del sistema de transporte urbano, a menudo basada en la sustitución de vehículos que funcionan con combustibles fósiles por modos de transporte más sostenibles, pero también mediante mejoras de los servicios públicos, mejores conexiones de transporte y una mejor logística (García et al., 2024; Logan et al., 2022). Esto indica que la planificación de la movilidad urbana es una cuestión multidimensional y multifacética que se está volviendo cada vez más desafiante.

La calidad de vida mejorada de los habitantes de las ciudades incluye servicios de movilidad que contribuyen al bienestar de los ciudadanos de manera sostenible. Un enfoque sostenible en términos de beneficios sociales, ambientales y económicos es el planteado (y perseguido) por muchas ciudades del mundo. Las áreas metropolitanas, independientemente de su tamaño, enfrentan desafíos cada vez más apremiantes, como la expansión urbana, el crecimiento demográfico y la creciente densidad del tráfico, todos ellos relacionados con la

movilidad urbana (Escobar et al., 2021; Bepalyy y Petrenko, 2023). Al mismo tiempo, los ciudadanos exigen aún más a los sistemas de transporte urbano.

En este contexto, la tecnología emergente Movilidad Aérea Urbana es un tema de debate cada vez mayor que va más allá de los límites de los desarrollos tecnológicos en la industria de la aviación, ya que ha atraído la atención de los actores del transporte urbano y las autoridades locales como un medio para contribuir a la movilidad sostenible e integrada a nivel urbano, interurbano y regional. La Movilidad Aérea Urbana (UAM - *Urban Air Mobility*) (por practicidad en adelante se usará el acrónimo en inglés para su referencia) tiene como objetivo transportar pasajeros y mercancías a nivel urbano e interurbano (EASA, 2021; Cohen et al., 2021; Roland-Berger, 2018, 2020; Brelje y Martins, 2019; EASA, 2022; FAA, 2023; NASA, 2018). Una nueva generación de vehículos aéreos tripulados y no tripulados (pilotados en remoto, mejor conocidos como 'drones'), de despegue y aterrizaje vertical o 'VTOL' (*Vertical Take-Off and Landing*) (Polaczyk et al., 2019; BOEING, 2018), y de propulsión eléctrica, promete servicios transformadores para la movilidad de pasajeros y mercancías, así como una variedad de aplicaciones en sectores como la agricultura, la construcción, servicios médicos, gestión de emergencias, entre otros (Goyal et al., 2021; Anand et al., 2021; Fu et al., 2019).

La UAM está más cerca de la realidad urbana y de la planificación de la movilidad urbana de lo que muchas ciudades podrían pensar. La UAM, como se describirá en este documento, no es simplemente otro modo de transporte, sino que requiere un enfoque de planificación holístico que abarque no sólo la integración de la UAM, junto con su infraestructura de apoyo en el terreno, al sistema de transporte, sino también la infraestructura urbana y la habitabilidad general de la ciudad (Biehle, 2022). Los servicios de la UAM no sólo son innovadores porque añaden una nueva modalidad de movilidad a la existente combinación de transporte, sino que también están estrechamente entrelazados e impulsados por campos innovadores como la digitalización, la sostenibilidad, y los sistemas de energía renovable (Tojal y Paletti, 2023). Además, los servicios de la UAM deberán estar impulsados por políticas sólidas y marcos socialmente sostenibles de implementación para mejorar la calidad de vida de los ciudadanos, y el uso ético de las tecnologías (Jin et al., 2024).

El presente artículo de revisión tiene como objetivo realizar el análisis de enfoque sostenible, pero con un fuerte énfasis en la dimensión social, de la Movilidad Aérea Urbana. En el contexto de la sostenibilidad, el planteamiento propuesto para el análisis evalúa los impactos sociales y ambientales de la UAM que va más allá de las emisiones liberadas. Este estudio también proporciona algunas directrices sistemáticas para abordar el desarrollo sostenible de la UAM teniendo en cuenta todo el ciclo de vida del producto/servicio de la UAM. En definitiva, el presente estudio se centra en la sostenibilidad de la UAM al proporcionar un camino sistemático para abordar el desarrollo sostenible de la misma.

## Metodología

Para el presente trabajo de revisión se utilizó una metodología típica en este tipo de investigación denominada 'mapeo sistemático' (Petersen et al., 2008, 2015; Kitchenham y Charters, 2007; Farshchian y Dahl, 2015). 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) presentación y análisis de los resultados, entendiendo por tal el

desarrollo de todos los conceptos, ordenados en bloques temáticos claramente diferenciados, que den respuesta a las preguntas de investigación planteadas.

En lo que se refiere a la definición de la búsqueda, las preguntas de investigación son aquellas que relacionan / vinculan los conceptos UAM y desarrollo social sostenible, en la presente investigación se plantearon las siguientes preguntas de investigación: (1) ¿cuáles son los componentes de la UAM que se estima promoverán la sostenibilidad ambiental y social en las ciudades, y que beneficiará a las comunidades?, (2) ¿cómo debería ser el marco que sustente el desarrollo socialmente sostenible de la UAM?, (3) y finalmente ¿cómo influye la sostenibilidad ambiental de la UAM en el aspecto social?.

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 los descriptores (palabras clave) asociados con el núcleo de la investigación. 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; (b) se incluyeron estudios editados en idioma inglés y español; (c) se incluyeron todos los estudios que analizan el binomio UAM-desarrollo social sostenible; (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; (f) se incluyó 'literatura gris' siempre y cuando presentara un fundamento teórico sólido, riguroso y formal; (g) se excluyeron artículos sin diseño de investigación y sin una pregunta de investigación bien definida; (h) 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.

En el periodo antes citado (2014-2025) se encontraron alrededor de 180 referencias (de todo tipo), pero luego de aplicar los criterios de inclusión / exclusión se seleccionaron 95 referencias válidas, todas ellas citadas en el presente artículo.

## **Marco conceptual**

### **Definición y componentes básicos del sistema UAM**

Movilidad Aérea Urbana se refiere a un emergente sistema de transporte aéreo que utilizará vehículos aéreos (tripulados y/o no tripulados), a propulsión eléctrica, de despegue y aterrizaje vertical (VTOL), para el transporte de pasajeros o mercancías en trayectos urbanos e interurbanos (Díaz-Olariaga, 2024; Brelje y Martins, 2019; EASA, 2022; FAA, 2023; NASA, 2018). La UAM se enfoca en el transporte de corta y media distancia, en el rango aproximado (previsto) de 5 a 300km, para vehículos con una capacidad de entre 2 y 6 pasajeros, conectando destinos dentro de grandes áreas urbanas, entre destinos interurbanos e incluso regionales (Anand et al., 2021). Los vehículos aéreos que prestarían servicios UAM volarían en espacios aéreos de baja altitud (100–1.000 metros) (Polaczyk et al., 2019; BOEING, 2018; Fu et al., 2019).

