

# VOD (Low-Altitude Traffic-Led Development): Comparaciones internacionales y enfoque chino

JIN Lixia, LI Shan, ZENG Jiarong, ZHANG Deya, WU Xinxin

**Resumen:** Las tecnologías de transporte de baja altitud están impulsando sistemas de transporte urbano desde redes bidimensionales hacia estructuras tridimensionales. Como extensión del desarrollo orientado hacia el tránsito (TOD) en la dimensión de baja altitud, el desarrollo vertical (VOD) integra funciones urbanas alrededor de las instalaciones verticales de despegue y aterrizaje, ofreciendo una nueva vía para las ciudades de alta densidad para aliviar la congestión y optimizar la estructura espacial. Construyendo un marco analítico tridimensional del espacio, la institución y la industria, este estudio examina caminos internacionales diferenciados, incluyendo la integración aérea de Osaka, el acoplamiento del corredor de París, el empoderamiento de la plataforma de Dubai y el piloto transferible de Coventry. Se identifican retos en la práctica local de China, como la coordinación de la planificación del espacio aéreo, barreras de gobernanza intersectoriales, una resistencia débil a los modelos empresariales y una aceptación social limitada. Propone entonces un camino sistémico de la reestructuración espacial, la innovación institucional y la sinergia industrial, haciendo hincapié en la transición del VOD de la validación conceptual a la integración del sistema a través de la gobernanza espacial modernizada, la organización espacial en red y los ecosistemas industriales diversificados. El estudio amplía la connotación teórica del desarrollo impulsado por el tráfico y proporciona apoyo teórico y referencias prácticas para el desarrollo de alta calidad de la economía de baja altitud de China y la reestructuración espacial urbana.

**Palabras clave:** economía de baja altitud; movilidad del aire urbano (UAM); modelo de desarrollo vertical (VOD); comparación internacional; camino de China

La rápida urbanización mundial ha intensificado la congestión de tráfico y la escasez de recursos espaciales en grandes ciudades [1]. TOD, centrado en el tránsito ferroviario, se basa en el desarrollo planario a lo largo de la infraestructura lineal y, por lo tanto, se enfrenta a limitaciones en áreas de alta densidad construidas y terreno complejo, incluyendo escasez de tierras, altos costos y diferenciación social [2]. Al mismo tiempo, las redes de transporte bidimensional se están acercando a la saturación de la capacidad y tienen dificultades para satisfacer la demanda de viajes diversificada, de alta frecuencia y sensible al tiempo. Las tecnologías de transporte de baja altitud representadas por el eVTOL se están desarrollando rápidamente y pueden reducir la dependencia del transporte urbano en el espacio superficial, apoyando una transformación tridimensional de la movilidad urbana. Por consiguiente, la economía de baja altitud se ha considerado como una fuerza estratégica para la reestructuración del espacio urbano, la mejora de la eficiencia operacional integrada y el cultivo de nuevos polos de crecimiento.

Algunas áreas metropolitanas internacionales ya han explorado pilotos de transporte de baja altitud y han formado preliminarmente modelos de desarrollo de baja altitud, caracterizados por la integración en el aire, la operación basada en datos y la colaboración multiactor. La práctica hace hincapié en los lugares de despegue y aterrizaje verticales como nodos básicos que integran las redes de transporte terrestre y de baja altitud, el diseño funcional urbano y los ecosistemas industriales regionales. El informe avanzado de planificación de la movilidad aérea de la American Planning Association propone explícitamente el concepto VOD, que esencialmente construye un sistema de desarrollo vertical organizado alrededor de vertipuertos y remodela la estructura espacial urbana y los patrones regionales [3]. En comparación con el TOD, la investigación existente sobre el VOD todavía se centra en las normas tecnológicas, la gestión del espacio aéreo y los modelos empresariales [4-9], y carece de una perspectiva urbana sistemática.

Este documento construye un marco de industria-institución espacial integrando la planificación espacial, la economía institucional y la teoría de los ecosistemas industriales. Selecciona Osaka, París, Dubai y Coventry para la comparación internacional, identifica caminos diferenciados y propone una ruta de desarrollo VOD para China orientada a las condiciones locales, orientadas hacia adelante y operativas.

## **1 Examen de la literatura y construcción del marco analítico**

### **1.1 Evolución de la connotación y características fundamentales del modelo VOD**

El VOD se origina en el TOD, pero difiere fundamentalmente porque la herramienta de transporte, el eVTOL y el porteador, el espacio aéreo de baja altitud, cambian la organización y el funcionamiento de la movilidad urbana. Su instalación central es el sitio vertical de despegue y aterrizaje, o vertiport. Al construir un sistema de conexión multimodal de tierra-aire y una unidad funcional compuesta tridimensional, VOD promueve la integración orgánica de la economía de baja altitud y las operaciones urbanas. Sus características básicas incluyen tres aspectos.

En primer lugar, VOD integra espacio tridimensional y distribución de red distribuida. Se rompe a través de la estructura radial planar de TOD y se basa en techos, centros de transporte, espacio verde, espacio frente al agua, y otros espacios potenciales para organizar despegue vertical distribuido y aterrizaje de nodos y rutas de baja altitud. En segundo lugar, VOD requiere entornos institucionales complejos y coordinación interdepartamental. Las operaciones de baja altitud entrañan la asignación del espacio aéreo, la supervisión de la seguridad, la gestión del ruido, la privacidad de los datos, la aviación civil, la planificación territorial, el transporte, la vivienda y el desarrollo rural urbano, la gestión de emergencias, la ecología y la gobernanza de los datos, y por lo tanto dependen en gran medida de la gobernanza de colaboración de múltiples niveles [7-8]. Tercero, el VOD está impulsado por escenarios e integrados con industrias diversificadas, incluyendo respuesta de emergencia, turismo cultural, logística, rescate médico y gobernanza pública [9-15].

