

Transferencia y adaptación de un modelo conceptual de Integración de CDU-Drones para la Logística de Última Milla entre Colombia y Panamá

Working Paper Misión Académica Internacional Panamá 2026

Autores:

Andrea Katherine Amezcuita Granados – Diana Paola Bermúdez Callejas

Facultad de Ciencias Económicas, Administrativas y Contables

Maestría en Marketing Internacional y Negocios

Resumen

El crecimiento acelerado del comercio electrónico ha incrementado la presión operacional en las redes de distribución urbana, particularmente en la etapa de última milla, debido a la congestión vial, restricciones operativas y la exigencia de menores tiempos de respuesta. El presente estudio analiza la posible transferencia y adaptación de un modelo conceptual de integración de Centros de Distribución Urbana (CDU) y sistemas de entrega mediante aeronaves no tripuladas (drones) en la logística de última milla entre Colombia y Panamá.

Los hallazgos sugieren que Panamá reúne condiciones logísticas favorables para los CDU como nodos intermedios, mientras que la regulación, las restricciones de seguridad del espacio aéreo y la privacidad de datos condicionan la operación con drones. De igual forma, se analiza cómo una red logística híbrida (CDU-Drones) puede reducir la dependencia del transporte terrestre en tramos congestionados. Por tanto, se identifican las condiciones de implementación, barreras y requerimientos de adaptación de este modelo, teniendo en cuenta las dinámicas comerciales del hub panameño y del mercado colombiano.



Abstract

The rapid growth of e-commerce has increased operational pressure on urban distribution networks, particularly in the last-mile stage, due to traffic congestion, operational constraints, and the demand for shorter response times. This study analyzes the potential transfer and adaptation of a conceptual model for integrating Urban Distribution Centers (UDCs) and delivery systems using unmanned aerial vehicles (drones) in last-mile logistics between Colombia and Panama.

The findings suggest that Panama has favorable logistical conditions for UDCs to serve as intermediate nodes, while regulations, airspace security restrictions, and data privacy concerns limit drone operations. Similarly, the study analyzes how a hybrid logistics network (UDC-drones) can reduce dependence on ground transportation in congested areas. Consequently, the study identifies the implementation conditions, barriers, and adaptation requirements for this model, considering the commercial dynamics of the Panamanian hub and the Colombian market.

Palabras clave: Logística de última milla, comercio electrónico, centros de distribución urbana y drones.

Keywords: Last-mile logistics, e-commerce, urban distribution centers, drone.

1. Introducción

La acelerada expansión del comercio electrónico (e-commerce) ha reformulado de manera radical las exigencias en los servicios de distribución de productos, convirtiendo la velocidad y la trazabilidad de la entrega en ventajas competitivas determinantes dentro de la logística de última milla. Aunque la tecnología de Drone Delivery, entendida como la entrega a domicilio a través de aeronaves no tripuladas, ya es una realidad en Colombia, debido a que cuenta con un marco regulatorio específico, el RAC 100 expedido por la Aeronáutica Civil en el año 2023. Así mismo, la infraestructura se configura como un elemento clave para articular el uso de drones con las operaciones logísticas existentes.



Bajo esta perspectiva, los CDU podrían cumplir una función de apoyo al integrar espacios destinados al aterrizaje, carga y operación de drones, contribuyendo así a su incorporación en los procesos de entrega de última milla. De forma complementaria, los sistemas de aeronaves no tripuladas o drones surgen como una tecnología disruptiva capaz de superar las limitaciones del transporte terrestre y facilitar entregas más rápidas para segmentos específicos de paquetería. La transferencia o adaptación de este modelo conceptual depende de condiciones de regulación, infraestructura, tecnología y disposición empresarial; conceptos que se desarrollan en el estado del arte.

A partir de este contexto, resulta pertinente analizar no solo las condiciones que permiten la articulación entre CDU-Drones en Colombia, sino también la posibilidad de transferir y adaptar este modelo a otros entornos regionales con características logísticas y territoriales diferentes. En este marco, Colombia se establece como caso de referencia para identificar las condiciones regulatorias, operativas, territoriales y de infraestructura asociadas a la adaptación CDU-Drones, mientras que Panamá constituye el contexto en el cual se analiza la posibilidad de transferencia y los requerimientos necesarios para su adaptación.

En consecuencia, el objetivo general del estudio es analizar las condiciones regulatorias, operativas, territoriales y de infraestructura que condicionan la transferencia y adaptación del modelo CDU-Drones desde el contexto colombiano hacia Panamá en la logística de última milla. En correspondencia, la pregunta que orienta la investigación es: *¿Qué condiciones determinan la transferencia y adaptación del modelo CDU-Drones desde el contexto colombiano hacia Panamá?* De tal manera que, el estudio busca identificar las condiciones, barreras y requerimientos de adaptación que deben considerarse para la implementación del modelo en el contexto panameño.

2. Estado del Arte



El estado del arte se organiza en seis grupos temáticos, definidos a partir de los principales ejes relacionados con el objeto de estudio. Para cada grupo se presentan los autores y el contexto en el que desarrollaron sus investigaciones, así como los principales hallazgos relevantes para este trabajo y su relación con el problema de investigación. Lo cual permite identificar los principales aportes de la literatura revisada y a partir de ellos, establecer su conexión con el presente estudio:

2.1. Última Milla y Comercio Electrónico. Lim et al. (2018) ofrecen una revisión de literatura, un marco de diseño y una agenda de investigación sobre los modelos de última milla impulsados por el consumidor y describen una evolución desde esquemas de rutas terrestres individuales hacia arquitecturas de red más inteligentes y descarbonizadas. Lim y Winkenbach (2019) estudian la configuración de la última milla en el comercio minorista B2C (Business to Consumer) y sitúan este tramo como el de mayor costo y complejidad. El informe de Cushman & Wakefield (2019) aporta la magnitud del peso del transporte en la estructura de costos logísticos. Estos trabajos fundamentan el problema, pero en las fuentes consultadas no se ocupan de la integración CDU-Drones ni de su transferencia entre países. Esa ausencia deja abierta la pregunta por las condiciones de cada contexto, los cuales se tratarán en el punto 2.5.

2.2. Centros de Distribución Urbana. Allen et al. (2012) analizan el papel de los Centros de Consolidación Urbana (CCU) en el transporte sostenible de mercancías, y Gillstrom y Bjorklund (2024) evalúan sus beneficios mediante una revisión sistemática. Ambos estudios fundamentan que los CCU y los CDU permiten racionalizar el tráfico de mercancías mediante la consolidación de carga, aunque su sostenibilidad económica depende de la tasa de utilización y de la ubicación estratégica de la infraestructura. Si bien los estudios revisados abordan los CDU principalmente como nodos de consolidación y distribución del transporte terrestre, no desarrollan su posible función como infraestructura de apoyo para operaciones con drones. Por ello, la integración de esta función se plantea en este estudio como una interpretación derivada de los aportes revisados y no como un hallazgo atribuido a los autores.



2.3 Drones en Logística. Murray y Chu (2015) formalizaron el *Flying Sidekick Traveling*

Salesman Problem para la entrega asistida por drones y mostraron que la sincronización entre vehículo terrestre y dron puede reducir el tiempo total del ciclo de entrega. Mientras que, Dukkanci et al. (2024) revisan las decisiones de localización de instalaciones para la entrega con drones, y Jazairy et al. (2025) presentan una revisión sistemática desde la gestión logística; ambos trabajos son la referencia de este texto para la autonomía energética limitada y la capacidad de carga, generalmente inferior a 3 kg. Mathew et al. (2023) adaptan el modelo UTAUT2 (Teoría Unificada de Aceptación y Uso de la Tecnología 2) para estudiar la aceptación tecnológica de los drones en entregas de alimentos, y Herrera Salgado (2025) revisa el uso de drones en la última milla de productos sensibles. En estas fuentes la discusión aparece concentrada en optimización, localización, aceptación y tipo de carga, con menor atención a las condiciones institucionales de nodos como las zonas francas.

