



**Criterios para la viabilidad de la logística de última milla mediante drones en
la entrega de medicamentos y dispositivos médicos: estudio de caso
Farmacias Intrahospitalarias Cruz Verde en Bogotá D.C.**

Andrés Matías Medina Álvarez

Kevin Santamaria Triana

Kevin Steven Aponte Valcárcel

Universidad Ean

Facultad de ingeniería

Especialización en Gerencia de Proyectos

Bogotá D.C., Colombia

24/mayo/2026

**Criterios para la viabilidad de la logística de última milla mediante drones en
la entrega de medicamentos y dispositivos médicos: estudio de caso
Farmacias Intrahospitalarias Cruz Verde en Bogotá D.C.**

Monografía de grado presentado como requisito para optar al título de
Especialista en Gerencia de Proyectos

Directora
Luz Maribel Guevara Ortega

Universidad Ean
Facultad de ingeniería
Especialización en Gerencia de Proyectos
Bogotá D.C., Colombia
24/mayo/2026

Resumen

El presente estudio aborda la problemática de las ineficiencias en la logística interclínica de distribución de medicamentos en Bogotá D.C., caracterizada por demoras asociadas a la congestión vehicular, la variabilidad en los tiempos de desplazamiento y la alta dependencia del transporte terrestre. La investigación tuvo como finalidad examinar la factibilidad de implementar sistemas RPAS (drones) como una opción para optimizar los tiempos de entrega de medicamentos entre diferentes instituciones de salud, mediante la identificación de posibles rutas de conexión. Se abordó desde un enfoque aplicado, orientado al análisis de las condiciones reales del sistema logístico interclínico, considerando tanto sus limitaciones operativas como los factores asociados a la movilidad urbana y las exigencias propias del sector salud. En cuanto al sustento teórico, se integraron aportes relacionados con la logística urbana, la distribución de última milla y el uso de drones en las cadenas de suministro, especialmente en contextos sanitarios. Asimismo, se tuvo en cuenta el marco normativo vigente, particularmente la regulación aeronáutica y las disposiciones referentes al transporte de medicamentos. A partir del diagnóstico realizado, se identificó que las principales dificultades del sistema actual se relacionan con la congestión vehicular y las condiciones del tráfico, las cuales inciden de manera directa en la eficiencia de las entregas.

Palabras claves: logística urbana, RPAS, Cruz Verde, Sistemas de Información Geográfica, última milla.

Abstract

This study addresses the problem of inefficiencies in the inter-clinic logistics of medication distribution in Bogotá D.C., characterized by delays associated with traffic congestion, variability in travel times, and a high dependence on ground transportation. The research aimed to examine the feasibility of implementing RPAS (drone) systems as an option to optimize medication delivery times between different healthcare institutions by identifying potential connection routes. It adopted an applied approach, focusing on analyzing the actual conditions of the interclinic logistics system, considering both its operational limitations and factors associated with urban mobility and the specific demands of the healthcare sector. The theoretical framework incorporated contributions related to urban logistics, last-mile delivery, and the use of drones in supply chains, particularly in healthcare contexts. The current regulatory framework was also considered, particularly aeronautical regulations and provisions concerning the transport of medications. The diagnostic analysis identified that the main difficulties of the current system are related to traffic congestion and conditions, which directly impact delivery efficiency.

Keywords: urban logistics, RPAS, Cruz Verde, Geographic Information Systems, last mile

Contenido

	Pág.
Introducción.....	16
Objetivos	19
<i>Objetivo general</i>	<i>19</i>
<i>Objetivos específicos.....</i>	<i>19</i>
Justificación	20
Marco Teórico.....	21
<i>Logística urbana y última milla.....</i>	<i>22</i>
<i>Logística en el sector salud y criticidad del tiempo.....</i>	<i>24</i>
<i>Sistemas RPAS (drones) y su aplicación en la logística de última milla</i>	<i>27</i>
<i>Limitaciones operativas y regulatorias de los RPAS en entornos urbanos.....</i>	<i>29</i>
<i>Sistemas de Información (SIG)</i>	<i>31</i>
<i>Marco normativo</i>	<i>33</i>
Marco institucional	40
Metodología	42
<i>Enfoque y alcance de la investigación</i>	<i>42</i>
<i>Población y muestra</i>	<i>43</i>
<i>Variables.....</i>	<i>46</i>

<i>Instrumentos</i>	49
<i>Procedimiento Metodológico</i>	51
<i>Técnicas para el análisis de la información</i>	52
<i>Formulación de la hipótesis</i>	53
Diagnóstico	55
<i>ÚLTIMA MILLA CON DRONES: CASO CRUZ VERDE</i>	55
<i>Descripción del proceso logístico actual</i>	55
<i>Características operativas del sistema de transporte</i>	58
<i>Desempeño del sistema: tiempos y condiciones reales</i>	59
<i>Identificación de cuellos de botella en la última milla</i>	59
<i>Limitaciones del modelo logístico actual</i>	61
<i>Oportunidad para la implementación de RPAS</i>	62
Análisis de resultados	64
<i>Identificación de escenarios operativos para RPAS</i>	66
<i>Criterios técnicos y territoriales para la definición de rutas RPAS en Bogotá D.C</i>	77
Discusión	83
Conclusiones	87
Referencias	89
Anexos	98
<i>Rutas Potenciales</i>	98

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Clínica Del Country ↔ Clínica Santa María del Lago	68
Figura 2. Clínica Reina Sofía ↔ Clínica Universitaria Colombia.....	69
Figura 3. Instituto Nacional de Cancerología ↔ Clínica Reina Sofía Pediátrica y de la Mujer	70
Figura 4. Clínica Del Country ↔ Instituto Nacional de Cancerología.....	71
Figura 5. Clínica Universitaria Colombia ↔ Clínica Del Country.....	72
Figura 6. Clínica De La Mujer ↔ Clínica Universitaria Colombia	73
Figura 7. Centro Médico Puente Aranda ↔ Clínica Universitaria Colombia	74
Figura 8. Central de Urgencias Norte EPS Sanitas (Toberín) ↔ Clínica Universitaria Colombia	75
Figura 9. Clínica Campo Abierto ↔ Clínica Redes Medicas Carrera 15.....	76

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Distribución de capacidad operativa entre instituciones	45
Tabla 2. Variables del estudio	46
Tabla 3. Dimensión operación farmacias intrahospitalarias Cruz Verde.....	49

Introducción

La logística urbana de distribución de insumos críticos en ciudades densamente pobladas enfrenta desafíos crecientes debido al aumento del parque automotor, la congestión vial y las limitaciones en la infraestructura (Lugo, 2025). En el caso del sector salud, estas restricciones impactan directamente la eficiencia en la entrega de medicamentos y dispositivos médicos, particularmente en el tramo final de la cadena de suministro, conocido como “última milla”, uno de los componentes más costosos e ineficientes de la logística urbana (Palacios, 2025).

Por consiguiente, esa situación produce impactos ambientales y sociales, entre ellos el aumento de emisiones contaminantes, la mayor probabilidad de accidentes de tránsito y demoras en la atención médica lo que termina afectando la disponibilidad oportuna de insumos esenciales para atender urgencias. En ese caso, en la ciudad de Bogotá la logística de abastecimiento entre clínica, hospitales y farmacias se ve influenciada por factores asociados a la movilidad urbana como la variabilidad del tráfico, las limitaciones de la infraestructura vial y las condiciones climáticas de la ciudad lo que puede generar retrasos en el traslado de medicamentos entre instituciones (Díaz & Angulo, 2023; UAEAC, 2024). Para la red de Droguerías y Farmacias Intrahospitalarias Cruz Verde, cuya operación se articula con múltiples sedes clínicas, la dependencia exclusiva del transporte terrestre genera cuellos de botella, incrementos en los costos operativos y riesgos asociados a la demora en la entrega de suministros esenciales, comprometiendo la continuidad y calidad del servicio en salud (Hoyos, 2022; Posada, 2024).

A nivel internacional, se exploran tecnologías alternativas para mejorar la logística urbana, incluyendo sistemas de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS), conocidos como drones, los cuales han mostrado potencial para optimizar la entrega de insumos críticos en la última milla (Navarro et al., 2025; Ossorio, 2025). Aun así, su implementación en entornos urbanos densos y con condiciones climáticas variables, como Bogotá, enfrenta

desafíos técnicos, territoriales y regulatorios; entre estos se incluyen la ausencia de corredores aéreos urbanos definidos, restricciones derivadas del uso del suelo, limitaciones operativas establecidas por la Aeronáutica Civil de Colombia y riesgos asociados a la operación en zonas de alta densidad urbana (UAEAC, 2024).

La dependencia exclusiva del transporte terrestre para la distribución interclínica de medicamentos y dispositivos médicos en Bogotá genera una serie de impactos operativos y estratégicos para las instituciones de salud; entre ellos se incluyen retrasos frecuentes en la entrega de insumos críticos, descoordinación en la programación de procedimientos médicos y sobrecostos logísticos derivados de viajes repetidos o rutas poco eficientes que llega a afectar la eficiencia interna de los hospitales y farmacias, y compromete la capacidad del sistema de salud para responder de manera oportuna a emergencias médicas, lo que puede poner en riesgo la atención de pacientes con necesidades urgentes (Fuertes et al., 2024; Quintero, 2022).

La movilidad en Bogotá genera impactos sociales y ambientales que dificultan la logística interclínica, haciendo que la congestión vehicular aumente el riesgo de accidentes, el incremento de emisiones contaminantes e incluso el retraso del traslado de los insumos médicos (González, 2024; Navarro et al., 2025). Frente a esa situación, se plantea el uso de los sistemas RPAS como alternativa para mejorar la entrega de insumos críticos; en el presente estudio se analizan las posibles rutas de vuelo de drones para el transporte de medicamentos y dispositivos médicos entre sedes de la red Cruz Verde con el fin de garantizar y optimizar las entregas de manera segura y oportuna.

En ese sentido, se hace pertinente analizar las condiciones técnicas, normativas, ambientales y territoriales que permitirán integrar los sistemas RPAS como apoyo a la logística terrestre de la Cruz Verde. Bajo esa perspectiva de los estudios se enfocan establecer los criterios necesarios para definir posibles rutas de vuelo de drones, con el

propósito de demostrar su utilidad en la entrega y. Qué oportuna y medicamentos y dispositivos médicos entre clínicas.

A partir de lo anterior, se formula la siguiente pregunta de investigación:

¿Cuáles son los criterios técnicos, regulatorios, ambientales y territoriales que permiten establecer rutas de vuelo viables mediante RPAS para complementar la logística interclínica de medicamentos y dispositivos médicos de la red Cruz Verde en Bogotá D.C.?

De ese modo, el propósito de la investigación es analizar la viabilidad de los sistemas RPAS como complemento al transporte terrestre en la entrega interclínica de suministros médicos y plantear rutas de vuelo que integren los criterios identificados, contribuyendo a la optimización de la logística urbana en el sector de la salud.

Además de lo anterior, el presente trabajo se organiza en varias etapas entre ellas; se presentan los objetivos que guían el estudio, la justificación para explicar la utilidad e importancia del estudio, después se presenta el marco teórico donde se revisan los aportes de la literatura sobre la logística de última milla, sistemas RPAS, junto a un marco institucional y normativo. Después se abarca la metodología empleada que incluye la identificación de puntos de envío y recepción mediante SIG, el análisis de restricciones urbanas y ambientales, y la revisión de la normativa vigente. Posteriormente se desarrolla el diagnóstico y el análisis de los resultados que permiten proponer rutas de vuelo viables; por último, se discuten los principales hallazgos y se formulan las recomendaciones relacionadas al RPAS en la logística interclínica de la red Cruz Verde.

Como tal, la investigación aporta al conocimiento sobre alternativas innovadoras en la logística de última milla en el sector de la salud, específicamente en la entrega interclínica de medicamentos y dispositivos médicos, mediante un enfoque práctico, aplicados y contextualizado a la realidad urbana de Bogotá D.C.

Objetivos

Objetivo general

Analizar la viabilidad de los sistemas RPAS (drones) como apoyo a la logística interclínica de medicamentos y dispositivos médicos de la red de Droguerías y Farmacias Intrahospitalarias Cruz Verde en Bogotá D.C., teniendo en cuenta criterios técnicos, regulatorios, ambientales y territoriales.

Objetivos específicos

- Identificar la dinámica actual del transporte terrestre de medicamentos y dispositivos médicos en la red Cruz Verde, reconociendo los puntos de origen y destino que permiten comprender la estructura de la red logística interclínica.
- Analizar los puntos de envío y recepción, considerando restricciones urbanas, factores ambientales y climáticos, así como la normativa vigente de la Aeronáutica Civil que regula la operación de RPAS en Bogotá D.C.
- Definir escenarios operativos y lineamientos técnicos para la implementación de rutas RPAS en el transporte interclínico de medicamentos y dispositivos médicos, integrando los criterios técnicos, regulatorios, ambientales y territoriales identificados.

Justificación

La logística interclínica de medicamentos y dispositivos médicos constituye un componente crítico en la eficiencia del sistema de salud, particularmente en entornos urbanos complejos como Bogotá D.C. (Yáñez, 2025). La necesidad de garantizar la entrega oportuna de insumos vitales obliga a explorar alternativas que superen las limitaciones del transporte terrestre tradicional, sin recurrir únicamente a una descripción de los problemas de congestión vial; de ese modo, la investigación analiza el uso de drones (RPAS) para mejorar la distribución de los suministros médicos abordando un campo de innovación tecnológica con escasa aplicación en el contexto colombiano, especialmente en la logística interclínica de redes farmacéuticas como la red de la Cruz Verde.

Desde el punto de vista práctico, el estudio aporta a la red Cruz Verde criterios para planificar rutas de vuelo seguras y eficientes que lleguen a complementar el transporte terrestre; y esto permitiría optimizar recursos, reducir retrasos y disminuir riesgos en la entrega de insumos críticos, contribuyendo así a mejorar la toma de decisiones relacionadas con la logística dentro del sector de la salud. En el plano académico, el estudio busca aportar a un campo poco explorado en Colombia el cual está relacionado a la aplicación de sistemas RPAS en ciudades que son densamente pobladas; y aunque a un nivel internacional se han desarrollado experiencias de éxito en el transporte de insumos médicos con drones, se observa que esas experiencias se han realizado en contextos territoriales, ambientales y regulatorios diferentes al de Bogotá.

Así, la investigación contribuye al conocimiento local al reconocer e identificar los criterios técnicos, regulatorios, ambientales y territoriales que deben de ser considerado al planificar rutas de vuelo, lo que permite adaptar estas tecnologías a la realidad urbana colombiana y generar referentes metodológicos útiles para estudios posteriores. De igual manera, el enfoque metodológico fortalece la relevancia del trabajo ya que integra el

análisis espacial mediante los Sistemas de Información Geográfica (SIG) con la revisión de la normativa vigente; así el estudio aporta a la innovación logística en el sector de la salud, y ofrece orientaciones prácticas que pueden funcionar como un referente para otras instituciones que enfrenten desafíos similares en la distribución de insumos médicos críticos.

En el ámbito normativo, la investigación surge a partir de la necesidad de analizar cómo se aplica en el contexto colombiano la regulación relacionada con la operación de RPAS, especialmente las disposiciones contempladas en la RAC 100 y los lineamientos establecidos por la Aeronáutica Civil (UAEAC, 2024). Aunque estas normas definen criterios orientados a garantizar condiciones de seguridad durante la operación, todavía se evidencian vacíos en la articulación de aspectos técnicos, territoriales y ambientales que influyen directamente en los procesos de implementación de esta tecnología. En ese contexto, el estudio propone lineamientos que contribuyen en la planificación de rutas inter clínicas, en concordancia con la normatividad vigente. Asimismo, su aplicación podría traducirse en impactos positivos a nivel social y ambiental, al reducir la exposición de los trabajadores a riesgos vitales y disminuir las emisiones derivadas del transporte terrestre, favoreciendo así una logística urbana más eficiente y sostenible.