### **1.2 Teoría de desarrollo del modelo VOD**

Con la maduración de la tecnología, las instituciones y los mercados, el VOD ha evolucionado a través de tres etapas de germinación conceptual, integración conceptual y exploración práctica, y está avanzando hacia la integración de la red. En la primera etapa, desde finales del siglo XX hasta principios del siglo XXI, todavía no se había formado un modelo claro de desarrollo y operación, pero habían surgido dos ideas: el desarrollo orientado hacia los centros y las herramientas urbanas de transporte de baja altitud. TOD había madurado como un concepto de desarrollo intensivo, mientras que los vehículos aéreos personales y las tecnologías de aviación de baja altitud se probaron en escenarios limitados, como el turismo de elevación vertical y el rescate de emergencia [16-17].

En la segunda etapa, de los años 2010 a principios de los 2020s, batería, materiales, conducción autónoma y tecnologías conexas promovieron el eVTOL del concepto al prototipo de ingeniería. En 2016, el avión autónomo tripulado de EHang completó la verificación pública [18], y Uber propuso un marco operativo urbano de movilidad aérea y un concepto de red vertiport [19-20]. La NASA y otras instituciones comenzaron a estudiar sistemas UTM, y la atención pasó del vuelo de un avión a la operación sistemática [19-20]. China también promovió la gestión del espacio aéreo de baja altitud y la gestión clasificada, mientras que el TOD y la UAM se integraron gradualmente [21-22]. En la tercera etapa, desde principios de los años 2020, las ciudades pioneras han explorado prácticas diversificadas, incluyendo la verificación de vertipuerto modular incrustada de Osaka [23-24], la red de vertiportes dedicada de Dubai y la construcción de marcas urbanas [25-27], y la demostración móvil modular Air-One de Coventry [28]. El futuro VOD se desarrollará hacia la integración en red, con redes de

tráfico de baja altitud que sirven como nueva infraestructura que se conecta profundamente con la energía urbana, los datos y los sistemas funcionales (Fig. 1).

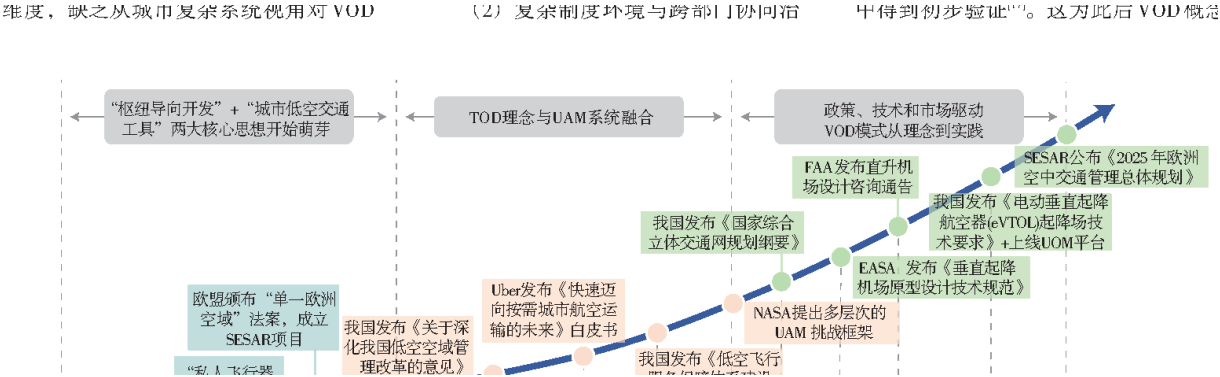


Fig. 1 Etapas de desarrollo de modelos VOD.

1.3 Marco tridimensional de la industria espacial

Para superar la investigación fragmentada, este documento construye un marco analítico tridimensional del espacio, la institución y la industria (Fig. 2). Destaca su interacción y proporciona una perspectiva unificada para explicar la compleja lógica de la implementación y operación de VOD.

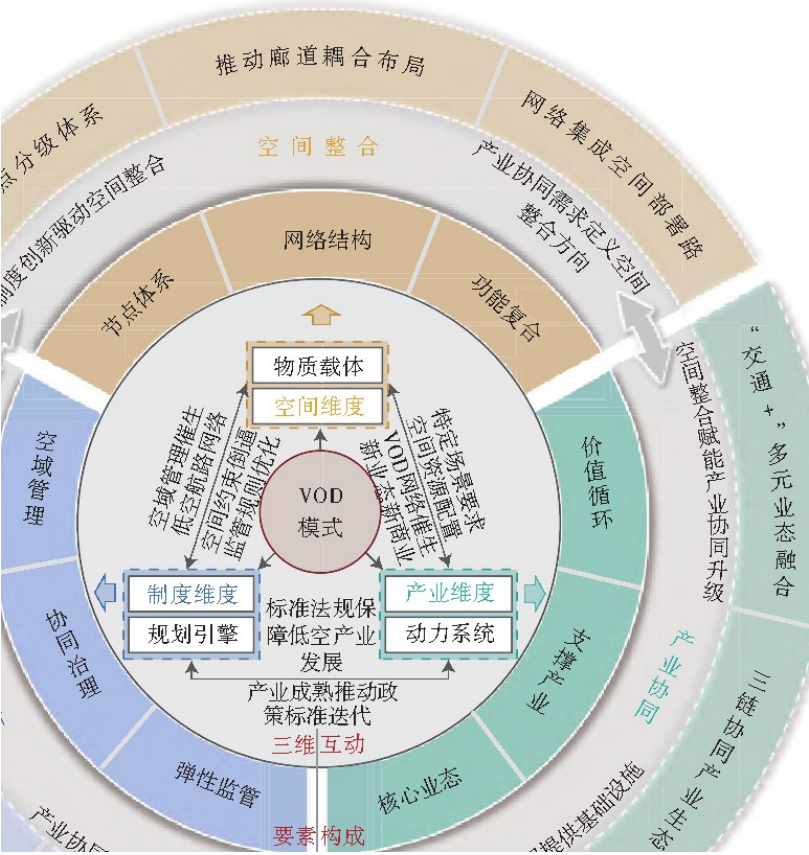


Fig. 2 Marco tridimensional de la industria espacial.