A la fecha (principios del 2025), la UAM en su modalidad de transporte de pasajeros, como servicio programado o a demanda, aún no está implementada a nivel operativo ni comercial en ninguna ciudad / país del mundo, debido a que aún no existe en los países el marco

legal y regulatorio relacionado que de soporte a la comercialización de este servicio; asimismo, muchos países y regiones ya están trabajando en este concepto. Y por otro lado, la academia está ya contribuyendo con recomendaciones en otro de los pilares importantes de esta tecnología emergente, que permitan e impulsen su implantación en las ciudades, como son las políticas públicas (Díaz-Olariaga, 2025).

La UAM tiene el potencial de revolucionar el transporte al ofrecer opciones más rápidas, más eficientes y respetuosas con el medio ambiente para los viajeros y la logística (Keeler et al., 2019). Para respaldar el desarrollo exitoso y seguro de la UAM se necesitan unos componentes y un ecosistema que se mencionan a continuación, los más relevantes en función del enfoque de la presente investigación.

*Vehículos eVTOL*: un componente clave del sistema son los vehículos aéreos de despegue y aterrizaje vertical y de propulsión eléctrica (eVTOL), que están diseñados para operar con distintos grados de automatización, es decir, desde los tripulados y pilotados por un piloto a bordo, por ejemplo un taxi aéreo, hasta los pilotados de forma remota (Garrow et al., 2021).

*Infraestructura de soporte*: la infraestructura terrestre de soporte de la UAM se conoce como 'vertipuerto' (EASA, 2022, FAA, 2022), son para los vehículos aéreos eVTOL como los aeropuertos para los aviones. Estas instalaciones están diseñadas para proporcionar una transición perfecta entre el transporte terrestre y aéreo. Pueden incluir características como estaciones de carga, instalaciones de mantenimiento y áreas de espera de pasajeros (Brunelli et al., 2023). Los vertipuertos serán fundamentales para el éxito de la emergente industria del taxi aéreo, que se espera proporcione servicios de transporte aéreo bajo demanda para pasajeros en áreas urbanas e interurbanas (Li, 2023; Hodell, 2022). Se estima que, al inicio de la era UAM, la superficie que demande un vertipuerto sea de entre 3000 y 8000 m<sup>2</sup>, dependiendo del número de alturas de la infraestructura; esta superficie incluye tanto el 'lado tierra', donde se procesan pasajeros, como el 'lado aire', donde se procesan aeronaves (Daskilewicz et al., 2018; Preis, 2021; Gouveia et al., 2022; Fadhil, 2018; Arellano, 2020).

### **Servicios UAM potenciales / previstos**

Los debates actuales sobre el desarrollo futuro de las ciudades inteligentes ya incluyen lo que se viene a denominar la 'tercera dimensión' (la vertical) cuando se trata de mejorar la movilidad en ciudades en constante crecimiento, es decir, se está incorporando al debate y análisis la emergente Movilidad Aérea Urbana. Esta situación de innovación tecnológica está generando ideas, y hasta planteamientos, sobre los posibles modelos de negocio que generará la UAM una vez inicie la oferta de sus primeros servicios, recordando que la UAM podrá ofrecer servicios de transporte tanto de carga, inicialmente de muy bajo volumen y/o peso, como de pasajeros (Cohen y Shaheen 2021; Goyal et al., 2021).

Los servicios (o modelos de negocio) UAM previstos, que a continuación se mencionan, se estima serán los primeros en desarrollarse; muy probablemente otros modelos de negocio UAM irán implementándose en el tiempo (no necesariamente de forma simultánea), según evolucione el mercado (aceptación, madurez, oportunidades, etc.), la tecnología de soporte, y la estructura legal y regulatoria relacionada (Cohen et al., 2021; Porsche Consulting, 2018, 2021; NASA, 2018; Straubinger et al., 2021; Tojal et al., 2021).

*Transporte de pasajeros bajo demanda ('taxi aéreo')*. Quizás el caso de uso de UAM que ha atraído la mayor atención, se espera que un taxi aéreo de pasajeros sea particularmente beneficioso para viajes urbanos e interurbanos en ciudades y/o grandes áreas metropolitanas congestionadas (Coppola et al., 2024; Boddupalli et al., 2024). Los taxis aéreos pueden evitar la congestión de las autopistas, lo que lleva a tiempos de viaje más cortos además de velocidades más altas, compitiendo con los modos terrestres para viajes más largos. Sin embargo, se cree que los tiempos de viaje de la 'primera y última milla' y los tiempos de embarque y desembarque hacen que un taxi aéreo no sea atractivo para viajes muy cortos, que podrían funcionar mejor con el transporte terrestre (Mostofi et al., 2024; Riza et al., 2024; Lindner et al., 2024; Johnson y Silva, 2022).

*Servicios logísticos aéreos (envío y entrega de paquetes)*. La entrega de paquetes a un cliente o el envío de mercancías entre dos nodos de la cadena de suministro, como almacenes, podrían ser otros casos de uso de UAM. Dos ventajas principales sobre los modos terrestres tradicionales son tiempos de viaje más rápidos y servicio en áreas sin buenas redes de transporte terrestre. Este servicio, inicialmente, sería prestado por pequeñas aeronaves pilotadas de forma remota, o mejor conocidas como 'drones'. Ahora bien, estos vehículos aéreos no tripulados tienen una capacidad de carga muy limitada, de unos pocos kilogramos, pero se espera que el desarrollo tecnológico genere en el futuro cercanos drones más grandes y de mayor capacidad de carga (Kaspi et al., 2022; Silva et al., 2023; German et al., 2018).

*Servicios médicos (ambulancia aérea)*. Las aeronaves UAM pueden ofrecer tiempos de viaje más rápidos y cobertura en áreas con una red de transporte terrestre deficiente o nula, por otro lado, los vehículos aéreos de la UAM pueden realizar las mismas tareas a un costo menor que los helicópteros (Goyal y Cohen, 2022). Además, el transporte de órganos (para trasplantes de emergencia) y la entrega de equipos médicos también se puede realizar a través de vehículos UAM, que son más rápidos y seguros que el transporte terrestre (Espejo-Díaz et al., 2023; Tabor, 2021).