Como tal, el estudio se sustenta en un enfoque de innovación tecnológica dado que la planificación de rutas para drones en zonas urbanas con alta densidad implica la integración de saberes provenientes de la logística, la ingeniería, el análisis espacial y la normativa aeronáutica.

Marco Teórico

El presente marco teórico tiene como propósito fundamentar conceptualmente el análisis de la viabilidad de los sistemas de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS) como alternativa complementaria para la logística interclínica de medicamentos y dispositivos médicos en entornos urbanos complejos. Se abordan los principales enfoques teóricos y

conceptuales relacionados con la logística urbana, la distribución de última milla, la logística en el sector salud, el uso de drones en procesos logísticos, sus limitaciones operativas en contextos urbanos y el uso de herramientas de análisis espacial para la planificación de rutas.

Pero en una primera instancia se aborda el análisis del funcionamiento de la logística urbana, con énfasis en los procesos de distribución de última milla en contextos de alta densidad poblacional, y este examen permite identificar las principales limitaciones operativas, los costos asociados y los impactos que dichas dinámicas generan en el entorno urbano. Posteriormente se estudiará logística en el sector salud, destacando la relevancia de los tiempos de entrega de insumos médicos y su incidencia directa en la calidad y oportunidad de la atención clínica. También, se abordan los principios básicos del sistema RPAS y su posible incorporación en la logística de última milla, considerando experiencias desarrolladas a nivel internacional.

Seguidamente, se estudian las limitaciones técnicas, operativas y regulatorias que enfrentan los drones en entornos urbanos densos, especialmente en ciudades con alta complejidad territorial y por último, se presentan los Sistemas de Información Geográfica (SIG) como herramientas clave para el análisis espacial y la planificación de rutas, permitiendo integrar criterios técnicos, ambientales y territoriales en la toma de decisiones logísticas. Por ende, el marco teórico proporciona una base conceptual que permite comprender las variables que intervienen en la planificación de rutas de vuelo mediante RPAS, así como su posible integración como complemento al transporte terrestre en la logística interclínica del sector salud.

Logística urbana y última milla

La logística urbana se refiere al conjunto de procesos, actividades y estrategias orientadas a la movilización, distribución y almacenamiento de bienes dentro de las ciudades, con el objetivo de satisfacer la demanda de los consumidores finales de

manera eficiente (Rózga, 2021). Tradicionalmente, este campo se enfoca en la optimización de costos y tiempos de entrega; sin embargo, en las últimas décadas ha evolucionado hacia enfoques más integrales que incorporan criterios de sostenibilidad, resiliencia y calidad del servicio, especialmente en contextos urbanos caracterizados por alta densidad poblacional y complejidad en la movilidad (Ragàs, 2024).

El crecimiento acelerado de las ciudades, el aumento del comercio electrónico y la fragmentación de la demanda han incrementado la presión sobre los sistemas logísticos urbanos, generando desafíos asociados a la congestión vehicular, la variabilidad en los tiempos de desplazamiento y las limitaciones en la infraestructura vial (Ortiz & Vitela, 2024); por lo que, estas condiciones afectan de manera directa la eficiencia de las operaciones de distribución, incrementando los costos logísticos y reduciendo la confiabilidad en los tiempos de entrega. Asimismo, se evidencia que la logística urbana enfrenta retos operativos y genera externalidades negativas como el aumento de emisiones contaminantes, el ruido urbano y el riesgo de accidentes de tránsito (Velandia, 2020).

Dentro de ese contexto, la distribución de última milla se configura como una de las etapas más críticas de la cadena de suministro, ya que ese concepto hace referencia al tramo final del proceso logístico, en el cual los productos son entregados desde un centro de distribución o punto intermedio hasta su destino final (Castro, 2023; Ousaid, 2020); y a pesar de representar una fracción relativamente corta del recorrido total, la última milla concentra una proporción importante de los costos logísticos, debido a la dispersión de los puntos de entrega, la baja consolidación de carga y las restricciones propias del entorno urbano (Garrido & Lozano, 2025).

Adicionalmente, la creciente demanda por entregas rápidas intensifica la presión sobre los sistemas logísticos, lo que ha llevado a replantear los modelos tradicionales de distribución; y surgen enfoques que promueven la integración de tecnologías

innovadoras, el uso de sistemas inteligentes de transporte y la implementación de soluciones alternativas que permitan mejorar la eficiencia operativa sin incrementar las externalidades negativas (Castillo, 2025; Vaqueo, 2025).

En la actualidad, la logística urbana se encamina hacia la implementación de alternativas que permitan hacer más eficientes los procesos de distribución, al tiempo que promuevan la sostenibilidad ambiental y el bienestar en las ciudades (Rózga, 2021). En ese contexto, dicha transformación motiva la incorporación de nuevas estrategias para la última milla, entre las que incluyen el uso de vehículos eléctricos, la creación de centros de distribución urbanos, los esquemas colaborativos y, de manera más reciente, la adopción de tecnologías emergentes como los sistemas RPAS.

En el caso de ciudades como Bogotá, caracterizadas por altos niveles de congestión, variabilidad en las condiciones de movilidad y limitaciones en la infraestructura vial, la logística de última milla adquiere una complejidad aún mayor ya que inciden directamente en la eficiencia de la distribución de bienes, generando retrasos y sobrecostos que afectan tanto a las organizaciones como a los usuarios finales (González, 2024). En ese caso, resulta necesario analizar alternativas que permitan complementar los sistemas tradicionales de transporte, particularmente en aquellos casos donde la rapidez y la confiabilidad en la entrega son factores críticos, como ocurre en el sector salud.

Logística en el sector salud y criticidad del tiempo

La logística en el sector salud constituye un componente esencial para el funcionamiento eficiente de los sistemas sanitarios, ya que garantiza la disponibilidad oportuna de medicamentos, dispositivos médicos y demás insumos necesarios para la atención de los pacientes (ra et al., 2025; Rivadeneira, 2025). A diferencia de otros sectores, la logística sanitaria se caracteriza por un alto nivel de complejidad, debido a la naturaleza crítica de los productos, la necesidad de mantener condiciones específicas de

almacenamiento y transporte, y la estrecha relación entre la eficiencia logística y los resultados clínicos (Kumar et al., 2008).

Por otra parte, la cadena de suministro en el ámbito sanitario abarca un conjunto de procesos que incluyen la adquisición, el almacenamiento y la distribución y la entrega final de insumos médicos, los cuales deben gestionarse garantizando criterios de calidad, trazabilidad y seguridad. Según Christopher (2016) plantea que una adecuada gestión logística busca optimizar los costos y mantener elevados niveles de servicio, lo cual resulta fundamental en el sector de salud, donde la disponibilidad oportuna de un insumo puede incidir directamente en la continuidad de un tratamiento o en la respuesta ante una situación de emergencia.

Una de las principales características de la logística en salud es la criticidad del tiempo ya que a diferencia de otros sistemas logísticos donde los retrasos pueden traducirse en pérdidas económicas, en el ámbito sanitario estos pueden comprometer la calidad de la atención e incluso poner en riesgo la vida de los pacientes (Rabaz, 2025). De acuerdo con World Health Organization (2020), la disponibilidad oportuna de medicamentos esenciales es un factor determinante en la capacidad de respuesta de los sistemas de salud, especialmente en contextos de atención urgente o en situaciones donde los recursos son limitados (WHO, 2020).

Asimismo, las ineficiencias en la distribución de insumos médicos pueden llegar a generar interrupciones en los servicios hospitalarios, retrasos en procedimientos clínicos y desabastecimiento temporal de medicamentos, afectando la continuidad de la atención (de Vries et al., 2011); la logística hospitalaria debería entenderse como un proceso operativo y un elemento estratégico que influye en la calidad del servicio y en los resultados en salud (Varo, 2016).

Por otro lado, en entornos urbanos complejos, la logística en salud enfrenta desafíos adicionales relacionados con la movilidad, la congestión vehicular y la variabilidad en los

tiempos de desplazamiento ya que, estas condiciones dificultan la planificación de rutas eficientes y aumentan la incertidumbre en la entrega de insumos críticos. De acuerdo con Crainic et al. (2009), los sistemas logísticos en ciudades densas deben adaptarse a dinámicas cambiantes que afectan directamente la confiabilidad de las operaciones de distribución.

En el ámbito de la distribución interclínica, el cual es entendida como el traslado de medicamentos y dispositivos médicos entre distintas instituciones de salud, la coordinación logística cobra especial importancia, y esto se debe a que dichas operaciones exigen una articulación efectiva entre varios actores, altos niveles de precisión en los tiempos de entrega y la capacidad de responder oportunamente ante situaciones imprevistas (Torres & Arias, 2025). En ese caso, como plantea Shah (2004) los sistemas de distribución en el sector de la salud deben estructurarse bajo principios de flexibilidad y resiliencia de manera que se asegure la continuidad del servicio frente a posibles interrupciones.

En ese contexto, las limitaciones propias del transporte terrestre pueden ocasionar demoras que repercuten en la eficiencia operativa de hospitales y farmacias, al aumentar los costos logísticos y disminuir la capacidad de respuesta ante emergencias médicas; frente a ello, surge la necesidad de considerar alternativas innovadoras que contribuyan a optimizar la distribución de insumos críticos, especialmente en la última milla, donde se concentran gran parte de los retos logísticos (Quitiaquez, 2024).

Aunado a lo anterior, la logística en el sector salud debe abordarse desde una perspectiva integral que combine eficiencia operativa, calidad del servicio y capacidad de respuesta oportuna y en el contexto de ciudades como Bogotá, donde las condiciones de movilidad representan un desafío constante, resulta pertinente analizar alternativas que permitan complementar los sistemas tradicionales de distribución, con el fin de garantizar la entrega segura y oportuna de medicamentos y dispositivos médicos (Lugo, 2025).

De esa manera, poder comprender la criticidad del tiempo y las características de la logística sanitaria permite dimensionar la importancia de optimizar los procesos de distribución interclínica; por ello, este enfoque teórico sustenta la necesidad de evaluar tecnologías emergentes, como los sistemas RPAS, como posibles soluciones complementarias orientadas a mejorar la eficiencia y la oportunidad en la entrega de insumos médicos en entornos urbanos complejos.

Sistemas RPAS (drones) y su aplicación en la logística de última milla

Los sistemas de aeronaves pilotadas a distancia, conocidos como RPAS (Remotely Piloted Aircraft Systems), constituyen una tecnología emergente que ha adquirido relevancia en diversos sectores debido a su capacidad para operar de manera autónoma o semiautónoma en entornos donde el acceso terrestre resulta limitado o ineficiente, y estos sistemas están compuestos por la aeronave no tripulada, una estación de control en tierra y los enlaces de comunicación que permiten su operación, configurando una solución tecnológica flexible para múltiples aplicaciones, entre ellas la logística y el transporte de carga ligera (Clothier et al., 2015).

En los últimos años, los drones han adquirido mayor importancia dentro de la logística de última milla debido al crecimiento del comercio electrónico y a la necesidad de realizar entregas más rápidas y eficientes. En este contexto, investigaciones como la desarrollada por Pérez (2025) han estudiado modelos de optimización que integran drones y vehículos terrestres mediante esquemas híbridos orientados a mejorar el rendimiento de las operaciones logísticas. Dentro de sus aportes, el autor abordó el problema conocido como “viajero con drones” (Flying Sidekick Traveling Salesman Problem), evidenciando que la combinación entre camiones y drones permite disminuir de manera considerable los tiempos de distribución frente a los sistemas tradicionales de entrega.

En el sector salud, el uso de RPAS muestra un potencial particularmente significativo debido a la necesidad de transportar insumos críticos en tiempos reducidos, como por ejemplo, experiencias internacionales como la de Scott & Scott (2017) documentaron el uso de drones para el transporte de sangre, vacunas y medicamentos en regiones con limitaciones de infraestructura, evidenciando mejoras en la oportunidad de entrega y en la cobertura de los servicios de salud; y estudios como el de Amukele et al. (2017) han evaluado la viabilidad del transporte de muestras biológicas mediante drones, concluyendo que este tipo de tecnología puede mantener la integridad de los productos transportados bajo condiciones controladas.

Continuando con lo anterior, entre las principales ventajas de los sistemas RPAS en logística se destacan la reducción de tiempos de entrega, la posibilidad de evitar la congestión vehicular, el acceso a zonas remotas o de difícil tránsito y la disminución de algunas externalidades ambientales asociadas al transporte terrestre, como las emisiones contaminantes (Goodchild & Toy, 2018); ya que, estas características los convierten en una alternativa atractiva para el transporte de insumos de alta prioridad y bajo volumen, donde la rapidez y la confiabilidad son factores críticos.

Aun así, el uso de drones en logística también presenta limitaciones importantes que deben ser consideradas; entre ellas se encuentran la capacidad de carga reducida, la limitada autonomía de vuelo, la dependencia de condiciones climáticas favorables y la necesidad de infraestructura complementaria para despegue, aterrizaje y mantenimiento; y estas restricciones implican que los RPAS no sustituyen completamente al transporte terrestre, pero que se integran como un complemento dentro de sistemas logísticos híbridos (Otto et al., 2018).

La incorporación de drones en contextos urbanos densos implica una serie de retos asociados a la seguridad, la gestión del espacio aéreo y su interacción con el entorno construido. En ese sentido, Clothier et al. (2025) señalan que la operación segura de

RPAS en zonas pobladas exige considerar riesgos como fallas técnicas, interferencias y posibles afectaciones a terceros, lo que impulsa el desarrollo de marcos normativos orientados a garantizar la seguridad operacional. Aun así, su potencial en logística se potencia cuando se integran de manera estratégica en segmentos específicos de la cadena de suministro, especialmente en lo relacionado a la última milla y en actividades donde el tiempo es un factor crítico.

Tal como lo indican Goodchild & Toy (2018), los drones resultan particularmente útiles en escenarios donde la rapidez de entrega es prioritaria y las limitaciones del transporte terrestre afectan la eficiencia del sistemas. En el caso de la logística interclínica de medicamento y dispositivos médicos, estas condiciones adquieren mayor relevancia ya que la necesidad de entregas oportuna sumada a las restricciones de movilidad en ciudades como Bogotá, abre la posibilidad de considerar los RPAS como un apoyo complementario para optimizar la distribución (Cabrera et al., 2025; Fuerte et al., 2024).

Limitaciones operativas y regulatorias de los RPAS en entornos urbanos

El uso de sistemas de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS) en entornos urbanos se ha consolidado como una alternativa prometedora para mejorar los procesos logísticos, particularmente en la distribución de última milla; además, su implementación enfrenta algunas limitaciones de carácter operativo, técnico y regulatorio que condicionan su viabilidad, especialmente en ciudades densamente pobladas, y estas restricciones deben analizarse de manera integral, dado que inciden directamente en la seguridad, la eficiencia y la sostenibilidad de las operaciones con drones, lo que exige una evaluación rigurosa antes de su incorporación en sistemas logísticos reales (Otto et al., 2018).

Desde el punto de vista operativo, una de las principales limitaciones de los RPAS se relaciona con su capacidad de carga y autonomía de vuelo ya que, los drones destinados a aplicaciones logísticas suelen presentar restricciones en el peso que pueden transportar y en la duración de sus baterías, lo que limita tanto su alcance como la

cantidad de insumos que pueden movilizar en una sola operación (Otto et al., 2018). A ello se suma la influencia de las condiciones climáticas, ya que factores como el viento, la lluvia o la niebla pueden afectar la estabilidad, el control y el desempeño general de la aeronave, incrementando el riesgo de fallos operativos o interrupciones del servicio (Clothier et al., 2015).