1.3.1 Dimensión espacial: portador material y base morfológica de VOD

La dimensión espacial es la base material para realizar el VOD. Determina la eficiencia estructural de las redes de baja altitud. Los elementos clave incluyen el tipo de nodo y la selección del sitio, evolucionando desde centros centralizados dependientes de aeropuertos o estaciones de tren de alta velocidad a nodos distribuidos utilizando techos, estacionamientos y otros espacios latentes; organización de rutas y redes terminales, que conecta nodos a través de rutas de baja altitud y los vincula con sistemas de transporte terrestre y subterráneo; y integración funcional y desarrollo tridimensional, que busca un complejo funcional extremo en la dirección vertical para que los vertipuertos se conviertan en comercio urbano.

### **1.3.2 Dimensión institucional: garantía clave y motor regulador para la implementación de VOD**

La dimensión institucional proporciona el entorno de reglas para la operación VOD. Su núcleo reside en arreglos institucionales orientados hacia el futuro, coordinados y flexibles. Las normas y normas de gestión del espacio aéreo deben abarcar la clasificación del espacio aéreo, la asignación dinámica, el control de ruido, las normas de seguridad y la certificación de la valía del aire, garantizando así un intercambio seguro y eficiente del espacio aéreo [36-37]. Las normas técnicas emitidas por organismos como la FAA y la EASA proporcionan referencias importantes para la normalización de la infraestructura de VOD [33]. La planificación del espacio aéreo de baja altitud, incluidas las estructuras de ruta, las capas espaciales y la distribución de los nodos, es un vínculo importante para mejorar la capacidad de carga y la eficiencia operacional [38]. Los mecanismos de gobernanza intersectoriales también son esenciales para conectar la gobernanza orientada a la aprobación con la gestión habitual de la colaboración [39-40]. Los pilotos de políticas y las herramientas reglamentarias son especialmente importantes en las primeras etapas de la aplicación de la tecnología, proporcionando espacio para el ensayo bajo riesgo control [41-42].

### **1.3.3 Dimensión industrial: capacidad de funcionamiento sostenible de VOD**

La dimensión industrial se refiere a la viabilidad económica de VOD y la resiliencia ecológica. Las empresas básicas y el cultivo del mercado generan un valor inicial mediante la conmutación, la logística de emergencia, el turismo cultural, los servicios de emergencia médica y escenarios similares [10-12]. Las industrias de apoyo y la construcción de ecosistemas dependen de MRO, redes de suministro de energía distribuidas, plataformas de servicio de datos de vuelo, capacitación de talentos, seguros y finanzas. El modelo de negocio determina la sostenibilidad. La experiencia internacional muestra que VOD debe ampliar los ingresos no aeronáuticos y construir una rentabilidad sostenible a través del comercio minorista, la publicidad, la exposición, el desarrollo de la propiedad y los servicios relacionados a los vertipuertos, formando un ciclo de valor virtuoso de atracción de tráfico y realización comercial [43].

### **1.3.4 Marco sistémico: interacción y evolución colaborativa entre las tres dimensiones**

Las dimensiones espaciales, institucionales e industriales son interdependientes y constituyen un sistema orgánico. En la interacción con la creación de espacio, la planificación espacial proporciona redes de rutas de baja altitud finas, mientras que el espacio urbano denso también requiere normas reglamentarias más detalladas. En la interacción institucional-industria, la certificación clara de eficiencia aérea y las regulaciones de funcionamiento son requisitos para el desarrollo eVTOL, mientras que la madurez industrial y el escalado impulsan continuamente la mejora de las normas y políticas. En la interacción entre el sector y el espacio, escenarios específicos de aplicaciones, como la logística rápida, requieren diseños y funciones de nodos que puedan cubrir áreas amplias de manera eficiente, formando un modelo en el que la distribución de rutas y la industria demandan mutuamente reforzarse. En general, VOD es un ecosistema formado por integración espacial, innovación institucional y colaboración industrial.

## **2 Experiencia internacional y análisis multidimensional de modelos VOD**

Sobre la base del marco de la industria espacial, este documento compara cuatro casos representativos: Osaka in Japan, Paris in France, Dubai in the United Arab Emirates, and Coventry in the United Kingdom.

### **2.1 Osaka, Japón: desde la integración de la estación hasta una ruta integrada de la vía aérea**

Osaka se basa en una red ferroviaria madura y en la experiencia de la integración de la estación-ciudad para explorar una vía VOD que incorpora instalaciones de baja altitud a los centros de transporte existentes. Esencialmente, se necesita la integración integrada del centro ferroviario de alta densidad como su núcleo. El vertiport de demostración de OSAKAKO se integra en una estación de tren con instalaciones de candidatos, suministro de energía y conexiones de estacionamiento, formando un sistema de transferencia tridimensional de aire-tierra y mejorando la eficiencia de conexión (Fig. 3). Institucionalmente, se basa en el sistema de planificación integral de desarrollo y transporte territorial maduro de Japón, que incorpora instalaciones de baja altitud en la gobernanza de la TD. Industrialmente, es impulsado por la conmutación y el comercio, utilizando el flujo de pasajeros del centro ferroviario para proporcionar servicios de conmutación de alta gama y ampliar las empresas minoristas y de exposiciones.