## Resultados

### Desarrollo de la UAM como movilidad urbana sostenible

La UAM se concibe como un medio de transporte urbano para contribuir a la movilidad sostenible e integrada en las ciudades. Sin embargo, la UAM no es sólo un elemento del avance de las tecnologías de la aviación y la movilidad, sino predominantemente de la planificación de la movilidad y el desarrollo urbano sostenible. Con este fin, la UAM puede ocupar un lugar destacado en la formación de estrategias de innovación urbana y transición sostenible (Frantzeskaki et al., 2017). Una pregunta central que enfrentan las ciudades es: ¿cómo debería integrarse la UAM en la planificación de movilidad urbana? O, en términos más prácticos: ¿qué papel debería asumir la UAM en los sistemas de transporte urbano existentes o previstos? (UIC2-UAM, 2021). El desarrollo e 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/región (Cohen et al., 2021; EIT Urban Mobility, 2022).

## **Desarrollo UAM impulsado por la sostenibilidad y centrado en el usuario**

Para dar forma al desarrollo futuro de la UAM, es necesario pasar de un negocio impulsado por las ganancias a un modelo de negocio impulsado por la sostenibilidad y centrado en el usuario. Bajo este enfoque se identifican los denominados Modelos de Negocio Sostenibles (Cantele y Truzzi, 2020; Bocken, 2021; Shakeel et al., 2020) y el Sistema Producto-Servicio (da Costa et al., 2020; Li et al., 2020) como pilares clave para alcanzar este cambio de paradigma.

El punto de partida del enfoque de Modelo de Negocio Sostenible es el reconocimiento de que los modelos de negocio no sólo ofrecen una nueva forma de estudiar las relaciones entre las empresas y su entorno natural, social y económico (Marcus et al., 2010; Stubbs y Cocklin, 2008), sino también formas alternativas y potencialmente más sostenibles de diseñar arquitecturas empresariales dentro de este entorno (Upward y Jones, 2016). Un Modelo de Negocio Sostenible consiste en crear efectos positivos significativamente mayores y/o efectos negativos significativamente reducidos para el medio ambiente natural y la sociedad a través de cambios en la forma en que una empresa y su red crean, entregan y capturan valor (Lüdeke et al., 2018).

Por otro lado, el Sistema Producto-Servicio explica cómo una nueva tecnología contiene un valor para los clientes que no está sólo relacionado con el producto / servicio en sí, sino que comprende todas las funciones y servicios más amplios que el producto puede proporcionar (Riesener et al., 2021).

La UAM se podría considerar como un ejemplo de Sistema Producto-Servicio orientado al usuario: la transición hacia los servicios UAM ejemplifica el cambio de un modelo de negocio e industria previamente dominados por productos a una industria dominada por servicios. La UAM debería ayudar a reducir la propiedad de automóviles, el número de viajes realizados y la distancia recorrida (usando vehículos terrestres), lo que tendría importantes beneficios socioeconómicos al mejorar la movilidad de las personas en riesgo de exclusión social debido al acceso deficiente al transporte. En definitiva, la UAM puede aportar nuevas herramientas para analizar y monitorear la situación de la movilidad, fomentar opciones sostenibles e interactuar con las partes interesadas y los ciudadanos (ERTICO-ITS Europe, 2019).

## **Perspectivas sostenibles del ecosistema UAM**

Se han identificado cinco criterios para que la UAM opere en un ecosistema de movilidad caracterizado por la accesibilidad, la seguridad y la sostenibilidad ambiental, estos son (Reyes García et al., 2019; Pons-Prats et al., 2022; Cohen et al., 2021; ASSURED-UAM, 2021; Helsinki, 2023; ASSURE, 2022):

- 1) Mejora evolutiva de los sistemas de movilidad existentes: (a) La UAM ayudará a impulsar la sostenibilidad en las redes de movilidad; (b) la UAM será un medio complementario de movilidad que se integrará y fortalecerá las redes de movilidad existentes; y (c) la UAM traerá mayor conectividad, tanto intra como interurbana, por lo que también será un vínculo con las regiones.
- 2) Carbono neutro: (a) la UAM será cero neto emisiones; además, la UAM demostrará cero emisiones en la fase de consumo y emisiones minimizadas durante todo su ciclo de vida; (b) la UAM será un contribuyente significativo para cumplir con las políticas verdes (allí donde existan y/o se apliquen); y (c) la UAM contribuirá a la transición sostenible del transporte urbano.

- 3) Proporcionar una conectividad de transporte inclusiva, socialmente accesible, y conectividad de transporte accesible.
- 4) Mejora del liderazgo estratégico creando empleos altamente calificados: (a) se requerirán nuevas habilidades y un amplio espectro de empleos de alto valor tanto en la producción como en la operación de sistemas UAM; y (b) el desarrollo del mercado de la UAM generará valor.
- 5) Técnicamente seguro y protegido ofreciendo un sistema de transporte progresivo: (a) la UAM será técnicamente segura mientras que respetará la conservación del ecosistema natural; (b) la UAM garantizará niveles maduros de seguridad también de acuerdo con la regulación del mercado prevista; y (c) la UAM será válida tanto para pasajeros como para la cadena de suministro (transporte de carga), y para realizar servicios públicos (salud, emergencias, seguridad, etc.).

### **Marco de sostenibilidad para el desarrollo de la UAM**

En la literatura existe evidencia de cómo la UAM podría interactuar con otros modos de transporte de manera positiva, particularmente porque es capaz de reemplazar los viajes en transporte terrestre de propiedad privada por viajes aéreos de ocupación compartida, lo que conduce a mejoras en el uso de energía y reducciones de emisiones de gases de efecto invernadero, gracias a la utilización de vehículos aéreos de propulsión eléctrica (Shon et al., 2024; Ploetner, 2020; Wu y Zhang, 2021). Ahora bien, los impactos y el desempeño ambientales de la UAM están representados principalmente por la cantidad de CO<sub>2</sub> emitida a la atmósfera.

Por lo tanto, para ir más allá de este enfoque simplista, sería más apropiado aplicar un análisis detallado del ciclo de vida para la evaluación de los impactos ambientales. Un ejemplo claro lo ilustra el hecho de que la neutralidad de carbono no puede evaluarse simplemente observando la fase de uso, sino que también debe considerar el uso de energía y las emisiones posteriores a lo largo de todo el ciclo de vida, desde la extracción de materias primas hasta su eliminación (Müller et al., 2020).

Entonces, el marco de sostenibilidad de la UAM se debe aplicar para cada componente del ecosistema UAM. En el caso de una tendencia emergente y totalmente innovadora, como lo es la UAM, contar con un marco de sostenibilidad sistemático, desarrollado específicamente para esta tecnología disruptiva, será relevante además de necesaria. Por otro lado, las directrices que abordan la evaluación ambiental de la UAM serán útiles para todos los actores del sistema UAM, a la hora de desarrollar una estrategia de sostenibilidad a largo plazo y optimizar los procesos. En esta línea conceptual, el marco de sostenibilidad de la UAM se compondría, principalmente, de tres fases (ASSURE, 2022; Cohen et al., 2021; Biehle, 2022; ASSURED-UAM, 2021): (1) identificar criterios, (2) evaluar impactos, y (3) desarrollo de indicadores.