El uso de RPAS en escenarios urbanos conlleva una complejidad considerable que plantea retos para su operación segura y la alta densidad de edificaciones, la presencia de numerosos obstáculos físicos y la interacción permanente con las dinámicas propias de la ciudad dificultan la navegación y elevan el nivel de riesgo operativo. Por ejemplo, la European Union Aviation Safety Agency señala que el espacio aéreo a baja altitud en áreas urbanas resulta especialmente complejo, debido a la coexistencia de distintos usuarios y a la necesidad de proteger a las personas en superficie (EASA, 2024). De igual forma, el uso de drones bajo estas condiciones conlleva riesgos para terceros, lo que llega a incrementar las preocupaciones en materia de seguridad, y también incide en la percepción social sobre esta tecnología (Clothier et al., 2015).

En el plano regulatorio, la operación de los RPAS se encuentra enmarcada por un conjunto de normas orientadas a garantizar la seguridad operacional y su adecuada integración en el espacio aéreo; en Colombia, los Reglamentos Aeronáuticos de Colombia, en especial el RAC 100, definen criterios específicos sobre la clasificación de las operaciones, las limitaciones de vuelo, las zonas restringidas y las responsabilidades de los operadores; y estas disposiciones contemplan restricciones importantes para el contexto urbano, como la prohibición de sobrevolar aglomeraciones de personas y la obligación de cumplir determinadas condiciones operativas; en este marco normativo puede reducir el margen de maniobra y afectar la escalabilidad de las soluciones logísticas basadas en el uso de drones (UAEAC, 2024).

Aunado a ello, la integración de RPAS en la logística urbana también enfrenta desafíos asociados a la gestión del espacio aéreo donde la necesidad de coordinar su operación con aeronaves tripuladas, establecer corredores seguros y desarrollar sistemas de gestión de tráfico aéreo no tripulado (UTM) evidencia que aún existen limitaciones estructurales para su implementación a gran escala (Navarro et al., 2025). Es así como, los drones no deben entenderse como un reemplazo del transporte terrestre, sino como una solución complementaria cuya viabilidad depende de las condiciones específicas del entorno. Por ello, en ciudades como Bogotá, estas restricciones adquieren una relevancia particular, por lo que su análisis resulta fundamental para el diseño de rutas seguras y funcionales en la logística interclínica de insumos médicos.

Sistemas de Información (SIG)

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) constituyen herramientas fundamentales para el análisis, gestión y representación de información espacial, permitiendo integrar datos geográficos con variables ambientales, sociales y operativas en un mismo entorno de análisis (Rivera, 2026; Rodríguez, 2024).

En el ámbito logístico, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) tienen un papel clave en la toma de decisiones relacionadas con la localización, distribución y optimización de rutas, sobre todo en contextos urbanos complejos; en la logística de última milla, estas herramientas facilitan el análisis de la distribución espacial de los puntos de origen y destino, así como la identificación de patrones de movilidad y restricciones del territorio, de esa manera, contribuyen a una planificación más eficiente de los recorridos en el entorno urbano.

En ese sentido, el uso de tecnologías geoespaciales favorece una mejor comprensión de las dinámicas de distribución y aporta a la mejora del desempeño operativo, al facilitar la identificación de trayectorias más eficientes y la disminución de los tiempos de

desplazamiento, y este tipo de análisis resulta especialmente pertinente en ciudades con alta densidad poblacional, donde la variabilidad del tráfico y las limitaciones de infraestructura incrementan los niveles de incertidumbre (Garrido & Lozano, 2025).

Además, los SIG permiten la aplicación de metodologías de evaluación multicriterio, en las cuales se integran diferentes variables para apoyar la toma de decisiones. En el caso de la planificación de rutas para RPAS, estas herramientas permiten considerar simultáneamente factores técnicos, ambientales, regulatorios y territoriales, tales como la presencia de obstáculos, zonas restringidas, condiciones climáticas y características del espacio urbano. De acuerdo con Principi (2025), la evaluación multicriterio en entornos geoespaciales facilita la selección de alternativas óptimas al combinar distintos criterios que pueden tener diferentes niveles de importancia en el proceso de decisión.

En el ámbito de la movilidad aérea urbana, los SIG son usados para el diseño de corredores de vuelo y la identificación de áreas potencialmente aptas para operaciones con drones donde se demuestra que la integración de datos espaciales permite delimitar zonas seguras de operación, reducir riesgos asociados a la densidad urbana y mejorar la las trayectorias de vuelo; de igual forma estas herramientas permiten representar distintos escenarios y simular rutas lo que facilita analizar la viabilidad de las operaciones antes de llevarlas a cabo en condiciones reales (Zapata, 2024).

En esa misma línea, los Sistemas de Información Geográfica se consolidan como un recurso fundamental para la planificación de trayectorias de vuelo con RPAS en entornos urbanos complejos (Sarango, 2024). En el marco de la presente investigación, los SIG posibilitan la integración de criterios técnicos, normativos, ambientales y territoriales previamente identificados lo que favorece el análisis de viabilidad de las rutas interclínicas y respalda la toma de decisiones en la logística de distribución de medicamentos y dispositivos médicos.

Para cerrar el marco teórico, se plantea un análisis orientado a reconocer la evolución y las principales tendencias en torno a la logística, última milla, la logística en salud y el uso de sistemas RPAS en entornos urbanos. Así, la literatura evidencia un crecimiento sostenido en la última década, impulsado por el comercio electrónico, la optimización de la distribución urbana y el avance de tecnologías emergentes con mayor desarrollo en Europa, Norteamérica y Asia. En contraste, en América Latina y particularmente en ciudades como Bogotá, la producción científica sigue siendo limitada, lo que refleja vacíos en contextos marcados por la congestión y restricciones operativas y justifica la necesidad de estudios aplicados que analicen la viabilidad de integrar las RPAS a la logística inter clínica desde una perspectiva territorial, logística y normativa.

Marco normativo

El análisis de la viabilidad del uso de sistemas de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS) en la logística interclínica de medicamentos y dispositivos médicos requiere una revisión detallada del marco normativo que regula su operación en Colombia, debido a que la incorporación de tecnologías emergentes en entornos urbanos implica el cumplimiento de disposiciones legales orientadas a garantizar la seguridad operacional, la protección de las personas y la adecuada integración de estos sistemas en el espacio aéreo.

El componente normativo es clave en esta investigación, en la medida en que delimita el marco jurídico que incide directamente en el diseño de rutas de vuelo y en la evaluación de la viabilidad de los drones como apoyo al transporte terrestre en la distribución de insumos críticos en salud. En Colombia, la regulación de los RPAS se encuentra en un proceso de fortalecimiento gradual, impulsado por la expansión de su uso en distintos sectores y por la necesidad de definir criterios técnicos que aseguren operaciones seguras, especialmente en entornos urbanos de alta densidad y con elevada complejidad territorial.

Así, el cumplimiento de la normativa vigente se convierte en un requisito esencial para asegurar que las posibles rutas de vuelo propuestas se ajusten a las condiciones establecidas por la autoridad aeronáutica, evitando riesgos asociados a la seguridad aérea, la integridad de las personas y la interferencia con otras actividades que se desarrollan en el espacio aéreo (UAEAC, 2024).

Asimismo, el marco normativo abarca tanto las disposiciones específicas sobre la operación de drones como también aquellas normas relacionadas con el transporte de medicamentos, la protección del espacio urbano, la gestión ambiental y la seguridad de la información, debido a que la logística interclínica de insumos médicos involucra variables técnicas, regulatorias y territoriales que deben ser analizadas de manera integral. En el sector salud, la entrega de medicamentos y equipos médicos debe cumplir con normas que aseguren su calidad, trazabilidad y condiciones de transporte especialmente al evaluar las alternativas innovadoras que buscan agilizar la distribución sin afectar la seguridad de los productos.

De ese modo, la planificación de rutas de vuelo con RPAS en entornos urbanos requiere considerar las regulaciones sobre el uso del espacio aéreo, zonas restringidas, protección ambiental y privacidad, ya que los drones pueden generar impactos sobre la ciudad y deben de operar bajo criterios de seguridad y sostenibilidad. Así, la normativa vigente limita su operación cerca de aeropuertos, instalaciones estratégicas o áreas con alta concentración de personas lo que condiciona la definición de trayectorias viables en Bogotá D.C. (UAEAC, 2024).

En ese marco, el estudio analiza las disposiciones legales sobre RPAS, transporte de medicamentos y uso del espacio urbano para establecer criterios que permitan evaluar la factibilidad de su aplicación en la logística interclínica de la red Cruz Verde. De esa manera, el análisis normativo se articula con el enfoque metodológico del estudio, particularmente con el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG), ya que la

identificación de restricciones regulatorias permite integrarlas como variables dentro del proceso de planificación de rutas, contribuyendo a la formulación de trayectorias seguras, eficientes y ajustadas a la normativa vigente.

Regulación aeronáutica de los RPAS en Colombia

La operación de sistemas de drones pilotadas a distancia (RPAS) en Colombia está regulada por la Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil (UAEAC), entidad responsable de establecer los lineamientos técnicos que garanticen la seguridad operacional y la adecuada integración de estas aeronaves en el espacio aéreo. El principal marco normativo es el Reglamento Aeronáutico de Colombia RAC 100, el cual define los requisitos para la operación de drones, incluyendo la clasificación, limitaciones de vuelo, responsabilidades del operador y condiciones destinadas a reducir riesgos para personas, infraestructura y la navegación aérea. Además, en entornos urbanos, la normativa establece restricciones específicas, especialmente en zonas cercanas a aeropuerto, instalaciones estratégicas o áreas con alta concentración poblacional con el fin de prevenir incidentes y proteger la seguridad de terceros (UAEAC, 2024).

Por lo que, estas condiciones resultan relevantes para la presente investigación, debido a que el diseño de rutas de vuelo requiere integrar los criterios regulatorios dentro del análisis espacial, con el fin de identificar trayectorias viables que cumplan con las disposiciones establecidas por la autoridad aeronáutica.

De igual manera, el RAC 100 constituye un marco de referencia fundamental para evaluar la viabilidad del uso de RPAS en la logística interclínica de medicamentos y dispositivos médicos, ya que permite establecer los parámetros bajo los cuales se pueden planificar operaciones seguras y acordes con la normativa vigente. La consideración de estos lineamientos contribuye a asegurar que las rutas de vuelo propuestas no solo respondan a criterios técnicos y territoriales, sino que también se

ajusten a los requisitos legales necesarios para su posible implementación en el contexto urbano de Bogotá D.C.

Normativa sobre espacio aéreo, seguridad y gestión del riesgo

La operación de sistemas de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS) en entornos urbanos no solo depende de la reglamentación específica para drones, sino también del conjunto de disposiciones que regulan el uso del espacio aéreo y los principios de seguridad operacional aplicables a toda actividad aeronáutica. En Colombia, el espacio aéreo es un recurso estratégico cuya administración corresponde al Estado, por lo que cualquier actividad que implique la circulación de aeronaves debe ajustarse a criterios orientados a garantizar la protección de las personas, la infraestructura y la navegación aérea en general (Congreso de la República de Colombia, 1971).

Desde el punto de vista jurídico, el Código de Comercio establece que la navegación aérea se encuentra sujeta a regulación estatal, definiendo responsabilidades relacionadas con la seguridad de las operaciones y la prevención de riesgos que puedan afectar a terceros; la normativa reconoce la necesidad de controlar el uso del espacio aéreo para evitar interferencias entre distintos tipos de aeronaves, así como prevenir incidentes que puedan comprometer la integridad de las personas o generar daños materiales (Congreso de la República de Colombia, 1971).

Este aspecto es importante para los RPAS, ya que su funcionamiento suele realizarse a baja altitud, un espacio en el que convergen los distintos componentes del entorno urbano como edificaciones, redes de servicios y las dinámicas propias de la ciudad; en ese contexto, la seguridad operacional se convierte en un principio esencial de la regulación aeronáutica, pues implica reconocer, analizar y reducir los riesgos que pueden surgir durante la operación de aeronaves. Según la Aeronáutica Civil, toda actividad aérea debe llevarse a cabo bajo condiciones que disminuyan la probabilidad de incidentes o accidentes lo que supone evaluar los elementos relacionados a las

características del entorno, la existencia de obstáculos, la cercanía de aeropuertos y la interacción con otras operaciones aéreas (UAEAC, 2024).

Por otra parte, la normativa también contempla la existencia de zonas restringidas o prohibidas para la operación aérea, tales como áreas cercanas a aeropuertos, instalaciones militares, infraestructuras estratégicas o espacios donde se desarrollen actividades que requieran condiciones especiales de seguridad, las cuales buscan proteger tanto la navegación aérea como la seguridad nacional, por lo que deben ser consideradas dentro del proceso de planificación de rutas, especialmente cuando se analizan alternativas de movilidad aérea urbana que involucran el uso de drones (UAEAC, 2024).

Normativa del sector salud aplicable al transporte de medicamentos y dispositivos médicos

La distribución de medicamentos y dispositivos médicos en Colombia se encuentra regulada por un conjunto de disposiciones orientadas a garantizar la calidad, seguridad y disponibilidad de los productos utilizados en la atención sanitaria. En ese caso, la logística interclínica debe cumplir condiciones específicas relacionadas con el almacenamiento, transporte y trazabilidad de los insumos, debido a que estos productos pueden presentar sensibilidad a factores ambientales como la temperatura, la humedad o la exposición a la luz, lo que puede afectar su estabilidad y eficacia terapéutica si no se mantienen condiciones adecuadas durante su traslado.

El Decreto 2200 del año 2005 define las directrices del servicio farmacéutico en Colombia donde establece las responsabilidades sobre la adquisición, almacenamiento, distribución y dispensación de medicamentos con el fin de asegurar su calidad y uso adecuado. Así, la normativa enfatiza la necesidad de mantener condiciones técnicas que conserven las propiedades de los productos durante toda la cadena de suministro por lo

que cualquier modalidad de transporte, incluido el uso de RPAS debe garantizar la integridad de los medicamentos y dispositivos médicos desde el origen hasta su destino.

La Resolución 1403 de 2007 refuerza este marco al definir el modelo de gestión del servicio farmacéutico y las buenas prácticas para el almacenamiento y la distribución de medicamentos; en ella se enfatiza la necesidad de asegurar la trazabilidad de los productos y de conservar condiciones óptimas que eviten alteraciones en sus propiedades o eficacia. Para los medicamentos que requieren cadena de frío, resulta fundamental mantener un control estricto de la temperatura durante todo el traslado, lo cual se convierte en un aspecto técnico determinante al evaluar la viabilidad del uso de drones en el transporte interclínico.

Asimismo, el Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (INVIMA) establece lineamientos relacionados con el control sanitario de medicamentos y dispositivos médicos, los cuales buscan proteger la salud pública mediante la verificación de condiciones adecuadas en los procesos de producción, almacenamiento y distribución, las cuales destacan la importancia de implementar mecanismos que permitan asegurar la calidad de los productos durante su transporte, así como la necesidad de contar con procedimientos que faciliten su seguimiento y control dentro de la cadena logística (INVIMA, 2023).