Fig. 3 Osaka Osakako aeropuerto vertical de despegue y aterrizaje.

### **2.2 París, Francia: conexión multimodal de agua subterránea y acoplamiento de bajo impacto con distritos históricos**

París explora un camino de intervención ligero en el contexto de la protección histórica de distrito y la integración del transporte. Espacialmente, los vertipuertos se priorizan a lo largo del Sena y los centros de transporte existentes, como aeropuertos, estaciones de ferrocarril y puertos, formando un corredor de tierra-rail-agua. Este enfoque de bajo impacto, altamente integrado, evita perturbaciones directas a la textura histórica, al mismo tiempo que aborda limitaciones estructurales como la eficiencia de conexión débil y la capacidad limitada de carga de nodos [46-47]. Institucionalmente, el plan de movilidad regional de París posiciona al VOD como una mejora operacional que no añade ocupación superficial y puede conectarse profundamente con los sistemas existentes. Industrialmente, se centra en escenarios de alto valor como el turismo cultural y las conexiones de aeropuerto (Fig. 4).



Fig. 4 Paris air-water transfer node.

### 2.3 Dubai, UAE: desarrollo de plataformas impulsados por centros habilitados por políticas de zona libre

Dubai utiliza su economía central y sus ventajas institucionales de zona libre para mejorar el VOD en un transportista de plataforma vinculado al transporte industrial [25]. Spatially, it prioritizes vertiport layout in airports, CBDs, coastal tourism zones, and ports, coupling these nodes with urban rail and road networks to form a port-airport-corridor-cluster pattern [26]. Institucionalmente, se basa en mecanismos de liberación rápida dentro de zonas y departamentos libres como las autoridades de transporte y seguridad, con un funcionamiento unificado por la Autoridad de Transporte y Carreteras, reduciendo las barreras de aprobación y supervisión. Industrialmente, busca construir una plataforma industrial centrada en el transporte, logística, MRO, convenios, comercio y cadenas de suministro transfronterizas [27].

### 2.4 Coventry, UK: VOD transferible y verificación de bajo costo bajo flexibilidad institucional

Frente a la incertidumbre tecnológica y del mercado, Coventry desarrolló una trayectoria experimental de VOD caracterizada por intervención ligera, validación rápida y despliegue replicable. Spatially, the Air-One demonstration site was deployed in an urban parking lot, connected with railway stations and core business districts, and adopted a modular settings that was compact, quickly deployedable, transferable, and low-disturbance (Fig. 5). Institucionalmente, Coventry hizo pleno uso de la Orden General de Desarrollo Permiso y los mecanismos de permisos temporales para proporcionar un entorno institucional de bajo riesgo para la verificación operacional de escenario real sin un cambio complejo de uso de la tierra o una construcción permanente [48]. Industrialmente, utilizó operaciones de ensayo y el sector manufacturero como puntos de entrada, introdujo catering, retail, publicidad y otros servicios no aeronáuticos, y acumulaba prototipos de verificación y datos operativos a través de demostraciones y participación pública.



Fig. 5 Coventry Air-One.

### 2.5 Resumen de la experiencia internacional

Los cuatro casos internacionales muestran caminos diferenciados pero comparables (tabla 1). Su tendencia común es pasar del nodo de transporte a la plataforma funcional, de un solo punto a la construcción de redes, y del desarrollo dirigido por el gobierno al ecosistema de mercado. La aplicación eficaz de los recursos hídricos depende de una estructura precisa y de la construcción de redes a nivel espacial, la flexibilidad institucional y la coordinación intersectorial a nivel institucional, así como el cultivo de mercados y la creación de ecosistemas industriales a nivel industrial.

**Cuadro 1 Comparación de modelos VOD en ciudades internacionales**

| Modelo de representación                              | Integración espacial                                                                                                                 | Innovación institucional                                                                                                                                | Sinergia industrial                                                                                                        | Escenarios aplicables                                                                      |
|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| Osaka: centro integrado de carga aérea                | Incrustado en los ya existentes centros ferroviarios de alta densidad; capacidad de nodo hasta unos 100.000 pasajeros al año         | Amplia los mecanismos de coordinación y renovación de la TOD, integrando la coordinación del espacio aéreo, el control de ruido y las normas existentes | Ingresos no aeronáuticos comerciales; ingresos no aeronáuticos apuntan alrededor del 30%                                   | Ciudades de alta densidad y zonas maduras de transporte ferroviario                        |
| París: acoplamiento al aire del pasillo               | Arreglados a lo largo del Sena y los nodos de transporte existentes, formando un corredor de tierra-rail-agua; cinco nodos previstos | Adaptación a la protección de zonas históricas y autorizaciones temporales olímpicas; los pilotos ayudan a perfeccionar las reglas                      | Cultura-turismo y conexiones aeropuertos; unos 30 vuelos de prueba, más de 200 km acumulados, alrededor de 1.000 pasajeros | Ciudades históricas, distritos frente al mar y corredores de transporte de alta carga      |
| Dubai: acoplamiento industrial con plataforma central | Vertiports priorizó en aeropuertos, CDB y puertos; capacidad planeada alrededor de 42.000 vuelos y 170.000 pasajeros al año          | Expedición rápida de zonas libres y operación unificada de autoridad de transporte                                                                      | Cadena de distribución y logística; plataforma para la logística de alta gama y el comercio transfronterizo                | Centros internacionales, zonas libres y grupos industriales                                |
| Coventry: piloto embebido transferible                | Sitio dedicado más instalaciones móviles modulares; ciclo de construcción de diseño de 15 meses y construcción in situ de 11 semanas | Utiliza permisos temporales GPDO y aprobación rápida para validación de bajo riesgo                                                                     | MRO más exposición e integración empresarial; más de 15.000 visitantes y más de 100 pruebas de vuelo                       | Ciudades pequeñas y medianas y distritos de renovación en etapas de validación tecnológica |