### **Identificación de criterios**

Los criterios de sostenibilidad están directamente vinculados con las cinco perspectivas sostenibles de la UAM, mencionadas en un apartado anterior, de la siguiente manera: (1) movilidad: complementaria e integrada; (2) medioambiente: aplicación de un planteamiento de 'economía circular' de Evaluación de Ciclo de Vida; (3) social: movilidad accesible, inclusiva y beneficiosa para la comunidad; (4) tecnología: habilitador de la movilidad sostenible integrada;

y (5) seguridad (operacional y física): sistemas operacionales técnicamente seguros y garantías de una sólida ciber seguridad (para protección de los usuarios).

### **Evaluación de los impactos**

Esta fase proporciona orientación técnica para la evaluación cualitativa de los impactos con respecto al enfoque ambiental de la UAM. En particular, se identifica como herramientas principales para lograr esto la Evaluación del Ciclo de Vida (ECV) (Peña, 2021; Bergerson, 2019), y el desarrollo de indicadores basados en la sostenibilidad (Merino-Saum et al., 2020; Abu-Rayash y Dincer, 2021). Ambos enfoques se deben ajustar y contextualizar para abordar las principales características de la UAM.

*Evaluación del Ciclo de Vida de la UAM.* Se identifica la Evaluación del Ciclo de Vida como la forma más efectiva de cuantificar el impacto ambiental de la UAM. La Evaluación del Ciclo de Vida es una metodología estandarizada internacionalmente que ayuda a cuantificar las presiones ambientales relacionadas con bienes y servicios, los beneficios ambientales, las compensaciones y las áreas para lograr mejoras teniendo en cuenta el ciclo de vida completo del producto (Hauschild et al., 2018). El Pensamiento del Ciclo de Vida (PCV) consiste en ir más allá del enfoque tradicional en el sitio de producción y los procesos de fabricación para incluir los impactos ambientales, sociales y económicos de un producto durante todo su ciclo de vida (Onat et al., 2017).

La Gestión del Ciclo de Vida (GCV) es un concepto integrado para gestionar el ciclo de vida total de bienes y servicios hacia una producción y un consumo más sostenibles: la Gestión del Ciclo de Vida utiliza varias herramientas analíticas y de procedimiento para hacer que el PCV sea operativa (Stark, 2022). La ECV se diferencia de otras herramientas porque es un enfoque relativo, es decir, se estructura en torno a una unidad funcional que define lo que se está estudiando. Todos los análisis posteriores son entonces relativos a esa unidad funcional, como todos los insumos y productos producidos. Cabe señalar cómo el término 'producto' utilizado en el enfoque ECV incluye también los servicios. El enfoque ECV es identificado como fundamental para la evaluación en profundidad de los impactos ambientales de la UAM por las siguientes razones (van Mierlo et al., 2017):

- El mayor beneficio de la introducción de la UAM probablemente se derive de su uso sinérgico dentro de los sistemas de transporte existentes. La implementación de una ECV permite comparar el desempeño ambiental de los vehículos aéreos (eléctricos) que proveerán servicios UAM con otros modos de transporte, esto respalda la multimodalidad y permite identificar las rutas de movilidad más sostenibles dentro/entre ciudades y regiones.
- La ECV permite identificar la variación de las emisiones de CO<sub>2</sub> por vehículo aéreo eléctrico con respecto a los vehículos terrestres (eléctricos o convencionales) existente en una ciudad. De hecho, sólo si la propulsión eléctrica tiene emisiones de carbono muy bajas, la UAM puede alcanzar su máximo potencial para ser neutra en carbono y la ECV puede evaluar este aspecto.
- La ECV permite una evaluación sobre cómo el reciclaje eficiente ayudará a alcanzar la neutralidad de carbono, reduciendo la demanda de materia prima y energía de producción.

Se espera que la UAM utilice, mayoritariamente, vehículos aéreos eléctricos que se consideran más respetuosos con el medio ambiente ya que no liberan directamente emisiones de escape a la atmósfera. Sin embargo, para evaluar exhaustivamente los impactos ambientales de la UAM, es necesario un cambio hacia el Pensamiento de Ciclo de Vida (PCV). La aplicación

del enfoque PCV es crucial en el caso de la UAM, ya que la neutralidad relativa de carbono no se puede evaluar simplemente observando la fase de uso.

Con respecto a la aplicación de la ECV al ecosistema UAM, la literatura proporciona un número pequeño pero relativamente interesante de resultados que ilustran, por un lado, cómo la electrificación de los vehículos de la UAM no garantiza a priori la neutralidad de carbono de la UAM (Liu, 2022). Este último punto es un aspecto importante para considerar cuando se trata de comparar el desempeño ambiental de diferentes modos de transporte, ya que el objetivo de aplicar la estructura típicamente asociada con las evaluaciones del ciclo de vida en el caso de la UAM no pretende apoyar simplemente la introducción de un nuevo producto, ya que la UAM se concibe como un modo de transporte complementario al sistema de movilidad ya existente. Es necesario un enfoque 'circular' para identificar y articular ampliamente el impacto de las soluciones de movilidad que internalicen los costos de las externalidades negativas y minimicen las emisiones a lo largo del ciclo de vida. Esto implica, por ejemplo, consideraciones sobre el imperativo de reducir el uso de materiales y el consumo de energía durante la fase de producción, extender la vida útil de las piezas, mejorar su mantenimiento, y aumentar la reutilización y el reciclaje al final de su vida útil (Velenturf y Purnell, 2021).

Entonces, la UAM debería generar un desempeño ambiental satisfactorio en términos de la ECV solo si los siguientes aspectos se desarrollan aún más: eficiencia de la energía relativa (fases de uso y materia prima), peso de la batería, composición de la red energética, es decir, participación de energía verde y eficiencia en la fase de producción, gestión de operaciones (gestión del espacio y tráfico aéreo), infraestructuras y ordenación urbana (desarrollo de vertipuestos).

Finalmente, en la literatura científica actual faltan estudios e investigaciones sobre indicadores de movilidad de la UAM (que sirven 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 consecuencia, surge una brecha para la evaluación de tecnologías de transporte disruptivas, basadas en diferentes objetivos que incluyen, entre otros, planes de sostenibilidad (Al Haddad et al., 2020). En este contexto, es crucial cuantificar los impactos utilizando un conjunto de indicadores que también sean KPI (indicadores clave de desempeño) apropiados para evaluar la implementación y el desarrollo sostenible de la UAM.

## **Desarrollo de indicadores**

Para implementar un sistema sostenible, se necesitan indicadores para medir aspectos de la UAM con respecto a un punto de referencia ambiental. Entonces, a nivel de resultados, este apartado proporciona una visión general de los indicadores existentes de economía sostenible y circular, analizando la aplicabilidad al ecosistema UAM.