Normativo ambiental y urbana aplicable a la operación de drones

La incorporación de sistemas RPAS en entornos urbanos requiere considerar la normativa ambiental y territorial vigente, debido a que el uso del espacio urbano implica la interacción con elementos físicos, sociales y ecológicos que deben gestionarse bajo criterios de sostenibilidad y planificación territorial. En Colombia, la Ley 99 de 1993 establece los principios generales de la política ambiental, señalando la importancia de prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, así como promover el uso de

tecnologías que contribuyan a la reducción de impactos negativos sobre el entorno (Congreso de la República de Colombia, 1993).

La incorporación de drones en los procesos logísticos surge como una alternativa orientada a mejorar la eficiencia en la distribución de insumos y reducir los impactos ambientales generados por el transporte terrestre, especialmente en ciudades donde la congestión vehicular afecta de manera constante la movilidad y los tiempos de entrega. En el entorno urbano, estas dinámicas también se encuentran condicionadas por instrumentos de planificación como el Plan de Ordenamiento Territorial (POT), encargado de regular el uso del suelo y definir lineamientos para el crecimiento organizado y equilibrado de la ciudad.

En Bogotá D.C., el POT define criterios relacionados con la organización del espacio urbano, la localización de infraestructuras estratégicas y la protección de áreas ambientalmente sensibles, aspectos que deben considerarse en la planificación de trayectorias de vuelo para RPAS, especialmente cuando se busca minimizar interferencias con zonas residenciales, equipamientos urbanos o áreas de protección ambiental (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2021). De esa manera, la integración de criterios ambientales y territoriales contribuye a que la planificación de rutas mediante SIG contemple restricciones espaciales que favorezcan la seguridad y sostenibilidad de las operaciones.

Protección de datos, privacidad y seguridad de la información

El uso de tecnologías basadas en sistemas RPAS puede implicar la captura y gestión de información geográfica, imágenes o datos relacionados con infraestructuras de salud, lo que hace necesario considerar la normativa vigente sobre protección de datos personales y seguridad de la información. En Colombia, la Ley 1581 de 2012 establece disposiciones generales para la protección de datos personales, reconociendo el derecho

que tienen las personas a conocer, actualizar y rectificar la información que se haya recogido sobre ellas en bases de datos o sistemas de información.

Así, esta normativa busca garantizar el manejo adecuado de la información y prevenir el uso indebido de datos que puedan afectar la privacidad de las personas o de las instituciones; de igual manera, el tratamiento de información relacionada con el sector salud exige especial cuidado debido a su carácter sensible, lo que implica adoptar medidas orientadas a garantizar la confidencialidad, integridad y disponibilidad de los datos utilizados en los procesos logísticos. En tales circunstancias, la normativa colombiana promueve la implementación de mecanismos de seguridad que permitan proteger la información frente a accesos no autorizados o posibles vulneraciones, asegurando que el uso de tecnologías emergentes se desarrolle bajo principios de responsabilidad y respeto por la privacidad.

Marco institucional

La presente investigación se desarrolla en el contexto de la red de droguerías y farmacias intrahospitalarias de Cruz Verde, organización del sector farmacéutico que participa activamente en la prestación de servicios de apoyo a instituciones de salud en Colombia; la organización orienta su quehacer la dispensación, administración y distribución de medicamentos y dispositivos médicos, sosteniendo una articulación constante con clínicas, centros asistenciales y servicios de urgentes. Por ello, esta dinámica de trabajo le permite consolidarse como un actor estratégico dentro de la cadena de abastecimiento, el sistema de salud, al garantizar continuidad y eficiencia en el suministro.

En el ámbito nacional, la Cruz Verde dispone de una sólida presencia operativa, con más de 100 puntos de atención, una parte de estos se localiza en la ciudad de Bogotá D.C. donde la empresa funciona mediante farmacias intrahospitalarias que se integran directamente con las instituciones de salud; y gracias a ello, la atención se ve favorecida

lo cual es coherente con los procesos clínicos ya que se asegura una respuesta oportuna frente a las demandas de abastecimiento.

La red Cruz Verde desarrolla su operación logística junto a 14 Instituciones Prestadoras de Servicios de Salud de diferentes niveles de complejidad, las cuales agrupan aproximadamente a 360 trabajadores del área farmacéutica. De este total, 273 pertenecen a instituciones de alta complejidad, situación que evidencia una mayor necesidad de abastecimiento y un volumen más constante de traslados entre sedes. La distribución interclínica se realiza principalmente mediante transporte terrestre, por lo que se requiere una coordinación continua entre los distintos puntos de atención, ajustándose a los cambios en la demanda y a la presencia simultánea de solicitudes programadas y requerimientos urgentes.

A pesar de ello, el funcionamiento del sistema se ve afectado por condiciones propias de la dinámica urbana, especialmente la congestión vehicular y la variación en los tiempos de desplazamiento, factores que repercuten directamente en la eficiencia de la entrega de insumos críticos. Frente a esta situación, la investigación plantea el análisis de alternativas orientadas a fortalecer la logística de última milla mediante la posible incorporación de sistemas de aeronaves pilotadas a distancia como apoyo al transporte convencional, buscando reducir los tiempos de entrega, mejorar los procesos logísticos y aumentar la capacidad de respuesta del sistema farmacéutico en entornos urbanos complejos.

Metodología

Enfoque y alcance de la investigación

El presente estudio se desarrollará bajo un enfoque cuantitativo con apoyo de análisis espacial mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG), el cual, según Hernández Sampieri, Roberto (2018), se caracterizará por la recolección y análisis de datos numéricos con el propósito de probar hipótesis, identificar relaciones entre variables y establecer patrones de comportamiento mediante procedimientos estadísticos. Este enfoque permitirá abordar los fenómenos desde una perspectiva objetiva y medible, facilitando la comparación de resultados en diferentes escenarios y contextos.

De manera complementaria, Creswell, John (2014) indica que el enfoque cuantitativo será pertinente cuando se busque explicar fenómenos a partir de variables observables y estructuradas previamente, así como generar resultados transferibles a contextos similares. En la presente investigación, dicho enfoque se articulará con herramientas de análisis espacial para evaluar variables como la localización geográfica de instituciones de salud, distancias interclínicas, restricciones del espacio aéreo, condiciones ambientales, nivel de complejidad hospitalaria y disponibilidad del servicio farmacéutico, orientando el uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) hacia la identificación de corredores o rutas potenciales de vuelo para RPAS dentro del entorno urbano de Bogotá D.C.

De acuerdo con lo expuesto, el estudio articulará variables técnicas, normativas, territoriales y ambientales con el fin de construir escenarios comparativos que orienten la definición de rutas de vuelo factibles dentro de la red logística de Cruz Verde en Bogotá D.C. Bajo este enfoque, la metodología permitirá valorar de manera objetiva el potencial de los sistemas de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS) para optimizar los tiempos de entrega y mejorar la eficiencia de la logística interclínica, a partir de la identificación y

simulación de posibles trayectorias de vuelo contrastadas con las restricciones propias del transporte terrestre tradicional.

Continuando, el alcance del presente estudio será de tipo descriptivo con componente aplicado, el cual, de acuerdo con Hernández (2018), tendrá como finalidad especificar las características, propiedades y perfiles de un fenómeno, población o contexto, sin intervenir directamente en las variables analizadas. Este tipo de estudios permitirá comprender cómo se manifestará un fenómeno en condiciones reales, facilitando su caracterización detallada.

En el caso de esta investigación, el alcance descriptivo permitirá caracterizar la red de clínicas, hospitales y centros médicos vinculados a Cruz Verde en Bogotá D.C., identificando patrones de distribución espacial, niveles de complejidad institucional, capacidades logísticas y requerimientos farmacéuticos. A su vez, el componente aplicado se evidenciará en la utilización de dicha caracterización para proponer rutas de vuelo RPAS ajustadas a condiciones reales de operación, normativa aeronáutica y criterios de seguridad, aportando insumos técnicos para la toma de decisiones orientadas a optimizar la logística interclínica de medicamentos y dispositivos médicos.

Población y muestra

La población de estudio estará conformada por instituciones prestadoras de servicios de salud ubicadas en Bogotá D.C. que integran la red logística de las farmacias intrahospitalarias de Cruz Verde, entre las cuales se incluirán clínicas, centros médicos y servicios de urgencias que demandan el traslado interclínico de medicamentos y dispositivos médicos. Esta red se soporta en una infraestructura farmacéutica de gran escala, ya que la organización dispone de más de 607 puntos de atención a nivel nacional y mantiene una presencia relevante en la ciudad, donde opera 16 droguerías con servicio permanente de 24 horas, y este panorama refleja tanto la amplitud de su cobertura como la complejidad de su operación logística. Bajo ese panorama, las

instituciones presentan diferencias en capacidad operativa, volumen de atención y necesidades de abastecimiento, factores que inciden en la frecuencia de los traslados y en la organización de la logística interinstitucional.

Desde el punto de vista metodológico, como lo plantea Hernández (2018) la población corresponde al conjunto total de unidades de análisis que comparten características relevantes para el estudio; en este caso, instituciones con servicios farmacéuticos intrahospitalarios vinculados a procesos de distribución de medicamentos.

Para el desarrollo del estudio se establecerá una muestra de 14 instituciones prestadoras de servicios de salud, seleccionadas mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia, considerando su relación directa con la operación logística de Cruz Verde y la disponibilidad de información necesaria para el análisis.; estas instituciones entre clínicas, centros médicos y servicios de urgencias se distribuyen en niveles de complejidad alta, media y baja, lo que facilita examinar el comportamiento del transporte interclínico en distintos escenarios.

En conjunto, la red agrupa 360 trabajadores del servicio farmacéutico, permitiendo dimensionar su capacidad operativa, aunque con una marcada concentración en instituciones de alta complejidad, donde se ubican 273 trabajadores, frente a 61 en nivel medio y 26 en nivel bajo, situación que evidencia una distribución diferencial del personal y, por ende, de la demanda logística asociada al suministro de medicamentos y dispositivos médicos; particularmente, el nivel alto está conformado por seis instituciones: Clínica Reina Sofía (42), Clínica Universitaria Colombia (60), Clínica del Country (55), Instituto Nacional de Cancerología (62), Clínica Reina Sofía Pediátrica y de la Mujer (15) y Clínica Santa María del Lago (39) que concentran la mayor carga operativa debido a la especialización de sus servicios, lo que se traduce en una mayor demanda de productos los cuales con base al estado de disponibilidad del mercado se terminan traduciendo en

frecuencia de traslados interclínicos y en una necesidad constante de abastecimiento oportuno de insumos.

Por su parte, las instituciones de complejidad media (5 instituciones) corresponden a la Clínica de la Mujer (17 personas), la Clínica Cecimin (12 personas), el Centro Médico Puente Aranda (16 personas), la Clínica Reina Sofía Medicina Avanzada 125 – Edificio Blue (14 personas) y la Clínica Compensar carrera 15 – Redes Médicas (2 personas), con un total de 61 personas, un nivel que indica una demanda moderada de medicamentos y dispositivos médicos, relacionada con consultas especializadas, atención hospitalaria general y procedimientos de complejidad media. Por esta razón, las instituciones necesitan reabastecimientos periódicos, los cuales en ocasiones requieren traslados entre clínicas para satisfacer necesidades puntuales de medicamentos o redistribuir inventarios dentro de la red.

El nivel de baja complejidad, conformado por tres instituciones, comprende la Clínica Campo Abierto (3 personas), el Centro Médico Unidad Renal (1 persona) y la Central de Urgencias Norte EPS Sanitas – Toberín (22 personas), sumando un total de 26 profesionales entre regentes y auxiliares del servicio farmacéutico. Aunque su capacidad operativa es menor que la de los niveles más altos, siguen desempeñando un papel fundamental en la atención ambulatoria y en servicios especializados, esto partiendo de la importancia el compromiso con la salud de las personas en donde la falta de un producto que se requiera sin importar su complejidad se refleja en la mejora o afectación del estado de salud de los pacientes. De ese modo, la distribución del personal refleja las diferencias en la intensidad de los procesos de recepción, almacenamiento, dispensación y coordinación logística de medicamentos.

Tabla 1. *Distribución de capacidad operativa entre instituciones*

Nivel de complejidad	Número de instituciones	Total personal
Alta	6	273
Media	5	61
Baja	3	26
Total	14	360

Esta caracterización evidencia que las instituciones de alta complejidad concentran la mayor proporción del personal (273 de 360 personas), lo cual sugiere una mayor frecuencia de movimientos logísticos dentro de la red. Por su parte, las instituciones de complejidad media y baja complementan la estructura de atención, permitiendo comprender de manera integral la distribución de la demanda farmacéutica en diferentes niveles del sistema de salud.

Variables

Las variables del estudio se estructurarán en función del análisis logístico y espacial necesario para evaluar la viabilidad del uso de RPAS en la distribución interclínica:

Tabla 2. *Variables del estudio*

Variables	Descripción
Independientes	Ubicación geográfica de las instituciones de salud
	Nivel de complejidad institucional (alta, media, baja)
	Tipo de institución (clínica, centro médico, central de urgencias)
	Disponibilidad del personal de Cruz Verde en cada sede
	Condiciones urbanas asociadas a la movilidad

Dependiente	• Viabilidad logística del uso de drones para el transporte interclínico de medicamentos y dispositivos médicos
De control	• Marco normativo aeronáutico vigente (RAC 100) • Condiciones de operación institucional • Disponibilidad de puntos de entrega seguros • Restricciones urbanas y territoriales

Nota. La variable “total del personal” permite estimar la capacidad operativa del servicio farmacéutico de cada institución funcionando como indicador indirecto de demanda logística.

Las variables de la investigación se establecerán a partir del objetivo general el cual consisten en evaluar la viabilidad del uso de RPAS como apoyo logístico interclínica de medicamentos y dispositivos médicos de la red Cruz Verde en Bogotá D.C., su elección considera criterios logísticos, espaciales, regulatorios y operativos que influyen en la planificación de rutas de vuelo en un entorno urbano complejo.

Por su parte, las variables independientes permitirán describir el sistema logístico vigente y servirán como base para el análisis espacial con SIG, resaltando la ubicación de las instituciones como un factor fundamental para determinar los puntos de origen y destino de los traslados, esto, a su vez, condiciona las distancias, los tiempos de entrega y la definición de posibles corredores aéreos para el diseño de las trayectorias de vuelo.

Además, el nivel de complejidad de cada institución (alta, media o baja) resultará fundamental para determinar la demanda logística de medicamentos y dispositivos médicos. Por ejemplo, las centrales de urgencias pueden generar necesidades de abastecimiento inmediato, mientras que los centros médicos pueden presentar demandas programadas o de menor volumen lo cual contribuye a comprender la dinámica operativa de la red y facilita la identificación de escenarios en los cuales el uso de drones podría aportar mayor eficiencia en los tiempos de respuesta. Así, el nivel de

complejidad institucional indica la demanda logística siendo las de alta complejidad las que requieren más abastecimientos y traslados urgentes, que funcionan como nodos estratégicos en la red de rutas.

Asimismo, las condiciones urbanas asociadas a la movilidad representarán un factor determinante en la eficiencia del transporte terrestre tradicional, debido a la congestión vehicular, variabilidad en los tiempos de desplazamiento y limitaciones propias de la infraestructura vial en Bogotá D.C. se justifican la exploración de alternativas complementarias como los RPAS, en la medida en que permiten analizar escenarios en los cuales el transporte aéreo podría reducir tiempos de entrega en trayectos específicos.

La variable dependiente, correspondiente a la viabilidad logística del uso de drones para el transporte interclínico de medicamentos y dispositivos médicos, integrará el resultado del análisis de las variables independientes y permitirá evaluar si existen condiciones favorables para la implementación de rutas de vuelo dentro del contexto urbano y normativo de la ciudad; la cual se relaciona directamente con el segundo y tercer objetivo específico, orientados al análisis espacial mediante SIG y a la formulación de rutas de vuelo viables, considerando restricciones técnicas y regulatorias.