### 3 Optimización e implicaciones para la trayectoria de desarrollo del VOD de China basada en la coordinación tridimensional

#### 3.1 Situación de desarrollo y cuellos de botella básicos

##### 3.1.1 Situación del desarrollo y exploración de modelos locales

En los últimos años, con la promoción de la estrategia nacional y la práctica local, la economía de baja altitud de China ha pasado de la validación del concepto a la planificación y ejecución. Ciudades pioneras como Shenzhen, Guangzhou y Chengdu muestran características locales de conexión espacial, escenario primero, y distribución de red. Shenzhen está reconstruyendo un sistema VOD de integración de centros y cobertura de red. Planifica 56 centros y más de 1.500 puntos de despegue y aterrizaje terminales, prioriza siete centros integrales y tres centros experimentales de baja altitud, opera 120 rutas de baja altitud y ha reunido un ecosistema industrial sustancial [24,49]. Guangzhou ha explorado un camino gradual desde el VOD mínimo de unidad y la extensión de corredores a la radiación de red en el área de Nansha Pearl Bay, centrándose en el transporte transfronterizo, la logística y el turismo. Chengdu combina terreno complejo con logística de montaña y enlace de emergencia, creando una red logística de baja altitud en línea de troncos, filiales y terminales y promoviendo la distribución normalizada de montaña [50].

**Cuadro 2 Comparación de modelos VOD en ciudades chinas**

| Región    | Diseño espacial                                                                                                                                          | Innovación institucional                                                                                                                                                       | Ecosistema industrial                                                                                                                                                                                                                    | Camino característico                                                                          |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Shenzhen  | 56 centros más más 1.500 puntos de despegue y aterrizaje terminales; siete centros completos, tres centros experimentales y un centro de pasajeros       | Establece un grupo de tareas sobre economía de baja altitud y pilotos control flexible en el espacio aéreo por debajo de 120 m                                                 | El servicio público y el funcionamiento comercial avanzan juntos; 77,6 vuelos de flete de diez mil vehículos; más de 250 rutas; 28.000 pasajeros de helicópteros; más de 1.700 empresas; valor de salida sobre 90 mil millones de rupias | Acoplamiento de Hub, cobertura de red y liderazgo de fabricación                               |
| Guangzhou | VOD de unidad mínima a la extensión del pasillo y la radiación de red; 22 zonas funcionales, ocho nodos distribuidos y 12.000 m de rutas de baja altitud | Aggregates cross-border low-altitude travel rules and full-airspace unmanned system demonstration-zone exploration; builds a RMB 10-billion low-altitude economy industry fund | Se centra en el transporte transfronterizo, la logística y el turismo de baja altitud; construye una base de montaje eVTOL                                                                                                               | Colaboración en la zona de la bahía, interconexión transfronteriza y empoderamiento financiero |
| Chengdu   | Red de logística de baja altitud de alta resistencia                                                                                                     | Medidas de promoción de la economía de baja altitud                                                                                                                            | Se normaliza la entrega de las montañas; se espera que los vuelos anuales de un solo                                                                                                                                                     | Adaptación del terreno, logística primero y enlace de emergencia                               |

|  |  |  |                                                                                 |  |
|--|--|--|---------------------------------------------------------------------------------|--|
|  |  |  | trayecto lleguen a 260, promoviendo la logística y la vinculación de emergencia |  |
|--|--|--|---------------------------------------------------------------------------------|--|

### 3.1.2 Principales obstáculos y desafíos

Comparado con casos internacionales avanzados, el VOD de China todavía enfrenta varios cuellos de botella. En primer lugar, la coordinación espacial entre los sistemas de planificación y las redes es insuficiente. Todavía no se han incorporado sistemáticamente las rutas de baja altitud, las superficies libres de obstáculos y las capacidades de los nodos en la planificación territorial reglamentaria, lo que ha dado lugar a una base insuficiente para establecer y establecer una coordinación deficiente entre los sistemas de nodos y las zonas funcionales urbanas. En segundo lugar, las cadenas de gobernanza institucional están fragmentadas y la flexibilidad reglamentaria es insuficiente. El transporte de baja altitud es altamente transfronterizo, pero los sistemas existentes implican varios departamentos, los procesos de aprobación son largos y la presentación de misiones de vuelo puede requerir una aplicación anticipada, aumentando los costos institucionales [39,52]. Las normas para la tecnología unificada, la interoperabilidad del equipo, la compatibilidad electromagnética y las interfaces de datos también se retrasan. En tercer lugar, los modelos empresariales siguen siendo singulares y la coordinación de los ecosistemas industriales es insuficiente. Actualmente, las operaciones dependen en gran medida de los subsidios y proyectos de demostración, con un alto costo operativo, una iniciativa de mercado de consumo débil y una coordinación incompleta entre los servicios de transporte, MRO, suministro de energía, servicios de datos, seguros y finanzas [33,54].

### 3.2 Un camino de desarrollo colaborativo tridimensional para el VOD en China

Sobre la base del marco de la industria espacial y de la experiencia internacional, China debe construir un camino sistemático que se traslade de la demostración piloto a la integración del sistema.