2.4. Integración de CDU y Drones. Al ocuparse de la localización de plataformas operativas, Dukkanci et al. (2024) y Jazairy et al. (2025) permiten pensar el CDU como espacio de lanzamiento, cambio de baterías y procesamiento de inventarios, una función que se articula con el enfoque propuesto en la presente investigación. Navarro et al. (2025) proponen implementar drones en entregas de última milla en áreas urbanas de Colombia y sostienen que un sistema integrado con CDU ofrecería una capacidad de respuesta inferior a 30 minutos (pp. 96, 98), con drones operando en radios de 2 a 5 km. Por otra parte, Guevara-Ortega et al. (2025) combinan un análisis bibliométrico con hallazgos de campo en Colombia. En las fuentes revisadas, se plantean principalmente modelos conceptuales de optimización y propuestas de implementación, más que de resultados obtenidos en operaciones comerciales consolidadas. Por esta razón, la capacidad de respuesta de los drones y los CDU como infraestructura de apoyo señalados en estos estudios, deben entenderse como resultados potenciales que dependen de las condiciones en las que se implemente el sistema.



2.5. Contexto Colombia y Panamá. En Colombia, la implementación de drones en la

logística de última milla se enmarca en un ecosistema documentado que combina regulación, hitos operativos y evidencia empírica. En primer lugar, el Reglamento Aeronáutico Colombiano RAC 100 (Resolución 01983 de 2023) establece los requisitos y condiciones de seguridad para operar sistemas de aeronaves no tripuladas en el espacio aéreo nacional. En segundo lugar, en julio de 2025 la Aeronáutica Civil aprobó a Orkid como la primera empresa nacional para transportar carga liviana mediante drone delivery, marcando un precedente de autorización formal de transporte de carga bajo este régimen (Aeronáutica civil, 2025). Paralelamente, el estudio del MinTIC (2021) sobre logística de última milla evidencia problemas críticos de tiempos de entrega, entregas fallidas en el primer intento y su impacto en la satisfacción y recompra del consumidor de e-commerce, lo que justifica económicamente innovaciones que reducen la incertidumbre de plazo y fallen menos. Desde la perspectiva del operador logístico, Huerfano (2022) sistematiza los desafíos urbanos de la última milla en Colombia (congestión, infraestructura, inseguridad, costos elevados y necesidad de estandarización y transformación digital), situando a los drones como parte de un rediseño de red que debe considerar restricciones urbanas y gobernanza local. Por último, a nivel aplicado, Díaz (2023) propone mecanismos de control y seguimiento del proceso de última milla para una empresa en Bogotá, aportando elementos operativos concretos (trazabilidad, gestión de novedades y coordinación para zonas de despegue/aterrizaje seguras) que es clave para pilotos de drone delivery en entornos urbanos.

En Panamá, el uso de drones en operaciones comerciales se desarrolla en un marco regulatorio intermedio gestionado por la Autoridad Aeronáutica Civil (AAC), que exige registro de aeronaves, certificado de operación para fines comerciales y de seguros, así mismo, establece limitaciones de altitud, velocidad y distancias de seguridad respecto a aeropuertos y personas (Autoridad Aeronáutica Civil de Panamá, 2021). Aunque la normativa permite expresamente el transporte de carga por drones (con prohibición de mercancías peligrosas), la operación



comercial requiere autorización específica de la AAC y está sujeta a restricciones temporales y espaciales por seguridad, como las prohibiciones decretadas en 2025 sobre todo el territorio nacional en periodos críticos (Autoridad Aeronáutica Civil de Panamá, 2025). En términos de casos aplicados, Panamá cuenta con evidencia temprana de entregas comerciales con drones, como las pruebas exitosas de envío de documentos interbancarios realizadas por Multientregas, Banistmo y Latam Drones, y con iniciativas recientes que destacan el potencial de los drones para última milla en zonas rurales y aisladas, incluyendo entregas de medicamentos y comestibles a comunidades de difícil acceso (IT Now, 2019).

En conjunto, los contextos de Colombia y Panamá muestran que la incorporación de drones a la logística de última milla depende de la articulación entre regulación, infraestructura y condiciones operativas. Mientras Colombia presenta un proceso más estructurado en términos de regulación y avances recientes hacia la autorización de operaciones de transporte de carga, Panamá evidencia experiencias comerciales tempranas y aplicaciones en zonas donde las condiciones de acceso representan un desafío para la distribución convencional. En ambos casos, la evidencia revisada permite reconocer que la disponibilidad de drones no es suficiente para garantizar su integración efectiva a la última milla, pues se requiere una infraestructura que facilite su operación y conexión con los procesos logísticos existentes. En este punto, los Centros de Distribución Urbana adquieren relevancia como una posible infraestructura de apoyo para las operaciones aéreas de carga.

2.6. Transferencia y Adaptación entre Contextos. Las fuentes revisadas no incluyen estudios que aborden la transferencia de un modelo CDU-Drones entre diferentes países. Sin embargo, evidencian una marcada diversidad en los marcos regulatorios aplicables a este tipo de operaciones, como el Reglamento de Ejecución (UE) 2019/947 y el marco U-space de la EASA (European Union Aviation Safety Agency [EASA], 2019, 2023), la propuesta de norma de la FAA para operaciones más allá de la línea de vista (Federal Aviation Administration [FAA], 2025), la propuesta de la ANAC de Brasil de un marco de aprobación basado en desempeño para



operaciones BVLOS (*Beyond Visual Line of Sight*) urbanas (Agencia Nacional de Aviación Civil de Brasil, 2025) y el RAC 100 colombiano. Esta diversidad regulatoria permite interpretar que la implementación de un modelo CDU-Drones en diferentes contextos no debería plantearse como una réplica directa de un modelo existente, sino como un proceso de adaptación a las condiciones regulatorias, operativas y territoriales de cada país.

Tabla 1. Síntesis del estado del arte

Con el propósito de sintetizar los principales aportes identificados en la revisión de literatura, la Tabla 1 presenta los seis grupos temáticos analizados, junto con los autores, el contexto de cada estudio, sus aportes relevantes y su relación con la presente investigación. Esta síntesis permite visualizar de manera integrada los principales elementos que sustentan el análisis de la relación entre los Centros de Distribución Urbana y el uso de drones en la logística de última milla.

Tema y Autor	Contexto o tipo de estudio	Aporte relevante	Relación con el trabajo
2.1. Última milla y comercio electrónico Lim et al. (2018); Lim y Winkenbach (2019); Cushman & Wakefield (2019)	Revisión de literatura, análisis de modelos de última milla y estudio de la estructura de costos logísticos.	La última milla presenta una alta complejidad operativa y económica. Se evidencia una evolución hacia modelos de distribución más inteligentes y sostenibles, mientras que el transporte representa una proporción significativa de los costos logísticos.	Fundamenta la problemática de la última milla y la necesidad de buscar alternativas que mejoren la eficiencia. No aborda directamente la integración CDU-Drones ni su adaptación entre países, permitiendo orientar el análisis hacia estas relaciones.
2.2. Centros de distribución urbana	Análisis de los Centros de Consolidación	Los CDU permiten consolidar mercancías y racionalizar el transporte	Aporta las bases conceptuales para comprender el papel de



Allen et al. (2012); Gillstrom y Bjorklund (2024)	Urbana y revisión sistemática de sus beneficios.	urbano. Su sostenibilidad económica depende de la utilización de la infraestructura y de su ubicación estratégica.	los CDU como nodos logísticos. La posibilidad de utilizarlos como infraestructura de apoyo para drones constituye una extensión del enfoque identificado en la literatura revisada.
---	--	---	---