La sostenibilidad es un concepto complejo que no puede traducirse únicamente en un indicador cuantitativo. Esta complejidad es visible en el estado actual de las métricas e indicadores de sostenibilidad, su variedad y falta de estandarización. Las certificaciones de sostenibilidad más extendidas son las desarrolladas por Science Based Targets (2024) y B Corp Movement (2024). Esas certificaciones abarcan un significado amplio de sostenibilidad, representado por los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas (UN, 2024). En

cuanto a la economía circular, o 'circularidad', la principal fuente de métricas y herramientas son: Ellen McArthur Foundation (2024) y Material Circularity Indicator (MCI) (2024).

La evaluación del impacto ambiental, la huella de carbono y la circularidad en la industria del transporte aéreo sigue siendo tema de mucha investigación. Actualmente, dado el significado restringido de sostenibilidad en el sector de la aviación, las metas y objetivos ambientales se expresan principalmente en términos de emisiones de carbono, a veces en términos más generales como emisiones de gases de efecto invernadero (CO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, etc.), de los niveles de ruido (contaminación acústica), y contaminación del aire (Díaz-Olariaga, 2023a, 2023b). El indicador más común de impacto ambiental es la Evaluación del Ciclo de Vida, pero los resultados obtenidos son muy variables, principalmente debido a la escasez de datos o los límites utilizados en dicha evaluación. Hasta donde se sabe, ninguna de las métricas existentes para la sostenibilidad o la circularidad se ha aplicado nunca específicamente a la industria de la UAM, puesto que esta tecnología aún no está operativa. Varios actores de la industria, y también la academia, presentan cifras (resultado de simulaciones computacionales) en términos de reducción de emisión de gases de efecto invernadero o reducción de ruido (Figliozzi, 2017; Eissfeldt, 2020), pero los resultados no pueden verificarse (o compararse con la realidad).

Como la UAM operará dentro de las ciudades, el sistema UAM debe estar en línea con los planes de movilidad urbana sostenible, allí donde existan. A nivel de ejemplo, se realiza un análisis de la aplicabilidad de los Indicadores de Movilidad Urbana Sostenible (que son un conjunto de métricas definidas por la Comisión Europea para ayudar a las ciudades a medir la calidad de su sistema de movilidad en términos de sostenibilidad ambiental y social) (SUMP-European Union, 2024) a la UAM. A continuación, se citan los principales indicadores a aplicar a la UAM: (a) asequibilidad del sistema de transporte público; (b) accesibilidad al sistema de transporte público; (c) emisión de contaminantes atmosféricos; (d) contaminación acústica; (e) accidentes (en este caso 'aéreos'); (f) acceso a servicios de movilidad; (g) emisiones de gases de efecto invernadero; (h) eficiencia energética; (i) satisfacción con el transporte público (calidad del servicio); y (j) seguridad operacional.

Como se puede observar, todos los indicadores citados son altamente aplicables a la UAM, ya sea en su definición actual, o con la necesidad de adaptación al tráfico aéreo urbano. Además, los indicadores brindan una visión general de las brechas en la sostenibilidad del sistema UAM. Sin embargo, como en el ejemplo presentando, los indicadores originalmente se han desarrollado para medir la sostenibilidad del transporte público (terrestre), podrían limitarse a los casos de uso de transporte de pasajeros de la UAM. En el futuro, los indicadores se adaptarán para cubrir una variedad más amplia de casos de uso (o modelos de negocio) de la UAM. Además, sería recomendable incluir las siguientes adaptaciones o adiciones para cubrir completamente la UAM (Straubinger et al., 2020; Cohen et al., 2021): (a) mejora de la conectividad en las ciudades: el indicador medirá la proporción de población que vive en zonas remotas con una mejor conectividad a la ciudad gracias a la UAM; (b) eficiencia horaria de la UAM: porcentaje de operaciones de la UAM que se realizarán para reducir el tráfico rodado. Esto puede dar una indicación de los servicios UAM necesarios (si los hay) que se implementarán para reducir la congestión del tráfico vial; (c) muertes por accidentes de tráfico (aéreo) en la UAM; y (d) preocupaciones por la privacidad, ya que los vehículos aéreos, tripulados y no tripulados (drones), volarán, a relativa baja altura, sobre zonas residenciales.

## Conclusiones

La academia y la industria tienden a sumergirse en el tema de la UAM sin abordar, al menos de forma profunda, aspectos de sostenibilidad social. En todo caso, se hace una mención sobre el potencial socialmente sostenible de la UAM sin explicar realmente cómo se lograría esta sostenibilidad.

La presente investigación tuvo como objetivo realizar el análisis de enfoque sostenible, pero con un fuerte énfasis en la dimensión social, de la Movilidad Aérea Urbana. En el contexto de la sostenibilidad social, el planteamiento propuesto para el análisis evaluó los impactos sociales y ambientales de la UAM. Este estudio también proporciona algunas directrices sistemáticas para abordar el desarrollo sostenible, en su dimensión social, de la UAM teniendo en cuenta todo el ciclo de vida del producto/servicio de la UAM. La línea temática del artículo se centró en la sostenibilidad social de la UAM al proporcionar un camino sistemático para abordar su desarrollo sostenible.

En general, la falta de una definición de lo que debe entenderse por sostenibilidad en la UAM da lugar a afirmaciones vagas y a una apropiación indebida de la palabra. Como tal, la sostenibilidad en la UAM no sólo debe entenderse como sostenibilidad ambiental, sino también como sostenibilidad social y económica. Esto significa que, para que la UAM sea sostenible, debe crear un sistema que genere un impacto positivo general: los vehículos y la infraestructura deben ser ambientalmente sostenibles desde el diseño y la producción hasta el final de su vida útil; el uso del sistema debería aportar valor al usuario final y estar disponible para todos; y el caso 'modelo de negocio' debe ser sostenible, económicamente asequible y al mismo tiempo apoyar el crecimiento económico a largo plazo sin impactar negativamente los aspectos sociales y ambientales de las comunidades.

Como aquí se ha presentado, el desarrollo de un marco de sostenibilidad de la UAM proporcionaría directrices para apoyar el desarrollo de una evaluación de impactos ambientales, sociales y económicos específicamente para la UAM, donde la Evaluación del Ciclo de Vida tiene un papel clave.