Asimismo, las variables de control cumplen la función de acotar el estudio a un conjunto de condiciones tanto normativas como operativas claramente definidas; en ese caso, la regulación aeronáutica vigente en Colombia, específicamente la RAC 100, fija los parámetros que rigen la operación de RPAS, incluyendo las restricciones del espacio aéreo, los estándares de seguridad operacional y las exigencias para su uso en entornos urbanos. De tal modo, dichas disposiciones condicionan la definición de rutas viables y permiten reconocer las limitaciones asociadas a la implementación de drones en el traslado de medicamentos.

Las condiciones de operación institucional y la disponibilidad de puntos de entrega seguros permiten analizar la factibilidad de integrar la tecnología RPAS en entornos

hospitalarios reales, considerando aspectos como áreas de despegue y aterrizaje, protocolos de seguridad y coordinación con el personal responsable de la recepción de medicamentos. De igual forma, las restricciones urbanas y territoriales asociadas al entorno construido, la presencia de edificaciones de gran altura o zonas con limitaciones operativas, influyen en la planificación de trayectorias de vuelo seguras y eficientes.

Instrumentos

Para el desarrollo de la presente investigación se emplearán instrumentos orientados a la recopilación, organización y sistematización de información logística, espacial y normativa, con el fin de analizar la viabilidad del uso de sistemas de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS) en el transporte interclínico de medicamentos y dispositivos médicos en Bogotá D.C. La selección de los instrumentos responderá a la necesidad de integrar datos provenientes del contexto institucional, geográfico y regulatorio, en coherencia con el objetivo general del estudio.

En primer lugar, se empleará una matriz de caracterización de instituciones de salud, diseñada para organizar la información correspondiente a las clínicas, centros médicos y centrales de urgencias que hacen parte de la red logística de las farmacias intrahospitalarias de Cruz Verde ya que permite registrar variables como el nivel de complejidad institucional, el tipo de institución de salud y el número de personas vinculadas a la operación farmacéutica en cada sede. Como tal, la matriz facilita la estructuración de la información y permite identificar diferencias en la capacidad operativa entre instituciones, lo cual resulta relevante para estimar la demanda potencial de transporte interclínico de medicamentos y dispositivos médicos. Desde el enfoque de la logística en salud, la caracterización de los nodos de distribución permite comprender la dinámica de abastecimiento y la frecuencia de requerimientos de traslado entre puntos de la red (Christopher, 2016).

Asimismo, se empleará una base de datos georreferenciada construida a partir de la localización general de las instituciones incluidas en la muestra. Este instrumento permitirá asociar cada institución con su ubicación espacial dentro de la ciudad, facilitando la visualización de la distribución territorial de los puntos de origen y destino de los traslados. De ese modo, la georreferenciación constituirá un elemento fundamental para el análisis mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG), ya que permitirá integrar variables espaciales con información logística y operativa; la incorporación de datos espaciales contribuye a la identificación de patrones de localización y a la evaluación de distancias entre instituciones, aspectos clave para el diseño de rutas de transporte (Longley et al., 2015).

De igual manera, se utilizará una matriz de análisis normativo, orientada a identificar las disposiciones regulatorias aplicables a la operación de RPAS en Colombia, particularmente las establecidas en el Reglamento Aeronáutico de Colombia RAC 100. Este instrumento permitirá organizar la información relacionada con requisitos de operación, limitaciones en el espacio aéreo, condiciones de seguridad y restricciones aplicables en entornos urbanos; por ello, el análisis del marco normativo permite establecer los parámetros regulatorios dentro de los cuales podrían diseñarse rutas de vuelo, asegurando coherencia entre la propuesta técnica y la normativa vigente (UAEAC, 2023).

Adicionalmente, se empleará una matriz de variables logísticas, en la cual se integrarán los datos correspondientes a las variables independientes, dependiente y de control definidas en el estudio, esto facilitará la relación entre los factores territoriales, institucionales y regulatorios que influyen en la viabilidad del uso de drones, permitiendo organizar la información de manera sistemática para su posterior análisis. La estructuración de variables constituye una estrategia metodológica que contribuye a la

validez del estudio, al permitir la identificación de relaciones entre los factores analizados y el fenómeno de interés (Hernández-Sampieri y Mendoza, 2018).

Así, los instrumentos utilizados permiten organizar la información necesaria para comprender la dinámica actual del transporte interclínico en la red Cruz Verde, identificar la localización de las instituciones de salud y analizar las condiciones regulatorias que influyen en la posible implementación de RPAS como alternativa logística complementaria.

Procedimiento Metodológico

La investigación se desarrollará en cinco fases metodológicas orientadas al cumplimiento de los objetivos planteados.

Fase 1. Revisión bibliográfica y normativa

Se realizará la revisión de literatura científica, documentos técnicos y normativa relacionada con logística hospitalaria, sistemas RPAS, transporte de medicamentos y Sistemas de Información Geográfica (SIG), con el propósito de construir el sustento teórico y normativo de la investigación.

Fase 2. Caracterización de instituciones de salud

Se recopilará y organizará información correspondiente a las instituciones prestadoras de servicios de salud vinculadas a la red logística de Cruz Verde en Bogotá D.C., considerando variables como nivel de complejidad, tipo de institución y capacidad operativa del servicio farmacéutico.

Fase 3. Construcción de base georreferenciada

Se elaborará una base de datos georreferenciada con la ubicación general de las instituciones incluidas en la muestra, permitiendo identificar puntos de origen y destino para el análisis de posibles trayectorias de vuelo RPAS.

Fase 4. Análisis espacial y normativo

Se aplicarán herramientas SIG para evaluar distancias, corredores potenciales y restricciones territoriales, integrando adicionalmente el análisis del marco regulatorio RAC 100 para identificar limitaciones operativas en entornos urbanos.

Fase 5. Formulación de rutas viables

Finalmente, se integrarán criterios logísticos, técnicos, regulatorios y territoriales con el fin de proponer rutas de vuelo RPAS viables para complementar el transporte interclínico de medicamentos y dispositivos médicos dentro de la red Cruz Verde.

Técnicas para el análisis de la información

El análisis de la información se desarrollará mediante técnicas que integrarán el enfoque logístico, espacial y normativo, con el fin de evaluar la viabilidad del uso de drones en el transporte interclínico de medicamentos y dispositivos médicos; se articulan con los objetivos específicos del estudio, permitiendo identificar la dinámica actual del transporte terrestre, analizar la distribución espacial de las instituciones de salud y proponer rutas de vuelo técnicamente viables.

En relación con el primer objetivo específico, se empleará el análisis descriptivo de la red logística, el cual permitirá examinar la organización actual del transporte de medicamentos entre las instituciones de salud incluidas en la muestra y este análisis facilita la identificación de los puntos de origen y destino de los traslados interclínicos, así como la comprensión de la dinámica operativa de la red de farmacias intrahospitalarias de Cruz Verde. De ese modo, el análisis descriptivo constituirá una técnica fundamental en estudios logísticos, debido a que permitirá caracterizar el funcionamiento del sistema de distribución y reconocer factores que influyen en los tiempos de entrega y en la eficiencia del transporte (Ballou, 2004).

Para cumplir con el segundo objetivo específico, se aplicará el análisis espacial a través de Sistemas de Información Geográfica (SIG), herramienta que permitirá estudiar la relación entre la localización de las instituciones de salud y las características del

entorno urbano, y este tipo de análisis facilitará calcular distancias aproximadas entre puntos, identificar posibles rutas de vuelo o corredores aéreos potenciales para la operación de RPAS y reconocer limitaciones territoriales que podrían afectar la operación de los drones. Hay que destacar que los SIG permiten integrar información geográfica con variables logísticas, contribuyendo a la comprensión de la distribución espacial de la demanda de transporte y al diseño de soluciones que optimicen la movilidad en entornos urbanos (Longley et al., 2015).

Asimismo, se empleará el análisis de restricciones normativas, mediante el cual se revisan las disposiciones establecidas en el RAC 100 en relación con la operación de RPAS en Colombia, que permite identificar condiciones relacionadas con la seguridad operacional, limitaciones de altura de vuelo, restricciones en zonas urbanas y requisitos aplicables a la operación de aeronaves no tripuladas.

Como tal, este análisis permitirá identificar escenarios en los cuales el uso de RPAS podría contribuir a reducir tiempos de desplazamiento, optimizar trayectorias entre instituciones de salud y mejorar la eficiencia en la distribución de medicamentos; donde la evaluación de viabilidad constituye un componente esencial en estudios orientados a la incorporación de tecnologías emergentes en sistemas logísticos, debido a que permite determinar la pertinencia de su aplicación en contextos reales (Murray y Chu, 2015).

Por último, se empleará la técnica de integración de criterios técnicos, regulatorios y territoriales, mediante la cual se consolidan los resultados del análisis para la formulación de rutas de vuelo viables la cual permite articular la información obtenida a partir de las variables del estudio, facilitando la identificación de rutas o trayectorias de vuelo RPAS viables que cumplan con condiciones de seguridad operacional, coherencia normativa y pertinencia logística en el contexto urbano de Bogotá D.C.

Formulación de la hipótesis

A continuación se presenta la formulación de la hipótesis del presente trabajo:

- **Hipótesis de investigación (H1):**

La implementación de sistemas de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS), bajo criterios técnicos, regulatorios, ambientales y territoriales viables, puede complementar de manera eficiente el transporte terrestre en la distribución interclínica de medicamentos y dispositivos médicos de la red Cruz Verde en Bogotá D.C., al reducir tiempos de entrega en rutas críticas y fortalecer la capacidad de respuesta logística en instituciones de salud de alta demanda.

- **Hipótesis nula (H0):**

La implementación de sistemas RPAS no genera mejoras significativas en los tiempos de entrega ni en la eficiencia logística de la distribución interclínica de medicamentos y dispositivos médicos, en comparación con el transporte terrestre tradicional dentro de la red Cruz Verde en Bogotá D.C.

Como tal, la formulación de la hipótesis permite orientar el análisis hacia la evaluación objetiva de la tecnología RPAS como alternativa complementaria, considerando las condiciones reales de operación del servicio farmacéutico en el contexto urbano.

Diagnóstico

La logística de última milla en el sector salud representa un componente crítico dentro de la cadena de abastecimiento, especialmente en contextos urbanos donde la oportunidad en la entrega de medicamentos incide directamente en la continuidad de los procesos asistenciales. Por ello, el presente diagnóstico se enfoca en analizar la operación logística interclínica de Cruz Verde en Bogotá D.C., con el fin de identificar condiciones reales de funcionamiento, limitaciones operativas y oportunidades de mejora en el sistema actual de distribución.

ÚLTIMA MILLA CON DRONES: CASO CRUZ VERDE

La logística interclínica de medicamentos y dispositivos médicos en la red de Droguerías y Farmacias Intrahospitalarias Cruz Verde en Bogotá D.C. se desarrolla en un entorno operativo complejo, caracterizado por la interacción de múltiples instituciones de salud y una amplia red de sucursales farmacéuticas; esta estructura implica una alta demanda de coordinación logística, especialmente en lo relacionado con la distribución de insumos críticos en la última milla.

Descripción del proceso logístico actual

El proceso logístico interclínico en Cruz Verde se estructura a partir del procedimiento de gestión de productos faltantes (VD-FM-PC-08), el cual se activa cuando el personal de enfermería de la clínica realiza la solicitud formal bajo un número de orden de despacho de medicamentos y/o dispositivos médicos, y el auxiliar de farmacia de Cruz Verde identifica que uno o más productos no se encuentran disponibles en ninguna de las sucursales satélites de la clínica. En este punto, el personal farmacéutico (auxiliares, regentes o coordinadores) realiza la validación de disponibilidad del producto en otras farmacias de la red dentro de la misma ciudad, verificando tanto la existencia física del insumo como también que cumpla con las condiciones técnicas y administrativas requeridas para su traslado.

Una vez confirmada la disponibilidad, se procede a formalizar el traslado mediante la generación de la “nota de despacho” en los sistemas de información institucionales (SAP o EBS Oracle), lo que permite registrar, dar salida sistemática al inventario y dar trazabilidad al movimiento del producto entre las instituciones. Posteriormente, se coordina el transporte, generalmente a través de motorizados tercerizados, quienes se encargan de recoger el producto en la institución origen; por lo que esta fase depende en gran medida de la disponibilidad inmediata del recurso de transporte y de la capacidad de gestión del personal operativo para asignar el servicio de manera oportuna. En ese sentido, la operación interclínica en Cruz Verde depende de tres componentes críticos: la disponibilidad de inventario en la red, la capacidad de coordinación operativa y la disponibilidad de transporte terrestre inmediato, los cuales determinan la eficiencia y oportunidad del servicio logístico.

La incorporación y el análisis de los datos cuantitativos de la Tabla 3 son fundamentales, ya que transforman las suposiciones sobre los problemas de movilidad en pruebas claras y medibles. Describir textualmente que la red intrahospitalaria de Cruz Verde distribuye más de 4.6 millones de unidades al mes permite dimensionar con exactitud el nivel de presión al que está sometido el sistema de entregas. Esta información demuestra que la necesidad de enviar medicamentos de urgencia entre clínicas no se debe a fallos aislados, sino que es una situación constante e inevitable causada por la enorme cantidad de pacientes que atienden centros médicos de gran tamaño, como la Clínica Universitaria Colombia o el Instituto Nacional de Cancerología y sumado con el agotamiento de unidades a nivel mundial llevado por la escases de medicamentos.

Para el diagnóstico, este volumen de operación es la pieza clave que valida la gravedad del problema frente al congestionado tráfico de la ciudad. Al contrastar un flujo tan masivo de insumos médicos con las limitaciones del transporte en moto, el

diagnóstico adquiere el peso académico necesario para proponer soluciones innovadoras. De este modo, se demuestra sólidamente a los evaluadores que la propuesta de implementar rutas de entrega mediante drones (RPAS) no es un capricho tecnológico, sino una alternativa necesaria y eficiente para evitar que los retrasos viales afecten la oportuna atención de los pacientes.

Tabla 3. *Dimensión de la operación farmacias intrahospitalarias Cruz Verde*

Clinica	Prom de unidades mes dispensadas	Prom de unidades en saldo
Clinica Universitaria Colombia	1554970	956846
Clinica Reina Sofia Pediátrica y de la mujer	343564	339730
Clinica del country	630122	524625
Instituto Nacional de Cancerología	1098020	1115890
Clinica Santa Maria del Lago	351106	448279
Clinica de la Mujer	178210	214553
Clinica Cecimin	46462	36425
Central de U Puente Aranda	122460	216266
Centro de Especialistas 125 – Blue	68036	74884

Clinica Compensar Carrera 15	2744	9164
Clinica Campo Abierto	6026	8861
Centro Médico Unidad Renal	60826	83292
Central de Urg Toberin	161946	146763
Total	4614492	4175578

Características operativas del sistema de transporte

El transporte de medicamentos se realiza principalmente mediante servicios tercerizados de mensajería (Servicourier), con apoyo ocasional de taxis. La operación presenta las siguientes condiciones:

- Promedio mensual de servicios motorizados: 2.890 traslados
- Total anual (2025): 34.680 servicios
- Costo por servicio (2025): \$10.700
- Costo por servicio (2026): \$12.091
- Costo total anual (2025): \$371.076.000

En términos operativos, la disponibilidad de transporte se distribuye así:

Días hábiles:

- 2 motorizados (7:00 am – 2:00 pm)
- 2 motorizados (1:00 pm – 8:00 pm)
- 1 motorizado (7:00 pm – 2:00 am)

Fines de semana:

- 3 motorizados por día (8:00 am – 6:00 pm)

La cobertura geográfica abarca prácticamente toda Bogotá cubriendo las zonas de ubicación de las clínicas (calle 1 a 220 y carrera 1 a 86), lo que garantiza alcance, pero no necesariamente eficiencia en tiempos.