2.3. Drones en logística Murray y Chu (2015); Dukkanci et al. (2024); Jazairy et al. (2025); Mathew et al. (2023); Herrera Salgado (2025)	Modelos de optimización, localización de instalaciones, revisión sistemática, aceptación tecnológica y aplicaciones de drones según el tipo de carga.	La literatura aborda la coordinación entre vehículos y drones, la localización de instalaciones, las restricciones de autonomía y capacidad de carga, la aceptación tecnológica y las aplicaciones en determinados tipos de productos.	Proporciona fundamentos sobre las capacidades y restricciones de los drones en la última milla. Sin embargo, presenta menor atención a la infraestructura de apoyo y a las condiciones institucionales necesarias para su integración con nodos logísticos.
--	---	--	---

2.4. Integración de CDU y drones Dukkanci et al. (2024); Jazairy et al. (2025); Navarro et al. (2025); Guevara-Ortega et al. (2025)	Estudios de localización y optimización, propuestas de implementación y análisis bibliométrico con evidencia conceptual en Colombia.	Se plantea la localización de plataformas operativas y la posibilidad de integrar drones con CDU para operaciones de última milla. Navarro et al. (2025) estiman una capacidad de respuesta inferior a 30 minutos en	Constituye el núcleo conceptual de la investigación al relacionar CDU y drones. No obstante, los modelos y propuestas de implementación, debido a su alcance deben entenderse como potencial y
---	--	--	--



		un sistema integrado con CDU y radios de operación de 2 a 5 km.	condicionado a las características de la operación y la región.
2.5. Contexto Colombia y Panamá Aeronáutica Civil (2023, 2025); MinTIC (2021); Huerfano (2022); Díaz (2023); Autoridad Aeronáutica Civil de Panamá (2024, 2025); IT Now (2019)	Análisis normativo, evidencia empírica, experiencias operativas y estudios aplicados sobre logística de última milla y drones en Colombia y Panamá.	Colombia cuenta con un marco regulatorio específico y avances recientes en la autorización de operaciones de transporte de carga mediante drones. Panamá presenta experiencias comerciales tempranas y aplicaciones en zonas de difícil acceso, dentro de un marco regulatorio con restricciones operativas.	Permite contextualizar la implementación de drones en dos entornos latinoamericanos y reconocer la importancia de las condiciones regulatorias, territoriales, operativas y de infraestructura. Los casos respaldan el análisis de los CDU como posible infraestructura de apoyo en las operaciones aéreas de carga.
2.6. Transferencia y adaptación entre contextos EASA (2019, 2023); FAA (2025); ANAC (2025); RAC 100 colombiano	Revisión de marcos regulatorios y propuestas normativas para operaciones con drones, especialmente aquellas que involucran operaciones BVLOS.	Los diferentes países y regiones presentan marcos regulatorios y condiciones de operación diferenciadas para los drones, lo que evidencia que su implementación no ocurre bajo condiciones homogéneas.	Permite establecer que un modelo CDU-Drones no debe trasladarse de manera directa entre países, sino adaptarse a las condiciones regulatorias, operativas y territoriales de cada contexto.

Fuente. Elaboración propia con base en la construcción del estado del arte.

3. Metodología



A continuación, se presentan los elementos que componen la metodología que se abordó durante el estudio:

3.1. Enfoque. La investigación se desarrolló bajo el enfoque cualitativo, que según Hernández-Sampieri y Mendoza (2018) buscó comprender y analizar el conocimiento existente sobre un fenómeno. En este caso, el fenómeno estudiado correspondió al papel de los CDU como infraestructura de apoyo a la entrega con drones en la última milla, así como las condiciones bajo las cuales un modelo de ese tipo, observado en Colombia, podría potencialmente ser adaptado en Panamá. La aproximación cualitativa resultó pertinente, debido a que el objeto de estudio involucró tecnología emergente, regulación aeronáutica y decisiones empresariales que no lograron medirse en esta etapa de la investigación.

3.2. Método. Se empleó el método analítico-sintético, entendido por Rodríguez y Pérez (2017, p. 186) como la descomposición de un todo en sus partes para luego integrar los resultados y obtener una comprensión global y sistémica. En la fase *analítica* se identificaron las capacidades operativas de los drones, las funciones de los CDU y las condiciones para la transferencia y adaptación en el contexto panameño. En la fase de *síntesis* se integraron esos elementos para explicar cómo la articulación CDU-Drones aportan a la logística de última milla y qué condiciones exigiría su adaptación de acuerdo con las condiciones de cada país.

3.3. Tipo de Estudio. El alcance del estudio fue exploratorio – descriptivo. Fue *exploratorio* porque la integración de CDU y drones constituyó una solución tecnológica emergente y poco estudiada en ambos países. Siguiendo a Hernández-Sampieri y Mendoza (2018), esta combinación permitió analizar un fenómeno existente, y a la vez, preparar las bases para futuras investigaciones. Y fue *descriptivo* porque permitió caracterizar las limitaciones para la transferencia y adaptación del modelo CDU-Drones a las condiciones contextuales de Panamá.

3.4. Fuentes de Información. Se tomaron fuentes de información *secundarias*, las cuales permitieron interpretar, fundamentar y contrastar dicha evidencia con el conocimiento y la información disponible (Sampieri & Mendoza, 2018). Estas comprendieron, artículos científicos y



revisiones de literatura, normas y reglamentos aeronáuticos de organismos como la Aeronáutica Civil de Colombia, EASA, FAA y ANAC de Brasil, así como estudios e informes sectoriales de entidades como Banco Mundial, MinTIC, Cushman & Wakefield, Pwc e IMARC Group y documentos provenientes de repositorios universitarios. Estas fuentes permitieron fundamentar conceptualmente la investigación, contextualizar el desarrollo de los drones y los Centros de Distribución Urbana (CDU), y contrastar aspectos regulatorios, tecnológicos y logísticos. La búsqueda documental se llevó a cabo por medio de bases académicas como Scopus, Web of Science, ScienceDirect y Google Scholar.

3.5. Técnica de Recolección de Datos. La técnica principal de recolección de información se realizó mediante la *revisión documental*, entendida como un proceso sistemático de recopilación, selección, organización y análisis de documentos relevantes para los objetivos de investigación (Sampieri & Mendoza, 2018). Esta técnica permitió identificar y analizar evidencia relacionada con la integración de Centros de Distribución Urbana (CDU) y drones en la logística de última milla, así como las condiciones que favorecieron o limitaron su posible adaptación al contexto panameño.

3.6. Actores. Durante la misión se recogieron apreciaciones de empresarios, académicos y consultores vinculados a Cámaras de Comercio y Zonas Francas de Panamá (entre ellas la Zona Libre de Colón y Panamá Pacífico). El informe de la misión no identificó a los actores por nombre, cargo ni número, ni consigna fechas o un protocolo de aplicación. Ante la ausencia de un guion o registro sistemático, este trabajo no atribuyó a la indagación el carácter de entrevista formal. En consecuencia, la información obtenida mediante conversaciones académicas y empresariales se consideró de carácter exploratorio y sus resultados se presentaron como apreciaciones de los actores consultados, sin pretender representatividad.

3.7. Instrumentos de Recolección de Datos. Se utilizan dos matrices de organización. La primera es una matriz de revisión bibliográfica que registra autor y año, país o contexto de estudio, objetivo, principales resultados, aportes sobre drones y aportes sobre CDU. La segunda



es una matriz de categorías para contrastar la literatura con las apreciaciones de la misión. No se documentó un instrumento de recolección en campo, por lo que no se describe ninguno.

La sistematización y contraste de los hallazgos se ejecutó mediante la matriz de categorías que se detalla en la Tabla 2.