De cara al futuro en la implementación de la UAM, hay una serie de aspectos que deben recibir atención para crear un sistema que sea verdaderamente sostenible:

- La UAM debería facilitar la multimodalidad, complementando otros modos de transporte cuando sea apropiado.
- Se debe desarrollar un conjunto de indicadores específicos, brindando a las partes interesadas las herramientas adecuadas para evaluar la sostenibilidad de la UAM.
- El despliegue del servicio UAM debe basarse en evaluaciones de sostenibilidad, comenzando con la Evaluación del Ciclo de Vida, para comparar críticamente las ganancias y pérdidas creadas a través de la UAM y las de otros modos de transporte.
- En el concepto de operaciones se debe incluir la sostenibilidad social, ambiental y económica.

A la luz de lo anterior, y dada la necesidad actual de soluciones con impacto limitado o nulo sobre el medio ambiente, cualquier nueva tecnología introducida en la sociedad debe demostrar ser sostenible desde el principio, en el sentido amplio. Actualmente, el ecosistema UAM está enfocado en la viabilidad tecnológica, operativa y de seguridad de sus soluciones. Para que la UAM sea una solución impactante y verde para la movilidad y el transporte urbano tendrá que cumplir con una serie de requisitos sostenibles definidos por las autoridades (locales

y nacionales) y avalados por la sociedad. Dichos requisitos sostenibles incluirán la sostenibilidad ambiental, social y económica, permitirán el despliegue de soluciones verdaderamente sostenibles para la UAM, con vehículos aéreos e infraestructuras ambientalmente sostenibles durante todo su ciclo de vida, brindando servicios que beneficien a los usuarios y, al mismo tiempo, generen un impacto positivo para la sociedad.

Futuras investigaciones que contemplen la dimensión social de la Movilidad Aérea Urbana deberían abordar temáticas tales como: el análisis de la aceptabilidad social de la misma por parte de las comunidades; formulación de políticas públicas que promuevan la sostenibilidad social y ambiental del desarrollo de la UAM en las ciudades / regiones; políticas de inclusión; estrategias de integración urbana de la UAM en las ciudades centradas en el ciudadano y sus necesidades; posible impacto de la UAM en el desplazamiento o relocalización geográfica de los habitantes; evaluación de la equidad y accesibilidad que esta tecnología emergente ofrezca a todos los grupos sociales de una comunidad; y finalmente, análisis del impacto, a largo plazo, de la calidad de vida de los ciudadanos que podría aportar la UAM.

### **Declaración de Conflictos de Interés**

No declaran conflictos de interés.

### **Financiamiento**

Ninguno.

### **Referencias**

- Abu-Rayash, A., & Dincer, I. (2021). Development of integrated sustainability performance indicators for better management of smart cities. *Sustainable Cities and Society*, 67, 102704. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102704>
- 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>
- Anand, A., Kaur, H., Justin, C., Zaidi, T., & Mavris, D. (2021). A scenario-based evaluation of global urban air mobility demand. *AIAA Scitech Forum*. <https://doi.org/10.2514/6.2021-1516>
- Arellano, S. (2020). *A Data-and Demand-Based Approach at Identifying Accessible Locations for Urban Air Mobility Stations* [Master Thesis, Technical University of Munich].
- 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>
- ASSURED-UAM (2021). *Urban Mobility Integration Strategies*. Brussels: ASSURED-UAM Consortium Partners.
- B Corp Movement (2024). Building the Movement. <https://www.bcorporation.net/en-us/movement/>
- Bergerson, J. (2019). Life cycle assessment of emerging technologies: Evaluation techniques at different stages of market and technical maturity. *Journal of Industrial Ecology*, 24, 11-25. <https://doi.org/10.1111/jiec.12954>

- Bespaly, S., & Petrenko, A. (2023). Impact of Urban Transport on City Development in the Context of Sustainable Development. *Transportation Research Procedia*, 68, 534-538. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2023.02.072>
- Biehle, T. (2022). Social sustainable urban air mobility in Europe. *Sustainability*, 14(15), 9312. <https://doi.org/10.3390/su14159312>
- Bocken, N. (2021). Sustainable Business Models. In: Leal Filho, W., Azul, A.M., Brandli, L., Lange Salvia, A., Wall, T. (Eds.), *Decent Work and Economic Growth*. Encyclopedia of the UN Sustainable Development Goals. Springer.
- Boddupalli, S., Garrow, L., German, B., & Newman, J. (2024). Mode choice modeling for an electric vertical takeoff and landing (eVTOL) air taxi commuting service. *Transportation Research Part A*, 181, 104000. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2024.104000>
- BOEING (2018). Flight path for the future of mobility. <https://acortar.link/zcfCpF>
- 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, 1-19. <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. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2023.102460>
- Cantele, S., & Truzzi, S. (2020). Sustainable Business Models: Literature Review of Main Contributions and Themes. *International Journal of Business and Management*, 15(5), 11-25. <https://www.ccsenet.org/journal/index.php/ijbm/article/view/0/42467>
- Cohen, A., & Shaheen, S. (2021). Urban Air Mobility: Opportunities and Obstacles. *Working Paper*, Transportation Sustainability Research Center, University of California.
- 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://ieeexplore.ieee.org/document/9447255>
- Coppola, P., Silvestri, F., & De Fabis, F. (2024). Heterogeneity in users' intention-to-use Urban Air Mobility services. *Transportation Research Procedia*, 78, 460-466. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2024.02.058>
- da Costa, S., Pigosso, D., McAloone, T., & Rozenfeld, H. (2020). Towards product-service system oriented to circular economy: A systematic review of value proposition design approaches. *Journal of Cleaner Production*, 257, 120507. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120507>
- 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*. <https://doi.org/10.2514/6.2018-2884>
- Díaz-Olariaga, O. (2023a). Aeropuerto verde, concepto y marco general de desarrollo. *Hábitat Sustentable*, 13(2), 10-21. <https://doi.org/10.22320/07190700.2023.13.02.01>
- Díaz-Olariaga, O. (2023b). El papel de las políticas públicas en la sostenibilidad de la aviación. *Revista Brasileira de Políticas Públicas*, 13(2), 221-243. <https://doi.org/10.5102/rbpp.v13i2.9188>