#### 3.2.1 Integración espacial: construcción de un modelo de organización espacial de integración de redes de acoplamiento de nodo-hierarquía

A nivel espacial, China debe seguir un camino evolutivo desde la integración de puntos a la integración de redes. En primer lugar, se debe establecer un sistema de tres niveles de ciudad, distrito urbano y comunidad, que corresponda respectivamente a los centros de transporte terrestre por vía aérea, los centros comerciales compuestos y los nodos de servicio público en red. Se debe dar prioridad a los corredores de baja altitud, las aguas, el espacio verde y las rutas de baja altitud de propiedad del gobierno regional para formar una estructura del espacio aéreo de corredores, orientación acuática y apoyo a los nodos. En tercer lugar, se debe formar un modelo de despliegue en red, modular e iterativo. Las etapas tempranas pueden depender de instalaciones móviles y modulares para reducir el riesgo, y las etapas maduras pueden promover gradualmente la composición funcional del nodo y la integración del sistema.

#### 3.2.2 Innovación institucional: construcción de un sistema de coordinación de la planificación, gobernanza flexible y supervisión colaborativa

A nivel institucional, China debe pasar de un permiso condicional a una coordinación sistémica. Los elementos de baja altitud deben integrarse legalmente en la planificación territorial espacial, y las rutas, la distribución de los nodos y la protección libre de obstáculos deben incorporarse en el sistema de integración de múltiples planos. Deben prepararse directrices de clasificación, clasificación y diseño para instalaciones de VOD, y las normas de asignación de vertipuertos para diferentes niveles deben incorporarse en la planificación general y la planificación detallada, realizando la coordinación estatutaria entre aire, tierra, ferrocarril y agua. Deben establecerse plataformas de gobernanza de colaboración intersectoriales para acortar la cadena de la

aprobación a la operación y aclarar las responsabilidades de la aviación civil, los recursos naturales, el transporte, la gestión de emergencias, la seguridad pública y los agentes del mercado.

También debería establecerse un mecanismo regulador flexible. Tras la experiencia internacional, como la autorización temporal de Coventry y el mecanismo de liberación rápida de Dubai, las ciudades chinas pueden desarrollar herramientas regulatorias de caja de arena, permisos temporales y autorización en fase. Para escenarios de bajo riesgo, se pueden explorar procedimientos simplificados; para zonas urbanas de alta densidad, se puede exigir una evaluación más estricta de seguridad, control de ruido y protección de datos. Esto permitirá que la innovación siga bajo riesgo controlable, a la vez que acumula gradualmente la experiencia institucional.

### **3.2.3 Sinergia industrial: cultivar un ciclo de valor basado en escenarios y respaldado por ecosistemas**

A nivel industrial, VOD debe evitar depender exclusivamente de las tarifas de transporte y debe cultivar escenarios compuestos. El intercambio, el rescate de emergencia, la logística, el turismo cultural, la gobernanza pública, la inspección y los servicios médicos pueden ser diferenciados por el tipo de ciudad y la condición espacial. Alrededor de vertipuertos, servicios comerciales, exposiciones, publicidad, suministro de energía, MRO, servicios de datos, seguros, finanzas y formación de talento deben organizarse para formar un ecosistema integrado. Los gobiernos locales deben guiar a las empresas de plataformas, las empresas de fabricación de aviación, los operadores inmobiliarios y comerciales, y los proveedores de servicios públicos para participar en la co-creación de escenarios, permitiendo que VOD se traslade del tráfico de demostración a una operación sostenible.

## **4 Conclusión y perspectivas**

Como una extensión de baja altitud del TOD, VOD proporciona una nueva herramienta conceptual y una vía de implementación para las ciudades de alta densidad para responder a la congestión del transporte, la escasez de tierras y la reestructuración espacial. Los casos internacionales muestran que el éxito del VOD no depende únicamente de la tecnología eVTOL, sino de la evolución coordinada de la organización espacial, la gobernanza institucional y la ecología industrial. Osaka pone de relieve la integración de la vía aérea integrada, París demuestra el acoplamiento de corredores bajo protección histórica de distrito, Dubai muestra el empoderamiento de la plataforma a través de la economía central y la política de zona libre, y Coventry proporciona un modelo piloto transferible y de bajo costo.

Para China, el desarrollo del VOD está entrando en una transición crítica de los pilotos aislados a la integración sistemática. La labor futura debe fortalecer tres aspectos: la integración de las rutas de baja altitud, los vertipuertos y la protección libre de obstáculos en la planificación territorial; la creación de sistemas reglamentarios flexibles pero responsables mediante la coordinación de la planificación, las cajas de arena reglamentarias y la supervisión intersectorial; y la creación de ecosistemas industriales diversificados impulsados por escenarios y apoyados por operaciones basadas en plataformas. Estas medidas pueden apoyar el desarrollo de alta calidad de la economía de baja altitud y proporcionar una vía de gobernanza espacial para la transformación urbana tridimensional.

## **Referencias**

- [1] Alderson A S, Beckfield J. Power and position in the world city system [J]. American Journal of Sociology, 2004, 109(4): 811-851.
- [2] Liu Xiang, Chen Xiaohong, Pan Haixiao. From station-city integration to corridor integration: a theoretical framework and model optimization of TOD development from the perspective of space of flows [J]. Urban Planning Forum, 2024(4): 34-40.