Tabla 2. Matriz sintética de categorías para el análisis documental y de campo

Categoría analítica	Indicadores y fuentes de información
Identificación y Contexto	Ficha bibliográfica, país de origen (Colombia-Panamá) y sector económico.
Infraestructura (CDU/UCC)	Capacidad de acopio, ubicación urbana, franca y factibilidad de vertipuertos.
Operación Aérea (Drones)	Autonomía, capacidad de carga (<i>payload</i>), velocidad y limitaciones geográficas y climáticas.
Marco Regulatorio	Cumplimiento del RAC 100 (Colombia), normativa AAC (Panamá) y restricciones BVLOS.
Perspectiva Misión Panamá	Hallazgos cualitativos con gremios, Zonas Francas y Cámaras de Comercio.
Impacto en Última Milla	Hallazgos respecto a transferencia y adaptación del modelo CDU-Drones

Fuente. Elaboración propia con base en Estructura metodológica adaptada de Hernández-Sampieri y Mendoza (2023) aplicada al análisis transnacional de logística urbana.

4. Desarrollo, Análisis y Resultados

El análisis avanza desde Colombia hacia Panamá en cinco bloques. Se distingue en todo momento entre lo que proviene de la literatura y de los documentos institucionales, lo que fue recogido durante la misión y lo que constituye interpretación de esta investigación.

4.1. La Última Milla y la Integración CDU-Drones en Colombia

Colombia opera como caso base. La propuesta inicial identificó tres factores de la crisis de eficiencia de la logística urbana. El primero es el crecimiento del comercio electrónico, que en América Latina llevó el mercado de entrega de última milla a USD 13,7 mil millones en 2025, con una proyección de 14,38 % anual hasta 2034 (IMARC Group, 2026). Ese crecimiento ha



transformado las expectativas de los consumidores, que demandan entregas más rápidas y precisas. El estudio del MinTIC (2021) ubica los tiempos de entrega de las ciudades capitales entre 21 y 30 horas y reporta que las demoras son la principal inconformidad del 61 % de los consumidores, aunque el 63 % manifiesta sentirse satisfecho con el proceso de envío. Esta investigación interpreta que ambas cifras pueden coexistir: la satisfacción general convive con una expectativa de inmediatez que la operación terrestre no alcanza a cubrir, y ello constituye una oportunidad de mejora para los operadores.

El segundo factor es la insuficiencia del modelo terrestre. Pese a ser el tramo más corto, el transporte representa alrededor del 50,3 % de la estructura de costos logísticos (Cushman & Wakefield, 2019, p. 7). A la congestión severa, la infraestructura vial y las dificultades de acceso en perímetros urbanos densos se les atribuye, en la propuesta inicial de este estudio, la capacidad de triplicar los tiempos de tránsito estimados. Lim y Winkenbach (2019) describen el mismo patrón de saturación vehicular y dispersión de entregas. El contraste entre ciudades ayuda a precisar el argumento. En Bogotá, la densidad urbana, la dispersión respecto de centros de distribución periféricos y la congestión generan una alta variabilidad en los tiempos de recorrido, de modo que distancias lineales cortas se traducen en tránsitos impredecibles, con costos por flota inactiva, mayor consumo de combustible y entregas fuera de ventana. Medellín añade una restricción de topografía que limita la accesibilidad de ciertos sectores. Esta lectura es interpretativa; la literatura consultada (Guevara-Ortega et al., 2025) respalda que las deficiencias viales y la congestión exigen alternativas más eficientes, pero no desagrega por ciudad.

El tercer factor es la brecha entre la disponibilidad de la tecnología y la infraestructura que la sostiene. Colombia expidió el RAC 100 mediante la Resolución 01983 de 2023 (Aeronáutica Civil de Colombia, 2023), y en julio de 2025 la Aeronáutica Civil autorizó a la primera empresa nacional para transporte de carga liviana, siendo Orkid la startup pionera (Aeronáutica Civil de Colombia, 2025). Sin embargo, las operaciones más allá de la línea de vista visual (BVLOS) continúan sujetas a restricciones (Guevara-Ortega et al., 2025), el 64,3 % de los



operadores señala la falta de aterrizaje y carga como principal obstáculo (Navarro et al., 2025, p. 81), y la transición hacia una logística aérea a escala requiere sinergia entre autoridades, empresas y comunidades. Aquí encaja el CDU. Allen et al. (2012) y Gillstrom y Bjorklund (2024) sustentan su función de consolidación; Dukkanci et al. (2024) y Jazairy et al. (2025) señalan que el dron enfrenta límites de autonomía y de carga, generalmente menos de 3 kg. La interpretación de esta investigación es que esos límites explican por qué el dron necesita un nodo cercano que consolide, prepare la carga y sirva de punto de lanzamiento y recarga, así mismo, Navarro et al. (2025, pp. 96, 98) asocian el radio operativo de 2 a 5 km y una respuesta inferior a 30 minutos a un sistema integrado con CDU. Debe advertirse que esa capacidad de respuesta es una estimación de una propuesta de implementación, y no una medición de operación comercial.

Respecto a repositorios universitarios, Huérfano (2022) y Herrera Salgado (2025), examinan respectivamente los desafíos de los operadores en la última milla, el control y seguimiento de este proceso y el uso de drones para productos sensibles. Su alcance es acotado, pero muestran que el tema se investiga en el ámbito académico colombiano. En cuanto a la adopción, la aceptación depende de la percepción de seguridad y de la confianza en la regulación (Valencia-Arias et al., 2022; Mathew et al., 2023), y de una gobernanza colaborativa que integre datos en tiempo real y contratos flexibles (Córdova Gómez y Campos Velásquez, 2025).

4.2. Contexto y Condiciones para la Integración CDU-Drones en Panamá

Panamá resulta un país pertinente para analizar la adaptación del modelo CDU-Drones porque cuenta con un marco aeronáutico nacional específico para aeronaves pilotadas a distancia (RPAS) y con procedimientos administrativos publicados por su autoridad aeronáutica. Esto permite examinar de forma documental qué condiciones podrían facilitar, condicionar o generar incertidumbre en una operación de última milla con drones. El análisis se limita a la evidencia documental revisada y distingue entre lo que esta respalda, lo que constituye una



inferencia analítica y lo que no pudo identificarse, para ello se establecen cuatro factores fundamentales:

4.2.1 Condiciones Regulatorias. La Autoridad Aeronáutica Civil de Panamá (AAC) es la autoridad competente en materia de RPAS y, por tanto, el interlocutor principal de cualquier operación logística con drones. De conformidad con la Resolución N° 004-2021-NRA-DG-AAC del 13 de abril de 2021, que aprueba y adopta la Norma Aeronáutica AAC/DG/DSA/01-21, la cual establece los requisitos para operar sistemas de aeronaves pilotadas a distancia. La AAC también publica orientaciones administrativas sobre el trámite, entre ellas la norma aeronáutica que describe el procedimiento para operar drones (AAC, 2021).

Según esta norma, el interesado presenta una nota ante la Dirección de Seguridad Aérea para solicitar la licencia de piloto, el registro del equipo o ambos. La licencia de piloto se solicita después de la formación y de la presentación del certificado y la nota del establecimiento educativo. Una vez obtenidos la licencia y el registro, se comunica el propósito del sobrevuelo para recibir el Formulario de Operaciones Especiales (AAC, 2021). El mismo documento señala que es importante obtener la licencia de operación, especialmente si el equipo se usara con fines comerciales (AAC, 2021), de modo que una operación de última milla no podría estructurarse como uso recreativo. Así mismo, indica que la aprobación de las solicitudes toma un mínimo de cinco días hábiles (AAC, 2021). Este plazo es un insumo para el cronograma de un piloto, aunque la evidencia revisada no permite asumir que cubra operaciones complejas o BVLOS.

El documento también prevé gestiones para sectores sensibles de la Ciudad de Panamá. Las operaciones en la Cinta Costera, la Avenida Balboa, la Calle 50 y sus zonas circundantes requieren notificar al Servicio de Protección Institucional (SPI). En el Casco Antiguo, la nota se dirige al SPI o a la Policía, con copia a Patrimonio Histórico (AAC, 2021). Esta condición es relevante porque un CDU urbano podría requerir coordinación interinstitucional adicional según



su localización. El documento revisado no ofrece una cartografía pública de zonas restringidas ni evidencia de un visor geográfico oficial equivalente.