- Díaz-Olariaga, O. (2024). Criterios de integración de la movilidad aérea urbana en la ciudad. *Ciudad y Territorio Estudios Territoriales*, 56(222), 1097-1112. <https://doi.org/10.37230/CyTET.2024.222.1>
- Díaz-Olariaga, O. (2025). Lineamientos de política pública para la movilidad aérea urbana. *Gestión y Política Pública*, 34(1), 105-140. <https://doi.org/10.60583/gypp.v34i1.8372>
- EASA (2021). *Study on the societal acceptance of Urban Air Mobility in Europe*. European Union Aviation Safety Agency.
- EASA (2022). *Vertiports*. European Union Aviation Safety Agency.
- Eissfeldt, H. (2020). Sustainable urban air mobility supported with participatory noise sensing. *Sustainability*, 12(8), 3320. <https://doi.org/10.3390/su12083320>
- EIT Urban Mobility (2022). *Urban Mobility Next 8*. Barcelona: EIT Urban Mobility.
- Ellen McArthur Foundation (2024). <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/>
- ERTICO-ITS Europe (2019). *Mobility as a Service (MaaS) and Sustainable Urban Mobility Planning*. Brussels: ERTICO-ITS Europe.
- Escobar, A., Zartha, J., & Gallón, L. (2021). Studies on urban mobility and use of ICT in relation to cities' sustainability: A bibliometric analysis. *Transactions on Transport Sciences*, 2, 35-44. <https://doi.org/10.5507/tots.2021.012>
- Espejo-Díaz, J., Alfonso-Lizarazo, E., & Montoya-Torres, J. (2023). Improving access to emergency medical services using advanced air mobility vehicles. *Flexible Services and Manufacturing Journal* (2023). <https://doi.org/10.1007/s10696-023-09507-9>
- FAA (2022). *Memorandum. Vertiport Design*. Washington DC: Federal Aviation Administration, U.S. Department of Transportation.
- FAA (2023). *Urban Air Mobility (UAM). Concept of Operations*. 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].
- Farshchian, B., & Dahl, Y. (2015). The role of ICT in addressing the challenges of age-related falls: A research agenda based on a systematic mapping of the literature. *Personal and Ubiquitous Computing*, 19(3), 649–666. <https://doi.org/10.1007/s00779-015-0852-1>
- Figliozzi, M. (2017). Lifecycle modeling and assessment of unmanned aerial vehicles (Drones) CO2 emissions. *Transportation Research Part D*, 57, 251-261. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.09.011>
- Frantzeskaki, N., Broto, V., Coenen, L., & Loorbach, D. (2017). *Urban Sustainability Transitions*. London: Routledge.
- Fu, M., Rothfeld, R., & Antoniou, C. (2019). Exploring preferences for transportation modes in an Urban Air Mobility environment: Munich case study. *Transportation Research Record* 2673(10), 427-442. <https://doi.org/10.1177/0361198119843858>
- García, J., Cárdenas, L., & Franco, C. (2024). Energy transition in sustainable transport: concepts, policies, and methodologies. *Research Square*, 31, 58669–58686. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3594410/v1>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2021.103377>

- 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*. <https://doi.org/10.2514/6.2018-2006>
- Gouveia, M., Dias, V., & Silva, J. (2022). Management of urban air mobility for sustainable and smart cities: Vertiport networks using a user-centred design. *Journal of Airline and Airport Management*, 12(1), 15-28. <https://doi.org/10.3926/jairm.207>
- Goyal, R., & Cohen, A. (2022). Advanced Air Mobility: Opportunities and Challenges Deploying eVTOLs for Air Ambulance Service. *Applied Sciences*, 12(3), 1183. <https://doi.org/10.3390/app12031183>
- Goyal, R., Reiche, C., Fernando, C., & Cohen, A. (2021). Advanced Air Mobility: Demand Analysis and Market Potential of the Airport Shuttle and Air Taxi Markets. *Sustainability*, 13(13), 7421. <https://doi.org/10.3390/su13137421>
- Hauschild, M., Rosenbaum, R., & Olsen, S. (2018). *Life Cycle Assessment*. Cham: Springer.
- Helsinki (2023). Study on the Future of Helsinki's Urban Air Mobility. *White Paper*. <https://acortar.link/jUXFIF>
- Hodell, G. (2022). Usability Evaluation of Fleet Management Interface for High Density Vertiport Environments. *IEEE/AIAA 41st Digital Avionics Systems Conference*. <https://doi.org/10.1109/DASC55683.2022.9925806>
- Jin, Z., Ng, K., Zhang, C., Wu, L., & Li, A. (2024). Integrated optimisation of strategic planning and service operations for urban air mobility systems. *Transportation Research Part A*, 183, 104059. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2024.104059>
- Johnson, W., & Silva, C. (2022). NASA concept vehicles and the engineering of advanced air mobility aircraft. *The Aeronautical Journal*, 126, 59–91. <https://doi.org/10.1017/aer.2021.92>
- Kaspi, M., Raviv, T., & Ulmer, M. (2022). Directions for future research on urban mobility and city logistics. *Networks*, 79(3), 253-263. <https://doi.org/10.1002/net.22092>
- Keeler, J., Verma, S., & Edwards, T. (2019). Investigation of Communications Involved in Near-term UAM Operations. *2019 IEEE/AIAA 38th Digital Avionics Systems Conference*. <https://doi.org/10.1109/DASC43569.2019.9081682>
- Kitchenham, B., & Charters, S. (2007). Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering. *Technical Report*. Keele University and University of Durham. <https://acortar.link/ZMnVtC>
- Li, A., Kumar, M., Claes, B., & Found, P. (2020). The state-of-the-art of the theory on Product-Service Systems. *International Journal of Production Economics*, 222, 107491. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.09.012>
- Li, X. (2023). Repurposing Existing Infrastructure for Urban Air Mobility: A Scenario Analysis in Southern California. *Drones*, 7(1), 37. <https://doi.org/10.3390/drones7010037>
- Lindner, M., Brühl, R., Berger, M., & Fricke, H. (2024). The Optimal Size of a Heterogeneous Air Taxi Fleet in Advanced Air Mobility: A Traffic Demand and Flight Scheduling Approach. *Future Transportation*, 4, 174–214. <https://doi.org/10.3390/futuretransp4010010>
- Liu, M. (2022). Lifecycle greenhouse gas emissions and energy cost analysis of flying cars with three different propulsion systems. *Journal of Cleaner Production*, 331, 129985. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129985>