- [3] American Planning Association. Planning for advanced air mobility [R/OL]. [2025-12-18]. <https://www.planning.org/publications/report/9286262/>.
- [4] Zhang Xiaolan, Huang Weirong. Global trends, China's status and promotion strategies for low-altitude economy development [J]. *Economic Review Journal*, 2024(8): 53-62.
- [5] Goyal R, Reiche C, Fernando C, et al. Urban air mobility (UAM) market study [R]. McLean, VA: The MITRE Corporation, 2018.
- [6] Lineberger R, Hussain A, Rutgers V. Change is in the air: the elevated future of mobility: what's next on the horizon [J]. *Deloitte Insights*, 2019(2): 1-24.
- [7] Liu S, Liu M, Liu S, et al. Research on the security risk governance roadmap in low-altitude economic field based on the economic externality theory [J]. *Engineering Proceedings*, 2025, 80(1): 14.
- [8] Sun X, Wang S, Zhang X, et al. LAERACE: taking the policy fast-track towards low-altitude economy [J]. *Journal of the Air Transport Research Society*, 2025, 4: 100058.
- [9] Huang H, Su J, Wang F Y. The potential of low-altitude airspace: the future of urban air transportation [J]. *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles*, 2024, 9(8): 5250-5254.
- [10] Perez D, Zou B, Farazi N P. Package delivery by electric vertical takeoff and landing aircraft? an attractiveness assessment [J]. *Journal of Air Transport Management*, 2025, 124: 102731.
- [11] Roberts N B, Ager E, Leith T, et al. Current summary of the evidence in drone-based emergency medical services care [J]. *Resuscitation Plus*, 2023, 13: 100347.
- [12] Suo Y, Li C, Tang L, et al. Exploring AAM acceptance in tourism: environmental consciousness's influence on hedonic motivation and intention to use [J]. *Sustainability*, 2024, 16(8): 3324.
- [13] Xu H, Wang L, Han W, et al. A survey on UAV applications in smart city management: challenges, advances, and opportunities [J]. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 2023, 16: 8982-9010.
- [14] Lu Jishan. New infrastructure of sky roads: a new engine for upgrading low-altitude transport [J]. *New Economy Weekly*, 2025(8): 34-41.
- [15] Zhao Zhongshan, Zhao Xi, Shao Wei, et al. Artificial intelligence and big data enabling the intelligent transformation of the low-altitude economy [J]. *China Engineering Consulting*, 2025(7): 113-118.
- [16] Calthorpe P. *The Next American Metropolis: Ecology, Community, and the American Dream* [M]. New York: Princeton Architectural Press, 1993.
- [17] Moore M. 21st century personal air vehicle research [C]//AIAA International Air and Space Symposium and Exposition: The Next 100 Years. Dayton, OH: AIAA, 2003.
- [18] EHang. EHang launches the autonomous aerial vehicle EHang 184 at CES [EB/OL]. [2025-12-18]. <https://www.ehang.com/cn/news/55.html>.
- [19] Fadhil D N. A GIS-based analysis for selecting ground infrastructure locations for urban air mobility [D]. Munich: Technical University of Munich, 2018: 31.
- [20] Uber. Uber Elevate white paper (Oct 2016) [R/OL]. (2016-10) [2025-11-05]. <https://evtol.news/news/uber-elevate-white-paper-oct-2016>.
- [21] State Council and Central Military Commission. Opinions on deepening China's low-altitude airspace management reform [EB/OL]. [2025-10-29]. [https://www.ndrc.gov.cn/fggz/tzgg/ggkx/201011/t20101117\\_1050983.html](https://www.ndrc.gov.cn/fggz/tzgg/ggkx/201011/t20101117_1050983.html).
- [22] General Office of the State Council. Guiding opinions on promoting the development of the general aviation industry: Guobanfa [2016] No. 38 [Z]. 2016-05-13.
- [23] SkyDrive Inc. Osaka Metro unveils OSAKAKO Vertiport, a new takeoff and landing facility for eVTOL at Expo 2025 [EB/OL]. (2024-11-22) [2025-12-18]. <https://en.skydrive2020.com/archives/14888>.