Respecto de las áreas aeroportuarias, el documento revisado no establece radios de exclusión. Tampoco trata los parámetros de VLOS/EVLOS ni el límite máximo de altura, aunque sí solicita expresar las altitudes en pies sobre el nivel medio del mar. Estas omisiones corresponden a ese documento y no equivalen a afirmar que la norma no los contemple, pues el articulado de la AAC/DG/01-21 no pudo contrastarse. Como inferencia analítica, un nodo logístico próximo a Tocumen, Albrook o Panamá Pacífico requeriría consulta formal ante la AAC y revisión del espacio aéreo aplicable.

En cuanto al reparto comercial, la evidencia documental revisada no permite establecer la existencia de una habilitación normativa específica para la entrega comercial de mercancías mediante drones. Tampoco se encontró evidencia oficial suficiente que habilite expresamente operaciones BVLOS para logística o reparto (AAC, 2021). Estas ausencias constituyen incertidumbre documental y no deben interpretarse como una prohibición. La situación de la autonomía y del transporte de carga tampoco quedó documentada.

4.2.2 Condiciones Territoriales y de Infraestructura Logística. Este apartado tiene una limitación que debe hacerse explícita. El material documental se concentra en el marco regulatorio de los RPAS y no contiene información sobre la posición logística de Panamá, su conectividad multimodal, la congestión urbana, la Zona Libre de Colón ni la infraestructura de almacenamiento y distribución. Por coherencia con el alcance de las fuentes, estos elementos no se caracterizan aquí.

Lo documentado se reduce a un punto: la Ciudad de Panamá presenta sectores específicos (Cinta Costera, Avenida Balboa, Calle 50 y Casco Antiguo) sujetos a notificación o coordinación adicional para el sobrevuelo (AAC, 2021). Otras consideraciones son inferencias analíticas del análisis comparativo y no constataciones de la AAC. Una es que la cercanía de un nodo a Tocumen, Albrook o Panamá Pacífico exigiría consulta formal ante la AAC. Otra es que el



análisis debe realizarse bajo la jurisdicción aeronáutica nacional, incluso si el nodo se ubicara en una zona logística especial.

En consecuencia, no puede afirmarse que Panamá Pacífico, la Zona Libre de Colón o algún otro sitio funcione como CDU o como zona autorizada para operaciones con drones. La identificación de potenciales nodos queda como una posibilidad analítica que requiere evidencia adicional sobre infraestructura, ubicación y condiciones de espacio aéreo.

4.2.3. Condiciones Aduaneras y de Protección de Datos.

En materia de protección de datos personales, Panamá cuenta con un marco aplicable a la información que pudiera ser recolectada durante una operación de entrega mediante drones. La Autoridad Nacional de Transparencia y Acceso a la Información de Panamá (ANTAI) mediante la Ley 81 de 2019 establece principios y condiciones para el tratamiento de datos personales, entre ellos la finalidad, seguridad, confidencialidad y como regla general, el consentimiento previo del titular (ANTAI, 2021). Por su parte, el Decreto Ejecutivo 285 de 2021 desarrolla las obligaciones de los responsables del tratamiento y los mecanismos para su cumplimiento (Ministerio de la Presidencia de Panamá, 2021). En este contexto, una operación con drones que genere imágenes, información de ubicación, datos de contacto o información asociada a los destinatarios deberá determinar previamente qué datos son recolectados, con qué finalidad, durante cuánto tiempo serán conservados y quién tendrá acceso a ellos.

Además, ANTAI ha señalado, que las imágenes pueden constituir datos personales y que su tratamiento debe observar los principios establecidos en la Ley 81, particularmente cuando permiten identificar a una persona (Ministerio de la Presidencia de Panamá, 2021). Por tanto, aunque existe un marco jurídico que incorpora la protección de estos datos, queda pendiente determinar, para un eventual modelo de CDU-Drones en Panamá, cómo se traducirían estas obligaciones en protocolos específicos de captura, almacenamiento, acceso y eliminación de la información generada durante las operaciones.



4.2.4. Implicaciones para la Adaptación del Modelo CDU-Drones. Las condiciones

documentadas muestran que Panamá cuenta con una autoridad aeronáutica identificable, una norma específica para RPAS y una ruta administrativa publicada que abarca registro, licencia de piloto y solicitud de operaciones especiales (AAC, 2021). En el plano regulatorio y operativo, esto ofrece un punto de partida para estructurar un piloto. Sin embargo, la evidencia revisada no permite establecer una habilitación específica para la entrega comercial de mercancías ni para operaciones BVLOS. Los parámetros de altura, VLOS/EVLOS y distancias a aeropuertos no pudieron verificarse.

Desde una perspectiva de ecosistema, la existencia de una regulación específica constituye una condición necesaria, pero no suficiente, para la integración de drones en actividades logísticas. El World Bank (2024,99.75-77), con apoyo técnico de PwC, señalan la importancia de contar con procesos y procedimientos coordinados entre las entidades involucradas, fortalecer las capacidades institucionales y operativas y generar mecanismos que permitan desarrollar pruebas y proyectos piloto. En este sentido, la adaptación del modelo CDU-Drones en Panamá no dependería únicamente de la existencia de una norma para RPAS, sino también de la articulación entre las autoridades, los operadores y los actores logísticos que intervengan en su implementación.

En el plano territorial, las gestiones exigidas en sectores sensibles de la Ciudad de Panamá y la ausencia de una cartografía pública oficial sugieren que la localización de un CDU exigiría evaluación espacial propia y coordinación caso a caso. La dimensión de infraestructura no pudo caracterizarse con el material disponible, por lo que cualquier valoración de nodos logísticos permanece como posibilidad analítica. Lo mismo ocurre con las dimensiones aduanera y de protección de datos.

En consecuencia, antes de implementar un piloto CDU-Drones tendrían que verificarse, además de las condiciones regulatorias identificadas, las restricciones de espacio aéreo y las coordinaciones aplicables a la ubicación del nodo, las condiciones de infraestructura del sitio



seleccionado y las obligaciones aduaneras y de protección de datos. También sería necesario establecer mecanismos de coordinación entre los actores involucrados y definir un esquema de prueba que permita validar progresivamente la operación. Estas verificaciones permitirían determinar qué elementos del modelo pueden transferirse desde Colombia, cuáles requieren adaptación al contexto panameño y cuáles necesitan validación adicional.

4.3. Apreciaciones obtenidas durante la misión académica

La misión aportó apreciaciones contextuales de manera general por parte de actores panameños sobre un modelo que en ese país es limitado en su operación. Los hallazgos se presentan en la *Tabla 3* con la secuencia: actor o contexto, apreciaciones, interpretación y relación con el modelo.

Tabla 3. Apreciaciones contextuales recolectadas durante la misión académica

Actor o contexto	Apreciación recolectada	Interpretación	Relación con CDU + drones
Empresarios y consultores (diálogos y encuentros en Cámaras de Comercio)	Infraestructura de clase mundial como <i>hub</i> , con micro-logística y última milla percibidas como complejas y conservadoras	La fortaleza logística está orientada al comercio internacional y no necesariamente a la distribución urbana	El CDU actuaría como nodo intermedio entre el <i>hub</i> y la ciudad
Líderes del sector (Zonas Franca y Panamá Pacífico)	La operación con drones no estaría frenada por capacidad técnica ni por falta de interés del mercado, sino por barreras regulatorias, de seguridad estatal y de privacidad	La restricción principal se ubicaría en la gobernanza más que en la tecnología	La integración depende de condiciones institucionales previas
Actores del espacio aéreo	Control fuerte del espacio aéreo de la capital por el Canal y los aeropuertos;	En Panamá las limitaciones de ruta tienen un origen distinto a la	La ubicación de CDU y corredores debería definirse con la AAC