- Logan, K., Hastings, A., & Nelson, J. (2022). *Transportation in a Net Zero World: Transitioning Towards Low Carbon Public Transport*. Cham: Springer.
- Lüdeke, F., Carroux, S., Joyce, A., Massa, L., & Breuer, H. (2018). The sustainable business model pattern taxonomy-45 patterns to support sustainability-oriented business model innovation. *Sustainable Production and Consumption*, 15, 145-162. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2018.06.004>
- Marcus, J., Kurucz, E., & Colbert, B. (2010). Conceptions of the Business-Society-Nature Interface: Implications for Management Scholarship. *Business & Society*, 49(3), 402–438. <https://doi.org/10.1177/0007650310368827>
- Material Circularity Indicator (2024). Material Circularity Indicator. The Ellen MacArthur Foundation. <https://acortar.link/rulwB9>
- Merino-Saum, A., Halla, P., Superti, V., Boesch, A., & Binder, C. (2020). Indicators for urban sustainability: Key lessons from a systematic analysis of 67 measurement initiatives. *Ecological Indicators*, 119, 106879. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106879>
- Mostofi, H., Biehle, T., Kellermann, R., & Dienel, H. (2024). Modelling public attitude towards air taxis in Germany. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 24, 101045. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2024.101045>
- Müller, L., Kätelhön, A., Bachmann, M., Zimmermann, A., Sternberg, A., & Bardow, A. (2020). A Guideline for Life Cycle Assessment of Carbon Capture and Utilization. *Frontiers in Energy Research*, 8, 15, 1-20. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2020.00015>
- NASA (2018). *UAM Market Study*. Washington DC: National Aeronautics and Space Administration.
- Onat, N., Kucukvar, M., Halog, A., & Cloutier, S. (2017). Systems Thinking for Life Cycle Sustainability Assessment: A Review of Recent Developments, Applications, and Future Perspectives. *Sustainability*, 9(5), 706. <https://doi.org/10.3390/su9050706>
- Peña, C. (2021). Using life cycle assessment to achieve a circular economy. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 26, 215–220. <https://doi.org/10.1007/s11367-020-01856-z>
- Petersen, K., Feldt, R., Mujtaba, S., & Mattsson, M. (2008). Systematic mapping studies in software engineering. *12th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering*. <https://doi.org/10.14236/ewic/EASE2008.8>
- Petersen, K., Vakkalanka, S., & Kuzniarz, L. (2015). Guidelines for conducting systematic mapping studies in software engineering: An update. *Information and Software Technology*, 64, 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2015.03.007>
- Ploetner, K. (2020). Long-term application potential of urban air mobility complementing public transport: an upper Bavaria example. *CEAS Aeronautical Journal*, 11(4), 991–1007. <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).
- 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>

- Porsche Consulting (2018). *The Future of Vertical Mobility*. Porsche Consulting.
- Porsche Consulting (2021). *The economics of vertical mobility*. Porsche Consulting.
- PRB (2020). 2020 World Population Data Sheet. Population Reference Bureau (PRB). <https://interactives.prb.org/2020-wpds/>
- Preis, L. (2021). Quick Sizing, Throughput Estimating and Layout Planning for VTOL Aerodromes – A Methodology for Vertiport Design. *AIAA Aviation Forum*. <https://doi.org/10.2514/6.2021-2372>
- Reyes García, J., Lenz, G., Haveman, S., & Bonnema, G. (2019). State of the Art of Mobility as a Service (MaaS) Ecosystems and Architectures-An Overview of, and a Definition, Ecosystem and System Architecture for Electric Mobility as a Service (eMaaS). *World Electric Vehicle Journal*, 11(1), 7. <https://doi.org/10.3390/wevj11010007>
- Riesener, M., Dölle, C., Kreß, J., Boßmann, C., & Schuh, G. (2021). Methodology for Structuring and Bundling Product-Service Systems. *Proceedings of the 23rd International DSM Conference*. <https://doi.org/10.35199/dsm2021.7>
- Riza, L., Bruehl, R., Fricke, H., & Planing, P. (2024). Will air taxis extend public transportation? A scenario-based approach on user acceptance in different urban settings. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 23, 101001. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2023.101001>
- Roland-Berger (2018). *Urban Air Mobility: The Rise of a New Mode of Transportation*. Roland Berger GmbH.
- Roland-Berger (2020). *Urban Air Mobility*. Roland Berger GmbH.
- Science Based Targets (2024). Ambitious corporate climate action. <https://sciencebasedtargets.org/>
- Shakeel, J., Mardani, A., Chofreh, A., Goni, F., & Klemes, J. (2020). Anatomy of sustainable business model innovation. *Journal of Cleaner Production*, 261, 121201. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121201>
- Shon, H., Kim, S., & Lee, J. (2024). Optimal planning of urban air mobility systems accounting for ground access trips. *International Journal of Sustainable Transportation*. <https://doi.org/10.1080/15568318.2024.2311125>
- Silva, S., Duarte, S., Melo, S., Witkowska-Konieczny, A., Giannuzzi, M., & Lobo, A. (2023). Attitudes towards Urban Air Mobility for E-Commerce Deliveries: An Exploratory Survey Comparing European Regions. *Aerospace*, 10, 536. <https://doi.org/10.3390/aerospace10060536>
- Stark, J. (2022). Product Lifecycle Management (PLM). In: *Product Lifecycle Management (Volume 1)*. *Decision Engineering*, Roy, R. (Ed.). Cham: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-98578-3\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-98578-3_1)
- Straubinger, A., Michelmann, J., & Biehle, T. (2021). Business model options for passenger urban air mobility. *CEAS Aeronautical Journal*, 12, 361–380. <https://doi.org/10.1007/s13272-021-00514-w>
- 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>

- Stubbs, W., & Cocklin, C. (2008). Conceptualizing a sustainability business model. *Organization & Environment*, 21(2), 103–127. <https://doi.org/10.1177/1086026608318042>
- SUMP-European Unión (2024). Sustainable urban mobility planning and monitoring. <https://acortar.link/odITKo>
- Tabor, A. (2021). At California blazes, NASA team observes how drones fight wildfire. NASA. <https://acortar.link/LrivYY>
- Tojal, M., & Paletti, L. (2023). Is Urban Air Mobility Environmentally Feasible? Defining the Guidelines for a Sustainable Implementation of its Ecosystem. *Transportation Research Procedia*, 72, 1747-1754. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2023.11.649>
- Tojal, M., Hesselink, H., Fransoy, A., Ventas, E., Gordo, V., & Xu, Y. (2021). Analysis of the definition of Urban Air Mobility – how its attributes impact on the development of the concept. *Transportation Research Procedia*, 59, 3–13. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.11.091>
- UIC2-UAM (2021). *Urban Air Mobility and Sustainable Urban Mobility Planning – Practitioner Briefing*. Brussels: European Commission.
- UN (2024). *United Nations Sustainable Development Goals*. New York: Department of Economic and Social Affairs, United Nations. <https://sdgs.un.org/goals>
- Upward, A., & Jones, P. (2016). An Ontology for Strongly Sustainable Business Models: Defining an Enterprise Framework Compatible with Natural and Social Science. *Organization & Environment*, 29(1), 97–123. DOI: <https://doi.org/10.1177/1086026615592933>
- van Mierlo, J. Messagie, M., & Rangaraju, S. (2017). Comparative environmental assessment of alternative fueled vehicles using a life cycle assessment. *Transportation Research Procedia*, 25, 3435-3445. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.244>
- Velenturf, A., & Purnell, P. (2021). Principles for a sustainable circular economy. *Sustainable Production and Consumption*, 27, 1437-1457. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.02.018>
- Wu, Z., & Zhang, Y. (2021). Integrated Network Design and Demand Forecast for On-Demand Urban Air Mobility. *Engineering*, 7(4), 473-487. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2020.11.007>