- [24] Shenzhen Municipal Transport Bureau. Major events of Shenzhen's low-altitude economy in 2024 [EB/OL]. (2025-01-17) [2025-12-18]. [https://jtys.sz.gov.cn/zwgk/jtzt/gzdt/content/post\\_11965749.html](https://jtys.sz.gov.cn/zwgk/jtzt/gzdt/content/post_11965749.html).
- [25] Zhang Fan, Li Li. Path and policy implications of Dubai's hub-economy transformation [J]. *Global Urban Studies*, 2023, 4(4): 133-146, 192-193.
- [26] Chaudhry G A. Evolution of the transportation system in Dubai [J]. *Network Industries Quarterly*, 2012, 14(1): 7-11.
- [27] Skyports Infrastructure. World's first commercial vertiport DXV reaches topping-out construction milestone [EB/OL]. (2023-10-31) [2025-12-18]. <https://skyports.net/worlds-first-commercial-vertiport-dxv-reaches-topping-out-construction-milestone/>.
- [28] Urban-Air Port Ltd. Air One event [EB/OL]. (2022) [2025-12-18]. <https://www.urbanairport.com/airone>.
- [29] Wang Jing, Tang Qingmiao, Guo Weilong, et al. Development process and experience of urban air mobility in the United States, Europe and Japan [J]. *Urban Planning International*, 2025, 40(1): 1-9.
- [30] CPC Central Committee and State Council. Outline of the national comprehensive three-dimensional transport network plan [R/OL]. (2021-02) [2025-12-26]. [https://www.gov.cn/zhengce/2021-02/24/content\\_5588654.htm](https://www.gov.cn/zhengce/2021-02/24/content_5588654.htm).
- [31] Civil Aviation Administration of China. Announcement on matters concerning supervision and services for civil unmanned aircraft [EB/OL]. (2024-01-03) [2025-10-29]. [https://www.caac.gov.cn/XXGK/XXGK/TZTG/202401/t20240103\\_222078.html](https://www.caac.gov.cn/XXGK/XXGK/TZTG/202401/t20240103_222078.html).
- [32] Office of the National Air Traffic Control Commission. Notice on issuing the national basic airspace classification method [EB/OL]. (2023-12-21) [2025-10-29]. [https://www.caac.gov.cn/XXGK/XXGK/TZTG/202312/t20231221\\_222397.html](https://www.caac.gov.cn/XXGK/XXGK/TZTG/202312/t20231221_222397.html).
- [33] Dang Qingqing, Li Huan, Wang Guangqiu, et al. Review of vertiport development for urban air mobility [J]. *Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics*, 2025, 52(3): 1-16.
- [34] Straubinger A, Rothfeld R, Shamiyeh M, et al. An overview of current research and developments in urban air mobility: setting the scene for UAM introduction [J]. *Journal of Air Transport Management*, 2020, 87: 101852.
- [35] Huang Jianzhong, He Jiawen, Zhang Weicong, et al. Urban low-altitude planning: elements, implementation pathways and planning responses for air-ground coordination [J]. *Urban Planning Forum*, 2025(5): 14-22.
- [36] Huang C, Fang S, Wu H, et al. Low-altitude intelligent transportation: system architecture, infrastructure, and key technologies [J]. *Journal of Industrial Information Integration*, 2024, 42: 100694.
- [37] Bauranov A, Rakas J. Designing airspace for urban air mobility: a review of concepts and approaches [J]. *Progress in Aerospace Sciences*, 2021, 125: 100726.
- [38] Liu Quan, Chen Yaoyao, Hong Xiaowei, et al. International experience in urban low-altitude airspace planning for UAVs [J]. *Urban Planning Forum*, 2024(5): 64-70.
- [39] Wang Jiwu, Wang Yining, Zhang Junshen. Planning response strategies for low-altitude airspace use under the low-altitude economy [J]. *Planners*, 2025, 41(4): 31-38.
- [40] Bharadwaj S, Carr S, Neogi N, et al. Decentralized control synthesis for air traffic management in urban air mobility [J]. *IEEE Transactions on Control of Network Systems*, 2021, 8(2): 598-608.
- [41] Ding Zhihua. Application exploration and legal construction of autonomous driving regulatory sandboxes [J]. *Journal of Beijing Jiaotong University (Social Sciences Edition)*, 2025, 24(1): 122-133.
- [42] Koumoutsidi A, Pagoni I, Polydoropoulou A. A new mobility era: stakeholders' insights regarding urban air mobility [J]. *Sustainability*, 2022, 14(5): 3128.
- [43] Graham A. How important are commercial revenues to today's airports? [J]. *Journal of Air Transport Management*, 2009, 15(3): 106-111.
- [44] SkyDrive Inc. SkyDrive\_TOP [EB/OL]. [2025-12-18]. <https://en.skydrive2020.com/>.

- [45] Shen Zhenjiang, Ma Yan, Guo Xiao. Research methods and recent trends in Japanese territorial spatial planning [J]. Journal of Urban and Regional Planning, 2019, 11(2): 92-106.
- [46] Zhuo Jian. From technical transport planning to policy-oriented transport planning: implications of the Paris Region Urban Mobility Plan (PDUIF) [J]. Urban Transport of China, 2019, 17(4): 17-26, 34.
- [47] Marmet J. First integrated vertiport inaugurated in Paris, epicentre of sustainable advanced air mobility in Europe [EB/OL]. (2023-05-16) [2025-12-18]. <https://presse.groupeadp.fr/first-vertiport-pontoise/>.
- [48] Participation E. The Town and Country Planning (General Permitted Development) (England) Order 2015 [EB/OL]. [2025-12-16]. <https://www.legislation.gov.uk/uksi/2015/596/contents>.
- [49] Shenzhen Municipal Planning and Natural Resources Bureau, Shenzhen Development and Reform Commission, Shenzhen Municipal Transport Bureau. Layout plan for low-altitude aircraft take-off and landing facilities in Shenzhen (2026-2035) [R/OL]. (2025-09-28) [2025-12-18]. [https://www.sz.gov.cn/cn/xxgk/zfxxgj/ghjh/csgz/zxgh/content/post\\_12470231.html](https://www.sz.gov.cn/cn/xxgk/zfxxgj/ghjh/csgz/zxgh/content/post_12470231.html).
- [50] Chengdu Municipal People's Government. A 40-minute mountain route takes only 8 minutes: mountain airborne couriers are coming [EB/OL]. (2024-12-18) [2025-12-18]. [https://www.chengdu.gov.cn/cdsrmzf/c169603/2024-12/18/content\\_a43711db7fdd417f968d12fdb3e1838d.shtml](https://www.chengdu.gov.cn/cdsrmzf/c169603/2024-12/18/content_a43711db7fdd417f968d12fdb3e1838d.shtml).
- [51] Shaanxi Party Building Network [EB/OL]. [2025-12-18]. <https://www.sx-dj.gov.cn/ywsd/rdgc/1922135595345530881.html>.
- [52] Giuffrida N, Le Pira M, Inturri G, et al. On-demand flexible transit in fast-growing cities: the case of Dubai [J]. Sustainability, 2020, 12(11): 4455.
- [53] Participation E. The Town and Country Planning (General Permitted Development) (England) Order 2015 [EB/OL]. [2025-12-18]. <https://www.legislation.gov.uk/uksi/2015/596>.
- [54] Chen Yijun, Yu Shasha, Zhang Xuejun. Quantitative assessment of third-party ground risk for UAV operation in urban low-altitude scenarios [J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2025, 51(3): 806-815.

Traducción asistida por IA