	permisos AAC solo para pruebas restringidas	congestión o la topografía colombianas	
Actores del sector privado (Panamá Pacífico)	Recelo social y legal por la captura de imágenes en zonas residenciales (Ley 81 de 2019, ANTAI)	La aceptación depende del diseño de la operación y de la gestión de datos	Protocolos de sensores y datos en CDU y puntos de entrega
Actores de carga comercial (Canal de Panamá)	Ausencia de un marco claro para BVLOS y para la fiscalización aduanera en zonas francas	El vacío se percibe en la operación comercial, no en la existencia de normas	Necesidad de coordinar AAC, aduanas y administradores de zona franca
Empresarios panameños	El dron se concibe como complemento y "descompresor" de la red en horas pico, no como reemplazo de camiones o furgonetas	Coincide con el carácter complementario descrito por la literatura	Red híbrida en la que el tramo terrestre consolida y el aéreo atiende lo urgente
Consultores y actores de zonas francas	Cargas prioritarias de bajo peso, alto valor y urgencia (insumos médicos, muestras comerciales, repuestos, documentos de embarque). CDU en la periferia de las zonas francas como catalizadores	El valor del modelo estaría en la criticidad temporal, no en el volumen	Uso de CDU como punto de despacho aéreo para casos de uso acotados
Empresarios en Cámaras de Comercio	Disposición a financiar pilotos de perfil premium	Sugiere apertura empresarial para una fase de validación	Piloto controlado como mecanismo de entrada

Fuente. Elaboración propia con base en información recolectada a diferentes actores durante la misión académica en Panamá 2026.

El conjunto de estas apreciaciones permite algunos contrastes con la literatura. Primero, que la barrera principal sea regulatoria y de seguridad se relaciona con lo señalado por Guevara-

TUNJA - BOYACÁ - PBX: (608) 744 0404

Campus Centro Histórico: Cll. 19 N° 11 - 64 - Campus Avenida Universitaria:
Edificio Fray Giordano Bruno O.P.: Av. Universitaria Cll. 48 No. 1-235 este.
Edificio Santo Domingo de Guzmán: Av. Universitaria No. 45 - 202
Santoto Services: Centro Comercial Unicentro Tunja, Local 1-106



Ortega et al. (2025) para Colombia, donde las operaciones BVLOS siguen sujetas a restricciones, y con el estado de construcción normativa que muestran la FAA (2025) y la EASA (2019, 2023). Sin embargo, en Panamá la restricción se suma a factores de seguridad del espacio aéreo que no tienen equivalente directo en el caso colombiano descrito. Segundo, la idea del dron como complemento coincide con el carácter híbrido que plantean Murray y Chu (2015) y Jazairy et al. (2025), aunque los actores panameños la formulan en términos de horas pico y de nodos controlados. Tercero, el énfasis en cargas de bajo peso y alta urgencia es coherente con el límite de carga de los drones y con el interés académico en productos sensibles (Herrera Salgado, 2025). Cuarto, que los CDU se ubiquen en la periferia de zonas francas remite a la condición señalada por Allen et al. (2012) y Gillstrom y Bjorklund (2024): su justificación depende de la utilización y de la ubicación, dimensiones que en Panamá tendrían que verificarse con volúmenes reales de carga urgente. Finalmente, la disposición a financiar pilotos guarda relación con los factores de aceptación y gobernanza que destacan Mathew et al. (2023) y Córdova Gómez y Campos Velásquez (2025), aunque no equivale a una decisión de inversión.

A partir de la revisión documental y de las apreciaciones recogidas durante el trabajo exploratorio durante de la misión académica internacional, se plantea como posibilidad que, en el contexto panameño, el uso de drones para la última milla podría potencialmente orientarse hacia flujos B2B y B2B2C dirigidos a nodos controlados, como techos de hospitales, torres corporativas y de zonas franca o *lockers* de recolección, en lugar de concentrarse exclusivamente en la entrega puerta a puerta. Bajo esta perspectiva, podría considerarse un esquema que combine un tramo terrestre para el traslado de carga desde las zonas francas hacia CDU periféricos y un tramo aéreo para determinados recorridos, particularmente en horas de mayor congestión. Esta propuesta constituye una interpretación derivada del análisis realizado durante la misión y se asume en esta investigación como una hipótesis de trabajo, no como un resultado comprobado. De igual manera, debido a que las apreciaciones fueron atribuidas de manera general a líderes y consultores, sin una identificación detallada de los actores ni un



procedimiento de consulta sistemático, deben entenderse como indicios provenientes de los actores contactados y no como evidencia representativa o consenso del sector.

4.4. Análisis de Transferencia y Adaptación Colombia–Panamá

Este bloque constituye el aporte central del trabajo. La Tabla 4 compara los dos contextos para identificar similitudes, diferencias, condiciones habilitantes, barreras y requerimientos de adaptación. No califica ni ordena a los países.

Tabla 4. Comparación Colombia–Panamá para la transferencia y adaptación del modelo

Dimensión	Colombia	Panamá	Implicación para transferencia y adaptación
Infraestructura	Deficiencias viales y congestión (Guevara-Ortega et al., 2025); 64,3 % de operadores señala falta de aterrizaje y carga (Navarro et al., 2025); faltan CDU adaptados con vertipuertos	Cuenta con instalaciones de zonas francas y parques logísticos (observaciones misión académica)	En Colombia la carencia está en el nodo urbano de apoyo. En Panamá la infraestructura existe, pero está orientada al comercio internacional y requeriría adecuación
Última milla	Entregas de 21 a 30 horas y demoras como principal inconformidad (MinTIC, 2021)	Última milla percibida como compleja y conservadora, sin tiempos cuantificados en las fuentes de información recolectadas.	No hay base cuantitativa comparable. El problema colombiano es de demanda de comercio electrónico y en Panamá se plantea en flujos B2B y B2B2C
CDU	Infraestructura de apoyo con radios de 2 a 5 km (Navarro et al., 2025)	CDU en la periferia de zonas francas y de la ciudad como nodos de despacho (según lo sugerido por	La función del CDU se desplaza de descongestionar la ciudad a articular zona franca y centro urbano



		consultores durante la misión académica)	
Drones	Primeras autorizaciones de operación en 2025, carga generalmente menor a 3 kg	Sin operación comercial establecida, pruebas restringidas, desafíos por humedad, salinidad y viento (Autoridad Aeronáutica civil de Panamá, 2021)	Casos de uso de carga ligera y urgente y validación bajo condiciones climáticas locales
Regulación	RAC 100 (Aeronáutica Civil de Colombia, 2023); BVLOS restringido	AAC/DG/01/21 y Resolución 004-2021-NRA-DG-AAC según la misión; marco poco claro para BVLOS comercial; Ley 81 de 2019	Ambos países tienen marcos, el ajuste requiere rutas de autorización para carga comercial y tratamiento de datos, con referentes como EASA (2023) o ANAC (2025)
Tecnología	Afectación de baterías por topografía andina y clima cambiante	Humedad tropical, salinidad costera y vientos fuertes limitarían la operación de los drones (apreciaciones de la misión)	Los requerimientos técnicos difieren por clima. Se necesitarían pruebas locales antes de replicar parámetros
Ecosistema empresarial	Prevención sobre costos y resistencia a la automatización. Orkid, primera empresa autorizada en 2025	Disposición en Cámaras de Comercio para financiar pilotos del modelo (apreciación de la misión)	La apertura empresarial en Panamá podría facilitar una fase piloto



Condiciones territoriales	Congestión en Bogotá y topografía en Medellín (interpretación)	Espacio aéreo del capital restringido por el Canal y los aeropuertos (Autoridad Aeronáutica civil de Panamá, 2021)	En Colombia el territorio justifica el uso del dron. En Panamá lo condiciona
Potencial de implementación	Base del modelo, brecha en infraestructura de apoyo y BVLOS	Potencial acotado a casos de uso específicos y pilotos controlados (apreciación de la misión)	Transferencia como adaptación gradual y no como réplica

Fuente. Elaboración propia. Análisis y transferencia del modelo CDU y Drones con base en el contexto colombiano y panameño recogido durante la misión y en lo identificado mediante la revisión documental.

De la Tabla 4 se desprenden tres ideas principales. En primer lugar, las condiciones de infraestructura y territorio presentan diferencias en la forma en que podrían integrarse al modelo CDU-Drones. Tanto Colombia como Panamá cuentan con zonas francas y parques logísticos. Sin embargo, en Colombia la principal brecha identificada se relaciona con la disponibilidad de nodos urbanos de apoyo adaptados a operaciones con drones, mientras que en Panamá las instalaciones observadas durante la misión están principalmente vinculadas con actividades de comercio internacional y, por tanto, su eventual transferencia del modelo requeriría evaluar su adecuación funcional. A su vez, las condiciones territoriales presentan particularidades diferentes: en Colombia, la congestión urbana y la topografía constituyen factores asociados al interés por el uso de drones, mientras que en Panamá las restricciones y condiciones del espacio aéreo podrían condicionar los lugares y rutas de operación. En segundo lugar, ambos países cuentan con marcos regulatorios aeronáuticos, por lo que el desafío no se limita a la existencia de normas, sino a su articulación con las condiciones requeridas para



desarrollar operaciones comerciales. Finalmente, la transferencia del modelo CDU-Drones no implicaría trasladar de manera directa el esquema colombiano, sino considerar ajustes en la función de los CDU, los perfiles de carga y las condiciones de operación, de acuerdo con las particularidades del contexto panameño.

4.5. Modelo Conceptual de Transferencia y Adaptación

A partir de la literatura y de la evidencia analizada se propone una hoja de ruta articulada en ocho fases consecutivas, formulada a partir de los hallazgos y no como resultado de un estudio de implementación:

Tabla 5. Hoja de ruta propuesta para la transferencia y adaptación de un modelo conceptual de integración CDU-Drones en Panamá

Fase	Acción Principal	Actores Clave
1. Articulación	Conformar la mesa técnica binacional Universidad–Empresa–Estado.	Cámaras de Comercio, Universidades, Empresas Logísticas y Autoridades
2. Selección	Elegir la Zona Franca anfitriona (ej: Zona Libre de Colón o Panamá Pacífico) y definir el caso de uso prioritario.	Administradores de Zona Franca y Empresas de Comercio Exterior
3. Diseño	Diseñar la ruta aérea, ubicar los CDUs, definir los puntos de entrega y los protocolos de seguridad/ciberseguridad.	Operadores Tecnológicos, Académicos y Autoridades
4. Habilitación	Tramitar los permisos de prueba aeronáuticos (BVLOS/VLOS) y las coordinaciones aduaneras.	AAC (Panamá), Aerocivil (Colombia) y Autoridades Aduaneras



5. Financiación	Estructurar un esquema de recursos compartidos y fondos de innovación para la primera fase del proyecto.	Cámaras de Comercio, Fondos Estatales, Sector Privado
6. Piloto	Ejecutar despachos controlados de mercancías y de bajo peso (insumos médicos, muestras, delivery).	Operador Logístico y Operador de Drones
7. Evaluación	Medir KPIs operacionales: tiempos de entrega, costos, tasa de incidentes y aceptación social.	Centro de Investigación Universitario y Ecosistema Binacional
8. Escalamiento	Proyectar la replicabilidad del modelo a otros corredores urbanos y nodos logísticos de la región.	Ecosistema Binacional

Fuente. Elaboración propia con base en los hallazgos de la investigación.

La hoja de ruta propone que la transferencia del modelo CDU-Drones hacia Panamá debe desarrollarse de manera progresiva, comenzando por la articulación institucional y la selección de un caso de uso y un nodo logístico concretos, antes de avanzar hacia la habilitación, el piloto y el escalamiento. Su principal aporte consiste en convertir los hallazgos de la investigación en una secuencia de acciones, cuyo avance dependerá de la coordinación entre autoridades, empresas, academia y administradores logísticos. En este sentido, el modelo propuesto no constituye un esquema de implementación probado, sino una ruta conceptual de validación que deberá ser contrastada mediante un piloto y la medición de indicadores operacionales, económicos, regulatorios y de aceptación social.

5. Conclusiones

En Colombia, la integración entre Centros de Distribución Urbana (CDU) y drones se configura como una respuesta potencial a las limitaciones de la última milla terrestre,



particularmente frente a la congestión, la variabilidad de los tiempos de entrega y las restricciones de infraestructura urbana. Sin embargo, la evidencia muestra que el dron no constituye una solución autónoma, sino un componente de una red logística híbrida que requiere CDU capaces de consolidar, preparar y despachar cargas ligeras y urgentes. En este sentido, el principal desafío para Colombia no radica únicamente en la disponibilidad tecnológica o regulatoria, sino en desarrollar la infraestructura y las condiciones operativas para el transporte aéreo no tripulado.

Panamá dispone de una base institucional para explorar la integración CDU-drones, sustentada en la existencia de una autoridad aeronáutica competente y procedimientos específicos para la operación de RPAS. No obstante, la evidencia documental revisada no permite confirmar todavía las condiciones necesarias para una operación logística comercial recurrente, particularmente en materia de BVLOS, entrega de mercancías, espacio aéreo, infraestructura, aduanas y protección de datos. Por tanto, la adaptación del modelo en Panamá requiere una etapa previa de validación regulatoria, territorial e institucional que permita transformar un marco habilitante general en condiciones concretas para un piloto de última milla.

Las apreciaciones recogidas durante la misión sugieren que, en el contexto panameño, el valor potencial de los drones se concentra en complementar y no sustituir el transporte terrestre, mediante el traslado de mercancías ligeras, urgentes y de alto valor entre nodos logísticos controlados. Las principales preocupaciones percibidas durante las conversaciones en la misión académica internacional se relacionan con la regulación, la seguridad del espacio aéreo, la privacidad y la coordinación institucional. Estas apreciaciones deben entenderse como evidencia contextual, no como representación estadística del sector, pero permiten orientar el modelo hacia pilotos controlados para casos de uso específicos.

La articulación institucional aparece como una de las principales condiciones identificadas para implementar el modelo CDU-Drones en Panamá, especialmente por la



necesidad de coordinar a las autoridades aeronáuticas, aduaneras y los administradores de las zonas francas. Esta articulación adquiere especial relevancia en aquellos espacios donde convergen actividades logísticas, control aduanero y operación aérea, dado que la viabilidad del modelo depende no solamente de la capacidad técnica de los drones, sino también de la coordinación de las instituciones que regulan y gestionan su entorno operativo.

La transferencia del modelo CDU-Drones de Colombia a Panamá podría requerir adaptaciones al contexto receptor. Mientras en Colombia el modelo responde principalmente a condiciones asociadas con la congestión urbana, la topografía, la dispersión de las entregas y las brechas de infraestructura de apoyo; en Panamá el análisis exploratorio realizado durante la misión académica permite plantear, como posibilidad de aplicación, el uso de este modelo en determinados flujos B2B y B2B2C de carga liviana, de alto valor y urgente, particularmente entre zonas vinculadas al comercio internacional y nodos urbanos controlados. Por tanto, no se trataría de replicar directamente el modelo colombiano, sino de adaptar la función de los CDU y el perfil de carga a las condiciones locales de Panamá.

En Panamá, una implementación gradual mediante casos de uso específicos, pruebas controladas y coordinación interinstitucional permitiría avanzar de acuerdo con las condiciones identificadas. En este proceso, las Cámaras de Comercio y las zonas francas podrían desempeñar un papel de articulación entre los actores involucrados.

Referencias

Aeronáutica Civil de Colombia. (2023). *Resolución 01983 del 27 de septiembre de 2023: Reglamento Aeronáutico Colombiano RAC 100.*

Aeronáutica Civil de Colombia. (2025). *Aeronáutica Civil aprobó la primera empresa para transportar carga liviana a través de aeronaves no tripuladas (Drone Delivery) en Colombia.*

Obtenido de: <https://www.aerocivil.gov.co/publicaciones/4372/aeronautica-civil-aprobo-la-primera-empresa-para-transportar-carga-liviana-a-traves-de-aeronaves-no-tripuladas-drone-delivery-en-colombia/>



Agencia Nacional de Aviación Civil de Brasil. (2025). *RBAC-100 propuesto: Marco de aprobación basada en desempeño para operaciones BVLOS urbanas*. ANAC Brasil. Obtenido de: <https://www.anac.gov.br/>

Allen, J., Browne, M., Woodburn, A., & Leonardi, J. (2012). *The role of urban consolidation centres in sustainable freight transport*. Obtenido de: <https://doi.org/10.1080/01441647.2012.688074>

Autoridad Aeronáutica Civil de Panamá. (2021). *Requisitos para la operación de los sistemas de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS)*. Norma AAC/DG/DSA/01-2021. Obtenido de: <https://sigob.aeronautica.gob.pa/snra/subtipo/8/ficha/838/archivo/2926/pdf>

Autoridad Aeronáutica Civil de Panamá. (2025). *La AAC informa a todos los operadores que el uso de drones se encuentra restringido en áreas específicas del país*. Obtenido de: https://www.aeronautica.gob.pa/Noticia/noticia.php?cg=noticia_26.09.2025.22182

Autoridad Nacional de Transparencia y Acceso a la Información (2021). *Ley 81 de Protección de Datos Personales*. Obtenido de: <https://antai.gob.pa/reglamentan-ley-81-de-proteccion-de-datos-personales/>

Cushman & Wakefield. (2019). *Last link: Quantifying the cost*. Obtenido de: https://log4.pl/upload/Cushman_and_Wakefield_Last_Link_Report

Díaz, R. (2023). *Propuesta para el control y seguimiento del proceso de la última milla para la empresa Laika en la ciudad de Bogotá*. Repositorio ECCI. Obtenido de: <https://repositorio.ecci.edu.co/server/api/core/bitstreams/b1018773-ca37-452a-98e3-853b37d331d9/content>

Dukkanci, O., Campbell, J. F., & Kara, B. Y. (2024). *Facility location decisions for drone delivery: A literature review*. Obtenido de: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2023.08.015>

European Union Aviation Safety Agency. (2019). *Commission Implementing Regulation (EU) 2019/947 on rules and procedures for the operation of unmanned aircraft*. EASA. Obtenido de: <https://www.easa.europa.eu/>



European Union Aviation Safety Agency. (2023). *U-space: A regulatory framework for drones in urban environments*. EASA. Obtenido de:

<https://www.easa.europa.eu/en/domains/urban-air-mobility/u-space>

Federal Aviation Administration. (2025). *Normalizing unmanned aircraft systems beyond visual line of sight operations (Part 108)*. FAA. Department of Transportation. Obtenido de:

<https://www.faa.gov/uas>

Gillstrom, H., & Bjorklund, M. (2024). *Assessing the benefits of urban consolidation centres: An overview based on a systematic literature review*. Obtenido de:

<https://doi.org/10.1080/01441647.2024.2348639>

Guevara-Ortega, L. M., Hidalgo-Urrea, J. E., Candil-Parra, L. M., & Navarro-Zúñiga, W. R. (2025). *Mapping the evolution of drone-based last-mile delivery: A bibliometric analysis with field insights from Colombia*. Obtenido de: <https://doi.org/10.15446/dyna.v92n239.120412>

Hernández-Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. P. (2018). *Metodología de la investigación*. Obtenido de: <https://artes.upn.edu.co/wp-content/uploads/2024/11/METODOLOGIA-DE-LA-INVESTIGACION-Sampieri-Mendoza-2018>

Hernández-Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. P. (2023). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill Interamericana.

Herrera Salgado, M. P. (2025). *Análisis del uso de drones en la última milla para la entrega de productos sensibles: Una revisión de literatura*. Repositorio Universidad El Rosario. Obtenido de: https://doi.org/10.48713/10336_45634

Huérfino, J (2022). *Desafíos que enfrentan los operadores logísticos en la distribución de mercancía de última milla*. Repositorio UMNG. Obtenido de:

<https://repository.umng.edu.co/server/api/core/bitstreams/f01b1b8f-bfea-4059-8aca-5b475fb6b238/content>

IMARC Group. (2026). *Tamaño, participación, tendencias y pronóstico del mercado de entrega de última milla en América Latina por modo de entrega, aplicación, destino, tipo de*



servicio, tipo de vehículo, modo de operación y región, 2026-2034. Obtenido de:

<https://www.imarcgroup.com/report/es/latin-america-last-mile-delivery-market>

IT Now. (2019). *Drones delivery, una realidad en Panamá*. Obtenido de:

<https://www.itnow.connectab2b.com/post/drones-delivery-una-realidad-en-panam%C3%A1>

Jazairy, A., Vonck, I., Haasis, H. D., & Heaver, T. (2025). Drones in last-mile delivery: A systematic literature review from a logistics management perspective. Obtenido de: <https://doi.org/10.1108/IJLM-04-2023-0149>

Lim, S. F. W. T., Jin X. & Srai, JS (2018). *Consumer-driven e-commerce: A literature review, design framework, and research agenda on last-mile logistics models*. Obtenido de: <https://doi.org/10.1108/IJPDLM-02-2017-0081>

Lim, S. F. W. T., & Winkenbach, M. (2019). Configuring the Last-Mile in Business-to-Consumer E-Retailing. California Management Review. Obtenido de: <https://doi.org/10.1177/0008125618805094>

Mathew, A. O., Chowdhury, S., Devpura, S., & Lingappa, A. K. (2023). Factors influencing technology acceptance of drones for last-mile food deliveries: An adaptation of the UTAUT2 model. Obtenido de: <https://doi.org/10.1155/2023/7399080>

Ministerio de la Presidencia de Panamá. (2021). *Decreto Ejecutivo No. 285 de 28 de mayo de 2021, que reglamenta la Ley 81 de 2019 sobre protección de datos*. Obtenido de: <https://ministeriopublico.gob.pa/wp-content/uploads/2022/12/Decreto-Ejecutivo-285-de-28-de-mayo-de-2021-Que-reglamenta-la-Ley-81-sobre-Proteccio%CC%81n-de-Datos-Personales.pdf>

Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. MinTic. (2021). *Estudio sobre logística de última milla*. Obtenido de: https://observatorioecommerce.mintic.gov.co/797/articles-198595_recurso_1

Murray, C. C., & Chu, A. G. (2015). The flying sidekick traveling salesman problem: Optimization of drone-assisted parcel delivery. Obtenido de: <https://doi.org/10.1016/j.trc.2015.03.005>



Navarro, Hidalgo, & Candil. (2025). *Propuesta para la implementación de drones en las entregas de última milla en áreas urbanas de Colombia*. Repositorio Universidad EAN. Obtenido de: <https://repository.universidadean.edu.co/server/api/core/bitstreams/4e6ebaf1-c74d-4e42-9db1-87ee1aeea713/content>

Rodríguez, A., & Pérez, O. (2017). *Métodos científicos de indagación y de construcción del conocimiento*. *Revista Escuela de Administración de Negocios*. Obtenido de: <https://doi.org/10.21158/01208160.n82.2017.1647>

Valencia-Arias, A., Rodríguez-Correa, P. A., Patiño-Vanegas, J. C., Benjumea-Arias, M., De La Cruz-Vargas, J., & Moreno-López, G. (2022). *Factors associated with the adoption of drones for product delivery in the context of the COVID-19 pandemic in Medellín, Colombia*. Obtenido de: <https://doi.org/10.3390/drones6090225>

World Bank (2024). *Drones for Development, Attachment 2: Drones Services Market Potential in the LAC Region*. Obtenido de: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/099092424171566989/pdf/P176634-b548e98c-6338-4fc9-b5f5-9f21bb15855c.pdf>