Desempeño del sistema: tiempos y condiciones reales

Los tiempos de entrega presentan una variabilidad significativa:

- Tiempo promedio de entrega: entre 1,5 y 4 horas
- Tiempo de asignación de transporte: entre 0 y 1,5 horas

Esta variabilidad se explica principalmente por el modelo operativo, en el cual un mismo motorizado puede realizar múltiples entregas en una sola ruta. Por ejemplo, un recorrido puede incluir varias clínicas antes de llegar al destino final, lo que introduce retrasos acumulativos incluso en distancias cortas. Adicionalmente, el sistema presenta restricciones operativas como:

- Limitación de volumen (máximo 60x50 cm por envío)
- Ausencia de control formal sobre peso transportado
- No existencia de indicadores de urgencia vs. prioridad de pedidos

Identificación de cuellos de botella en la última milla

Uno de los principales hallazgos del diagnóstico corresponde a la identificación de cuellos de botella estructurales en la logística de última milla, los cuales inciden directamente en la eficiencia del sistema de distribución interclínica. Si bien, de manera general, estos se asocian a factores como la congestión vehicular, la variabilidad en los tiempos de desplazamiento, las limitaciones de la infraestructura vial y las restricciones de acceso en determinadas zonas urbanas, el análisis operativo evidencia que dichas condiciones se materializan en impactos medibles sobre el desempeño del sistema logístico.

En primer lugar, se identifica una dependencia total del transporte terrestre, ya que el 100% de los traslados interclínicos se realizan mediante motorizados u otros medios viales y esta condición expone la operación a la dinámica de movilidad urbana de Bogotá, generando tiempos de entrega que oscilan entre 1,5 y hasta 4 horas por servicio. Asimismo, no existe una estandarización en los tiempos de desplazamiento, lo que implica una alta variabilidad operativa incluso entre trayectos similares. La proximidad geográfica entre instituciones no garantiza eficiencia en la entrega, evidenciando una desconexión entre distancia física y accesibilidad real, aspecto que configura una limitación estructural del modelo logístico actual.

En segundo lugar, se observa una limitada capacidad operativa del sistema de transporte frente al volumen de demanda; con un promedio de 2.890 servicios mensuales (equivalentes a 34.680 traslados anuales en 2025) y una disponibilidad aproximada de cinco motorizados en días hábiles, se configura una alta carga operativa por recurso disponible.

La capacidad operativa disponible frente a la demanda del servicio genera demoras que pueden llegar hasta 1,5 horas en la asignación de despachos, situación que afecta directamente la rapidez de atención, especialmente en requerimientos urgentes. A esto se suma un modelo de distribución basado en recorridos con múltiples entregas, donde un mismo motorizado atiende varias instituciones durante una sola ruta, provocando retrasos progresivos y dificultades para responder de manera oportuna a las necesidades asistenciales, debido a que la operación prioriza la agrupación de entregas sobre la inmediatez de cada solicitud.

Por último, se evidencia la ausencia de indicadores logísticos formales que permitan una gestión adecuada, dado que no se registran métricas claves como pedidos urgentes, retrasos, niveles de servicio o errores operativos; a esto se suman retrocesos derivados

de fallas en la entrega, que obligan a reprogramar envíos, incrementando tiempos y costos sin que estos impactos estén debidamente cuantificados.

Limitaciones del modelo logístico actual

El análisis del funcionamiento operativo y de la información disponible permite identificar varias limitaciones estructurales que inciden directamente en el desempeño de la logística de última milla de la red farmacias intrahospitalarias de Cruz Verde; una de las principales dificultades corresponde a la variabilidad en los tiempos de entrega, los cuales fluctúan entre 1,5 y 4 horas por servicio según la ruta asignada, la cantidad de paradas y las condiciones de movilidad urban. De esa manera, el contexto refleja una falta de estandarización los procesos operativos y dificulta la planeación eficiente de los traslado, sobre todo en escenarios donde la rapidez en la entrega resulta determinante para la atención en salud.

Asimismo, la operación depende completamente del transporte terrestres, por lo que su desempeño está sujeto a factores externos como la congestión vehicular, las restricciones de movilidad, el estado de las vías e incluso el estado del clima. Por lo que, esta condición adquiere mayor relevancia debido a la amplia cobertura que debe atender la operación en Bogotá, donde los problemas de tráfico afectan constantemente la continuidad y eficiencia de los servicios. A ello se suma una capacidad operativa reducida frente a una demanda aproximada de 2.890 servicios mensuales atendidos con una flota limitada de motorizados, situación que incrementa la presión sobre el sistema y disminuye la capacidad de respuesta ante solicitudes simultáneas o de carácter urgente.

También se observan debilidades relacionadas con la gestión logística, en la optimización de rutas y en la concentración de la demanda en puntos críticos, principalmente en instituciones de alta complejidad. Aunque el modelo de distribución basado en múltiples entregas permite consolidar la carga y aprovechar los recorridos, afecta la rapidez individual de cada envío. Del mismo modo, persisten dificultades

operativas y tecnológicas derivadas de la falta de integración entre sistemas y de la ausencia de indicadores de desempeño, lo que limita la trazabilidad de los procesos y dificulta evaluar con precisión el nivel del servicio prestado.

En términos económicos, estas condiciones generan costos logísticos elevados; para el 2025 se estiman cerca de \$371.076.000 asociados a aproximadamente 34.680 servicios, cifra que evidencia la alta carga operativa y la necesidad de replantear el modelo actual para mejorar su eficiencia. En conjunto, las limitaciones presentadas afectan la oportunidad en la atención en salud, reducen el desempeño operativo y restringen la capacidad de respuesta frente a situaciones críticas, por lo que resulta pertinente considerar alternativas innovadoras que fortalezcan la logística interclínica en entornos urbanos complejos.

Oportunidad para la implementación de RPAS

El análisis del sistema logístico interclínico evidencia la existencia de escenarios donde el modelo actual no logra responder de manera óptima, particularmente en entregas urgentes, trayectos cortos afectados por alta congestión y situaciones que requieren reducción significativa en los tiempos de entrega. Aunque la operación presenta cobertura y continuidad, los tiempos actuales que oscilan entre 1,5 y 4 horas, resultan elevados frente a requerimientos clínicos inmediatos, lo que pone en evidencia brechas en la capacidad de respuesta del sistema, especialmente en contextos críticos donde la oportunidad del suministro es determinante.

Frente a este panorama, los sistemas de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS) surgen como una alternativa tecnológica capaz de complementar el transporte terrestre y mitigar varias de las limitaciones presentes en la operación actual, especialmente al reducir la dependencia de las condiciones del tráfico urbano y ofrecer mayor estabilidad en los tiempos de entrega, en particular en trayectos cortos donde la movilidad suele generar retrasos; en estas circunstancias, su implementación podría permitir entregas en

menos de una hora en rutas específicas, representando una mejora significativa cuando existen dificultades de acceso o alta variabilidad en los desplazamientos.

Igualmente, su adopción no debe asumirse de forma inmediata, dado que implica un análisis integral que contemple dimensiones técnicas, operativas y normativas, donde factores como las restricciones del espacio aéreo, las condiciones del entorno urbano, la disponibilidad de infraestructura para despegue y aterrizaje, así como la articulación con los procesos logísticos existentes, resultan clave para determinar su viabilidad; de ahí que la identificación de rutas potenciales y escenarios de aplicación cobre especial relevancia en la evaluación de su implementación.

Análisis de resultados

El diagnóstico permite comprender cómo opera actualmente la logística interclínica de Cruz Verde en Bogotá D.C. En términos generales, el sistema funciona bajo una dinámica que depende principalmente del transporte terrestre, situación que introduce limitaciones operativas relacionadas con la oportunidad en la entrega de medicamentos y dispositivos médicos. En la práctica, la operación se ve condicionada por factores como:

- Congestión vehicular constante en distintos corredores de la ciudad
- Variaciones importantes en los tiempos de desplazamiento
- Dependencia de motorizados tercerizados para la totalidad de los traslados
- Ausencia de priorización formal según urgencia clínica
- Limitada capacidad operativa frente al volumen de solicitudes

Esto genera un comportamiento logístico poco predecible. Un mismo trayecto puede tardar 20 minutos o más de una hora dependiendo del tráfico o de la secuencia de entregas asignadas a un mismo recorrido. Por otro lado, aunque existe cobertura amplia dentro de Bogotá, esa cobertura no siempre se traduce en eficiencia, ya que la distancia física entre instituciones no es el principal problema el factor crítico corresponde a la variabilidad en los tiempos de respuesta generada por las condiciones de movilidad urbana. En conjunto, estos elementos evidencian un sistema funcional, pero condicionado por factores externos que afectan la estabilidad y eficiencia de la operación logística.

A partir de la revisión de la distribución territorial de las instituciones de salud vinculadas a la red logística, se identificó una configuración espacial heterogénea dentro de la ciudad. Las instituciones de alta complejidad presentan una mayor concentración en sectores del norte y centro de Bogotá, mientras que las instituciones de complejidad media y baja se distribuyen de manera más dispersa hacia zonas intermedias y

periféricas. Por lo tanto, esta condición evidencia que la red logística presenta diferentes niveles de complejidad operativa dependiendo de la ubicación de las instituciones y de las condiciones de movilidad urbana presentes en cada sector.

De igual manera, se identificó que existen trayectos relativamente cortos en distancia, pero con tiempos de desplazamiento elevados debido a la congestión vehicular y a la dinámica operativa del sistema terrestre; asimismo, se reconocieron relaciones logísticas frecuentes entre determinadas instituciones de salud, especialmente entre clínicas de alta complejidad y centros de distribución farmacéutica. En ese contexto, la ubicación de hospitales, clínicas y puntos de distribución adquiere especial relevancia, debido a que estos espacios constituirían los posibles puntos de origen y destino dentro de futuras operaciones logísticas con RPAS.

Por esta razón, su localización territorial, nivel de complejidad y frecuencia de intercambio representan variables fundamentales para cualquier proceso de planificación técnica relacionado con rutas aéreas urbanas. Como tal, el alcance del estudio se orientó hacia la identificación de los principales lineamientos y condiciones que deberían considerarse para una futura definición técnica de rutas RPAS aplicadas al transporte interclínico de medicamentos y dispositivos médicos en Bogotá D.C.

Entre los principales elementos identificados se encuentran:

- Restricciones establecidas por la Aeronáutica Civil para operaciones RPAS en entornos urbanos.
- Posibles interferencias con rutas utilizadas por aeronaves tripuladas y helicópteros.
- Restricciones asociadas a edificaciones de gran altura, puentes, cableado eléctrico, antenas y demás infraestructura urbana.
- Condiciones de seguridad operacional en zonas densamente pobladas.
- Variables climáticas como lluvia, niebla, viento y visibilidad.
- Necesidad de identificar puntos seguros de despegue y aterrizaje.

- Ubicación estratégica de instituciones de salud y centros de distribución farmacéutica.

De ese modo, estos elementos constituyen criterios técnicos, territoriales, operativos y normativos que deberían ser considerados en futuras etapas de planificación y evaluación de rutas RPAS dentro del contexto urbano de Bogotá. Por lo tanto, el principal aporte de este análisis consiste en establecer una base conceptual y técnica para futuros procesos de estructuración de rutas RPAS, reconociendo las condiciones territoriales, urbanas y operativas que podrían influir en su viabilidad dentro de la red logística interclínica.

Identificación de escenarios operativos para RPAS

La revisión de la red de instituciones de salud en Bogotá muestra una estructura bastante clara: clínicas de alta complejidad concentradas en puntos estratégicos de la ciudad y otras de nivel medio y bajo distribuidas de forma más dispersa. Al cruzar esta información con los tiempos actuales de entrega y las condiciones de movilidad, se hace evidente que no todos los trayectos presentan el mismo nivel de dificultad operativa.

En algunos casos, los desplazamientos son cortos en términos de distancia, pero terminan siendo largos en tiempo por efecto del tráfico o de la carga operativa de la ruta. En otros, la necesidad de respuesta es mucho más crítica, especialmente en instituciones de alta complejidad donde el flujo de medicamentos es constante.

Bajo este panorama, la red puede entenderse como un sistema de envíos y como un conjunto de conexiones potenciales entre nodos hospitalarios; es justamente ahí donde se identifican los escenarios específicos en los que los RPAS podrían operar como alternativa complementaria, no reemplazando el sistema actual, sino resolviendo puntos donde este pierde eficiencia.

Para garantizar la precisión técnica y el cumplimiento normativo en el análisis de resultados, se desestimó el uso de herramientas cartográficas convencionales y se

implementó un análisis geoespacial avanzado mediante el Sistema de Información Geográfica (SIG) ArcGIS Pro 3.3. El objetivo principal de este modelado fue determinar la viabilidad real del espacio aéreo urbano en Bogotá D.C. para la interconexión de las instituciones médicas de la red Cruz Verde. El diseño y trazado de las rutas óptimas de distribución no se realizó de manera arbitraria, sino que respondió a una evaluación multicriterio basada en la superposición de capas de información cartográfica oficial y restricciones tridimensionales del entorno.

El proceso de modelado integró variables geoespaciales críticas provistas por la Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil (Aerocivil), las cuales permitieron delimitar las zonas de exclusión y restricción aérea absoluta y relativa. Específicamente, se parametrizaron e incorporaron al sistema las capas correspondientes a las superficies de limitación de obstáculos de aeropuertos y helipuertos, así como las zonas de seguridad restringidas sobre edificios gubernamentales e instalaciones militares. Asimismo, con el fin de mitigar los riesgos asociados a la navegación a baja altura en un entorno urbano denso, se integró una capa de altimetría edificada (morfología urbana), evaluando la altura y densidad de las estructuras físicas a lo largo de los corredores potenciales. La correlación y el procesamiento de estas variables de restricción legal, técnica y estructural dentro de ArcGIS Pro 3.3 permitieron calcular y segregar los pasillos aéreos seguros y viables, sirviendo como el fundamento científico a partir del cual se derivaron las rutas definitivas que se presentan y analizan a continuación

Escenario 1. Conexión entre instituciones de alta complejidad

Este escenario agrupa las instituciones con mayor demanda de medicamentos, mayor flujo de pacientes y mayor criticidad en la atención. En estos casos, el tiempo de entrega tiene un impacto directo en la continuidad de los procesos clínicos. Las principales relaciones identificadas son:

Figura 1. Clínica Del Country ↔ Clínica Santa María del Lago

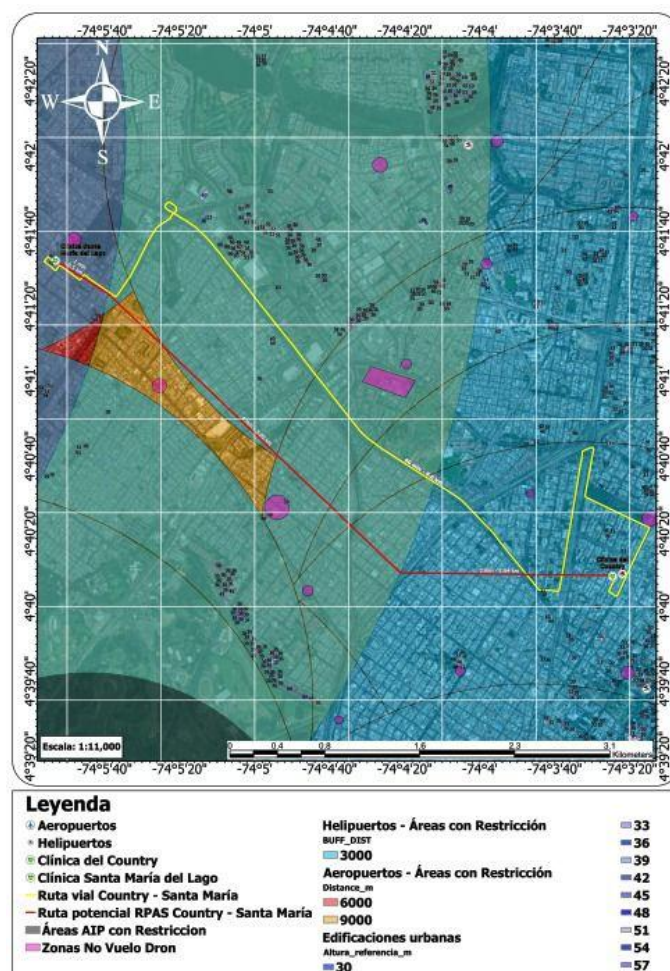


Figura 2. Clínica Reina Sofía ↔ Clínica Universitaria Colombia

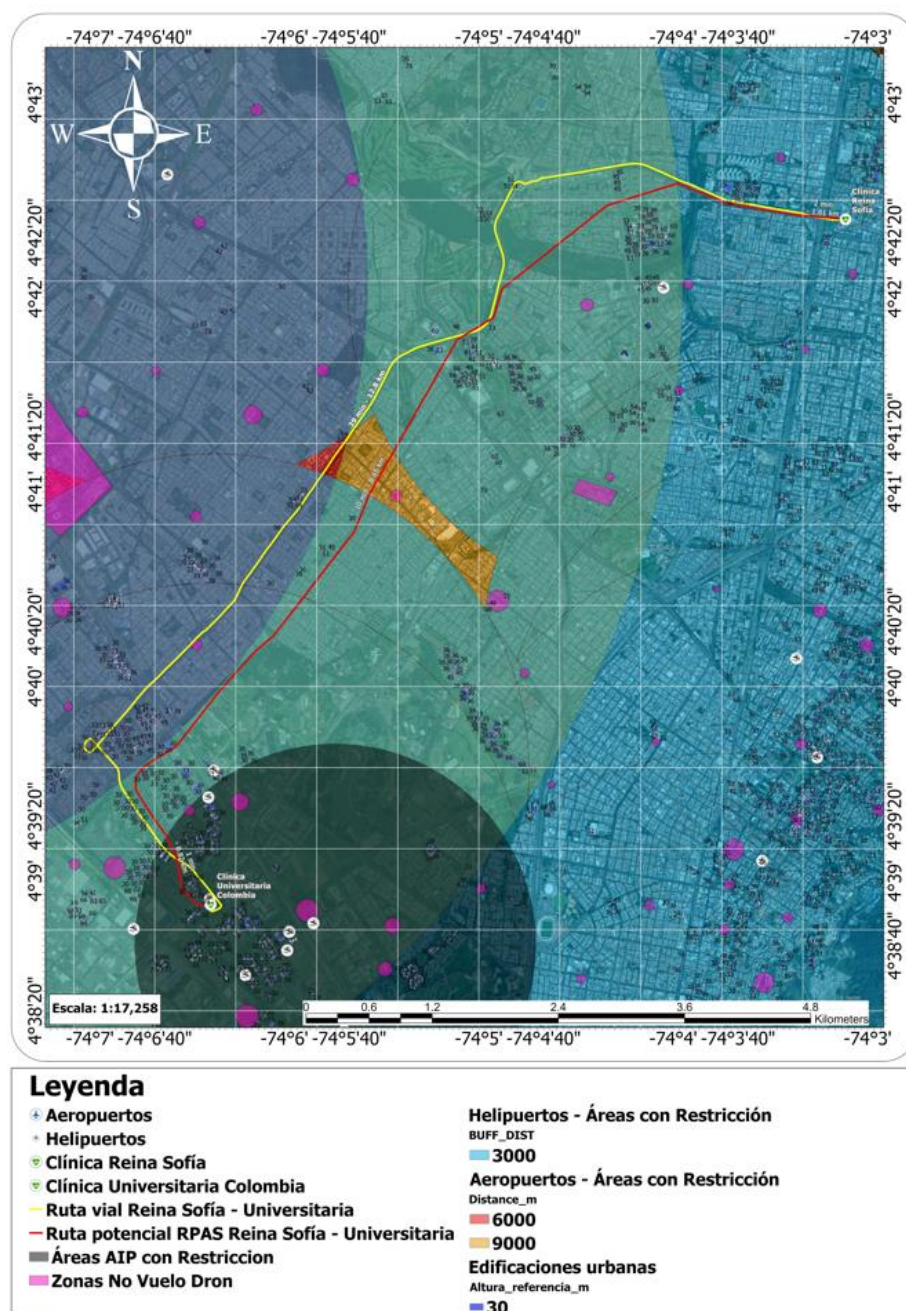


Figura 3. Instituto Nacional de Cancerología ↔ Clínica Reina Sofía Pediátrica y de la Mujer

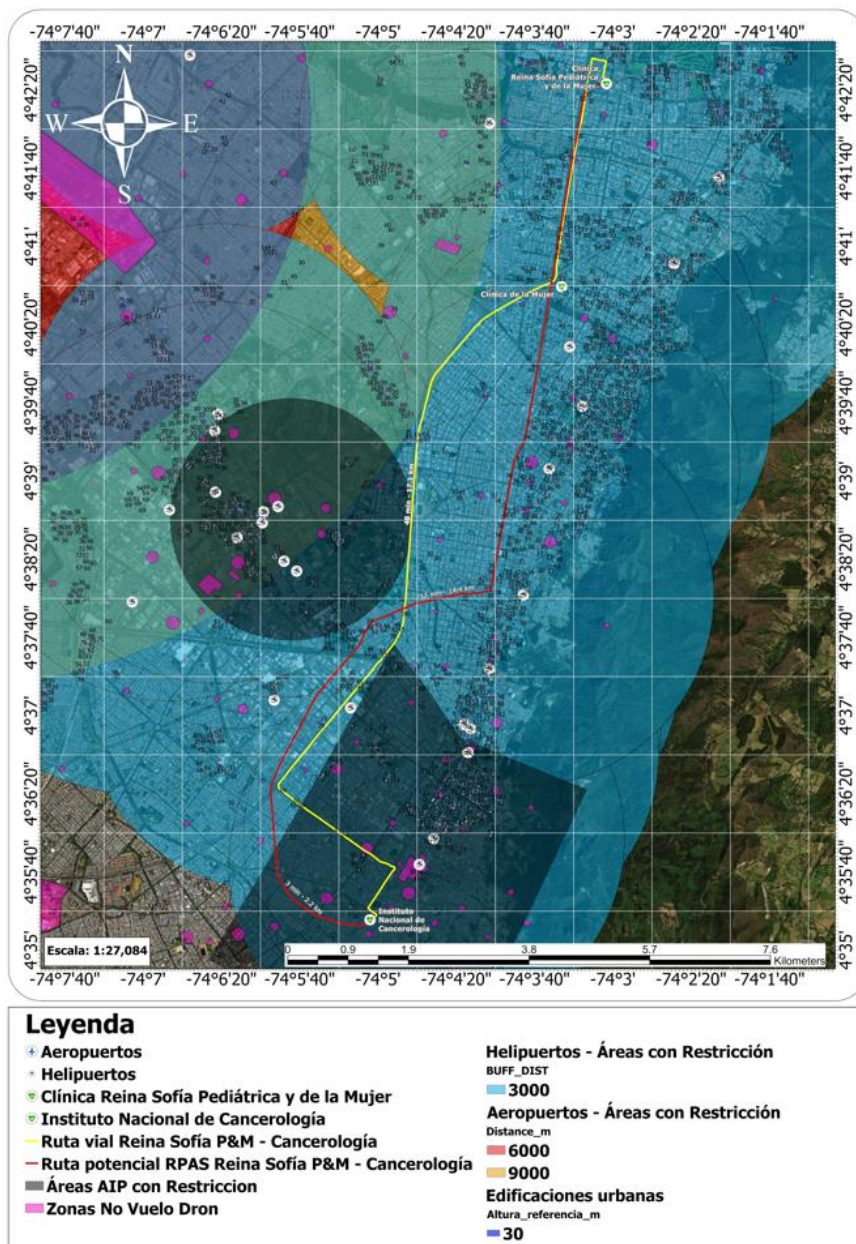


Figura 4. Clínica Del Country ↔ Instituto Nacional de Cancerología

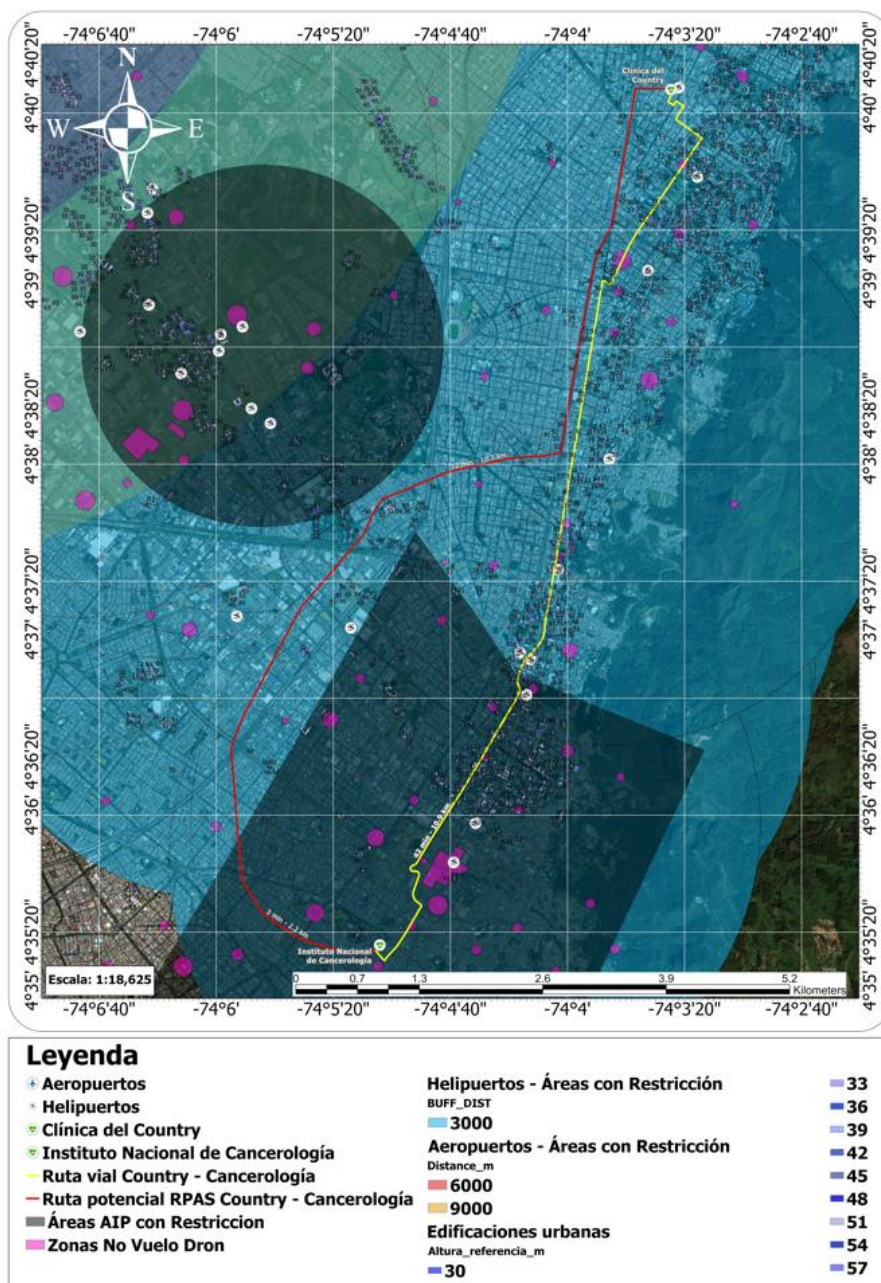
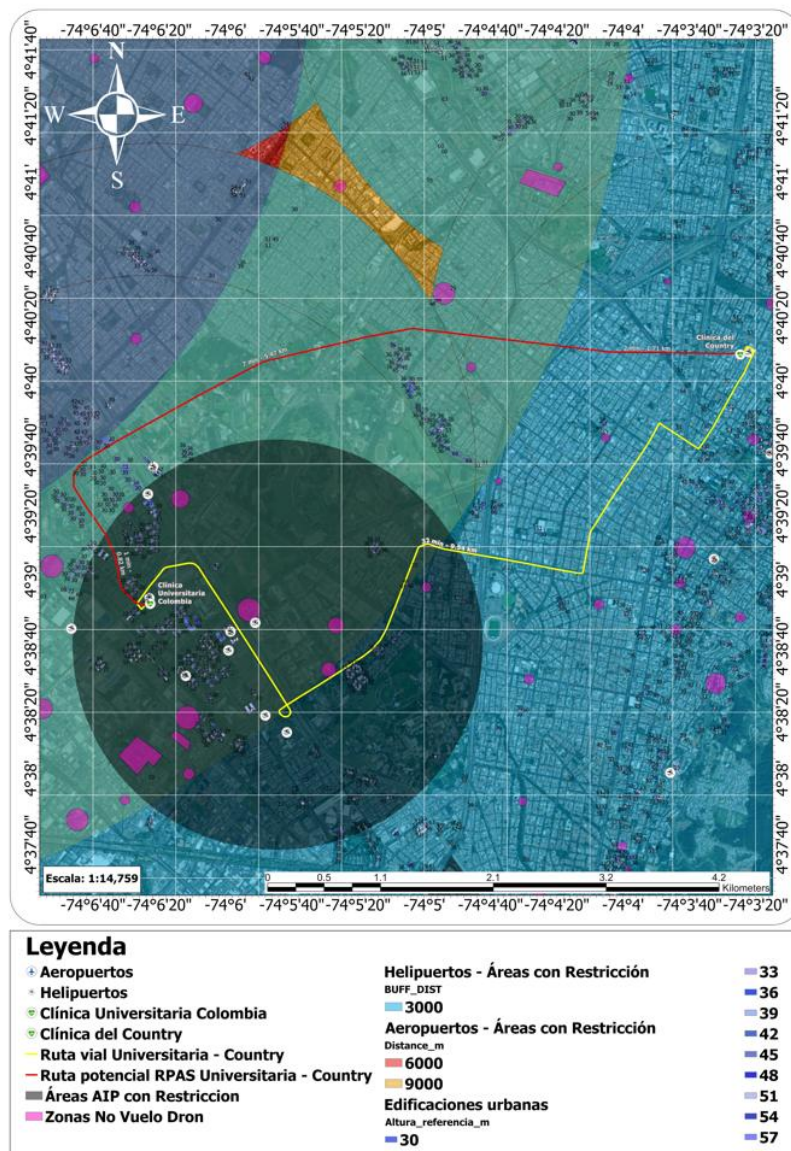


Figura 5. Clínica Universitaria Colombia ↔ Clínica Del Country



En este escenario, los RPAS podrían operar sobre trayectorias relativamente cortas en línea recta, reduciendo significativamente la dependencia del tráfico urbano. Además, se trata de rutas con alta frecuencia de solicitud, lo que aumenta su potencial impacto operativo

Escenario 2. Conexión entre instituciones de complejidad media y nodos estratégicos

En este segundo escenario se agrupan instituciones con demanda intermedia de servicios farmacéuticos, las cuales cumplen un rol de articulación dentro de la red logística. Ejemplos de relaciones relevantes:

Figura 6. Clínica De La Mujer ↔ Clínica Universitaria Colombia

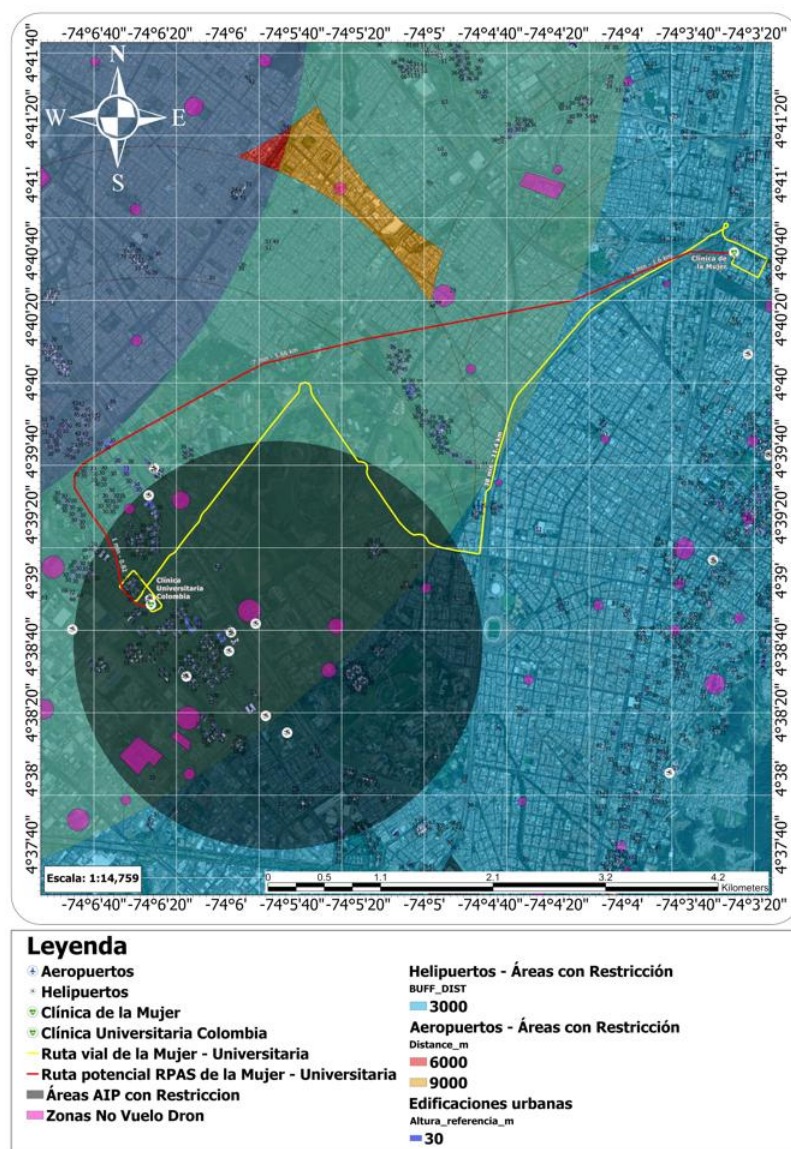
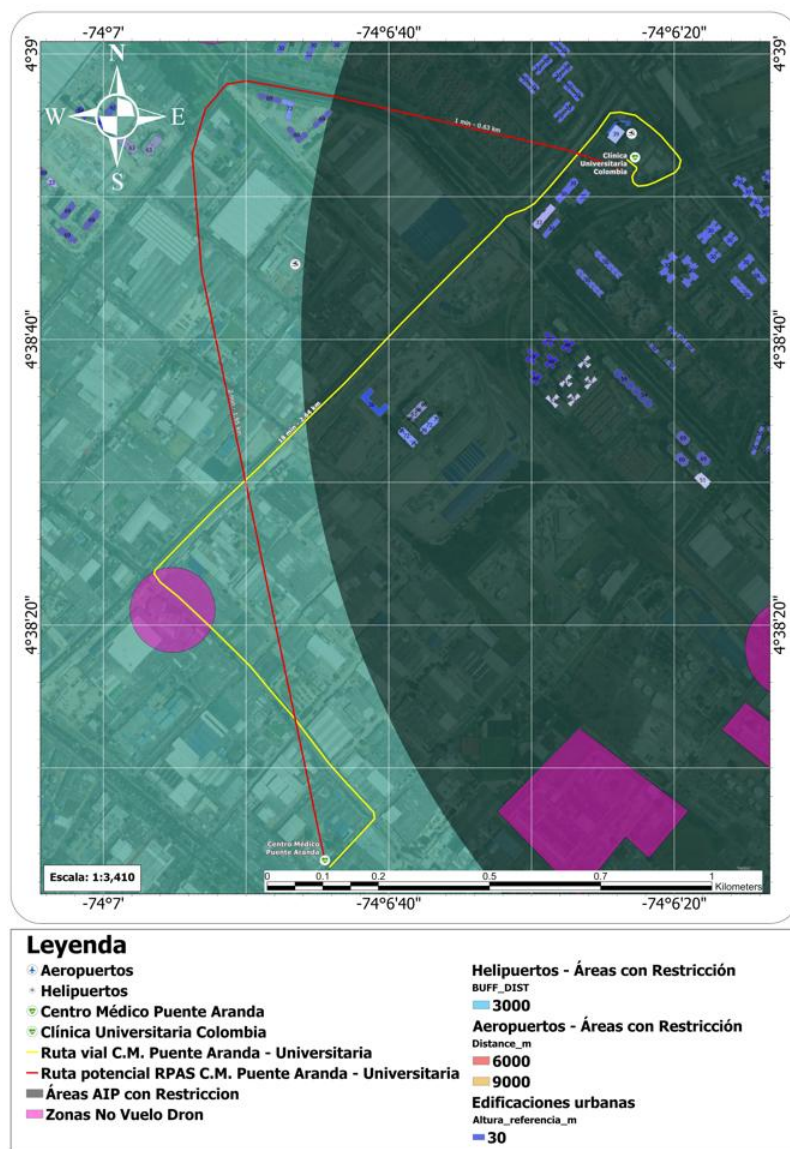


Figura 7. Centro Médico Puente Aranda ↔ Clínica Universitaria Colombia



Escenario 3. Rutas de respuesta rápida para instituciones de baja complejidad

Este escenario incluye instituciones con menor carga operativa, pero que en determinados momentos requieren soporte logístico inmediato, especialmente en situaciones de urgencia o baja disponibilidad de insumos. Se identifican conexiones como:

Figura 8. Central de Urgencias Norte EPS Sanitas (Toberín) ↔ Clínica Universitaria

Colombia

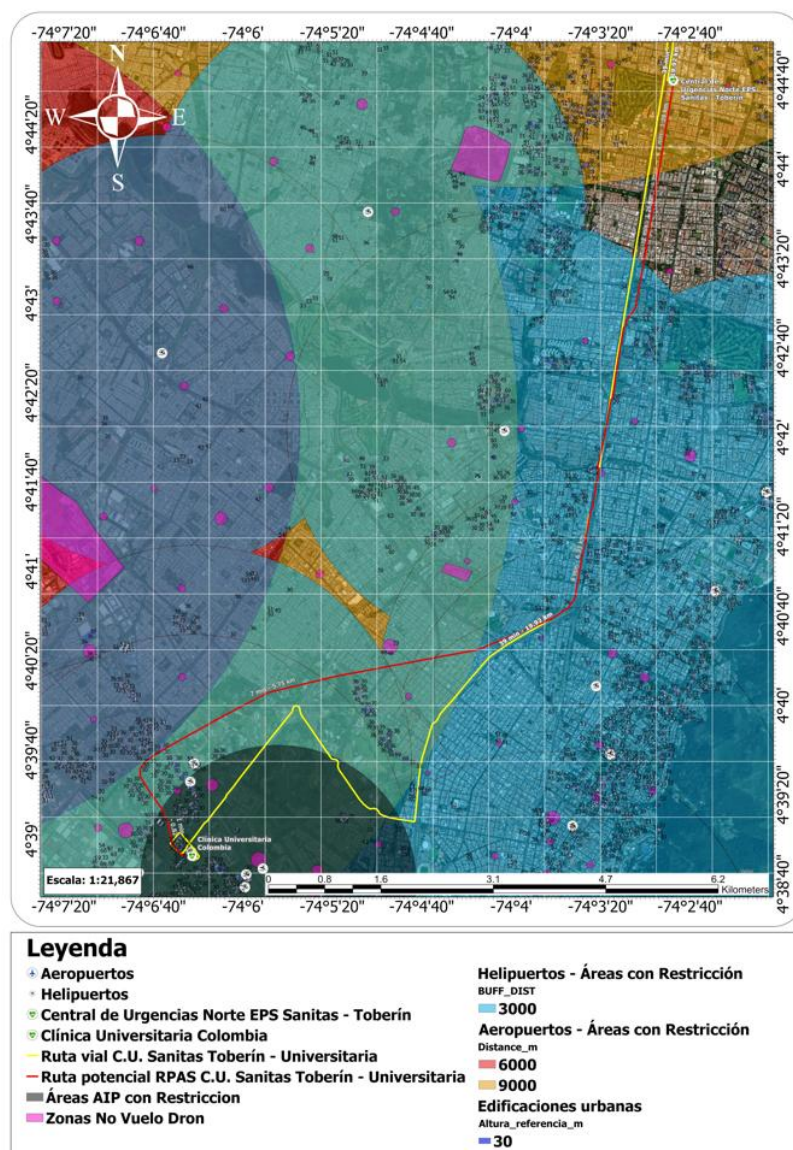
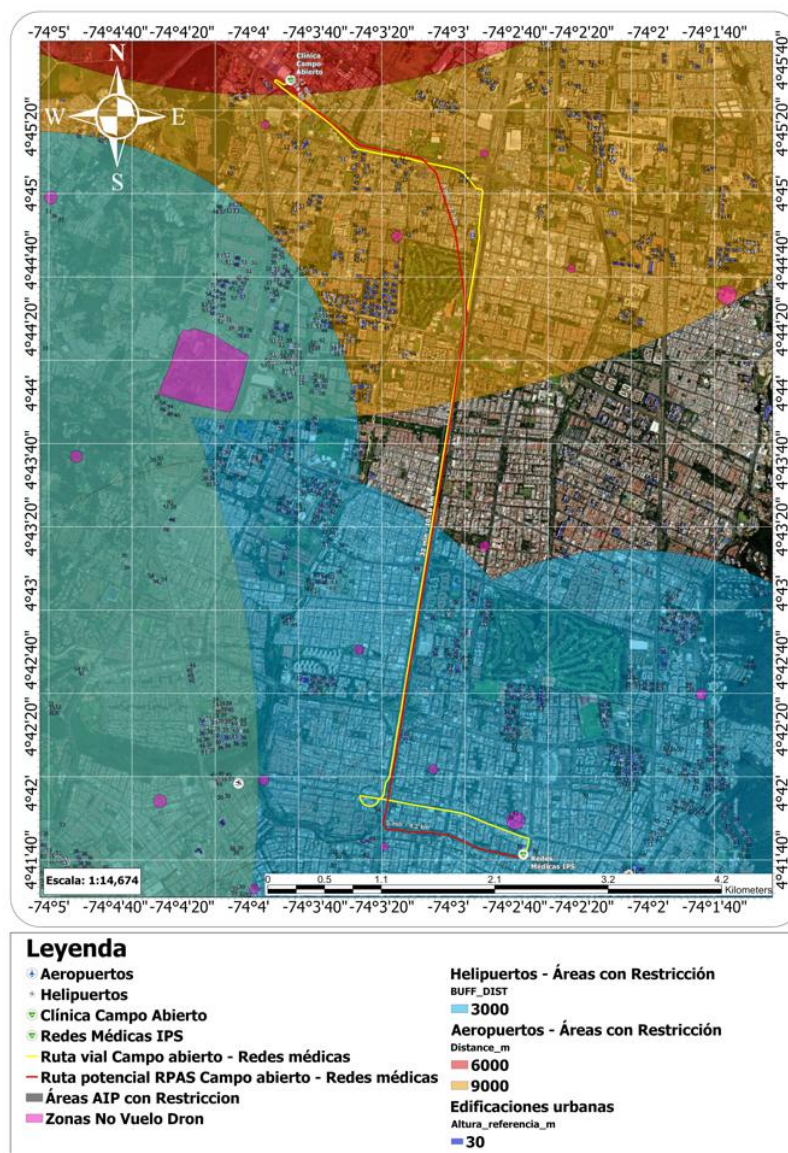


Figura 9. Clínica Campo Abierto ↔ Clínica Redes Medicas Carrera 15



En estos casos, el valor del RPAS no está tanto en el volumen de entregas, sino en la capacidad de respuesta inmediata. Son trayectos donde el tiempo terrestre puede ser ineficiente por condiciones de tráfico o distancia operativa.

En conjunto, los tres escenarios permiten observar que la red logística presenta zonas con diferentes niveles de prioridad operativa, y esta condición facilita la identificación de

trayectorias potenciales para sistemas RPAS, las cuales pueden estructurarse como corredores estratégicos dentro de la ciudad.

Criterios técnicos y territoriales para la definición de rutas RPAS en Bogotá D.C

A partir de los escenarios identificados y de las relaciones logísticas existentes entre las instituciones de salud analizadas, se reconoce que la futura definición técnica de rutas RPAS para el transporte interclínico de medicamentos y dispositivos médicos en Bogotá D.C. requiere considerar múltiples variables territoriales, normativas, operativas, ambientales y de seguridad que condicionan la viabilidad de este tipo de operaciones en entornos urbanos complejos. En ese sentido, las conexiones identificadas entre clínicas, hospitales y centros médicos no deben interpretarse como rutas aéreas definidas, sino como relaciones territoriales y logísticas que permiten reconocer posibles puntos de origen y destino dentro de una futura red de distribución apoyada mediante sistemas RPAS y generadas y guiadas mediante el uso de software SGIs.

Así, el presente estudio se orienta a identificar las rutas relevantes para procesos de planificación y modelación de rutas RPAS en Bogotá, considerando especialmente las restricciones definidas por la Aeronáutica Civil para la operación de aeronaves no tripuladas en entornos urbanos; y estas limitaciones adquieren mayor relevancia debido a la complejidad del espacio aéreo de la ciudad, influenciado por la operación del Aeropuerto Internacional El Dorado, uno de los terminales aéreos con mayor tráfico en América Latina, así como por la circulación constante de aeronaves comerciales, helicópteros institucionales, vuelos medicalizados, operaciones policiales y aeronaves de apoyo estatal, condiciones que convierten el espacio aéreo bogotano en un entorno altamente controlado y con importantes restricciones para el desarrollo de operaciones RPAS.

De acuerdo con los lineamientos establecidos en el RAC 100 de la Aeronáutica Civil, las operaciones RPAS en Colombia presentan restricciones específicas relacionadas con

altura, distancia, seguridad operacional y proximidad a infraestructura aeronáutica. Entre las principales condiciones aplicables al contexto urbano de Bogotá se encuentran:

- Altura máxima de operación de aproximadamente 400 pies (120 metros) sobre el nivel del terreno.
- Restricciones para vuelos cercanos a aeropuertos y aeródromos sin autorización previa de la Aeronáutica Civil.
- Limitaciones para operaciones sobre zonas densamente pobladas.
- Restricciones para vuelos BVLOS (Beyond Visual Line of Sight) sin permisos específicos.
- Necesidad de mantener separación segura respecto a aeronaves tripuladas.
- Restricciones asociadas a operaciones nocturnas o bajo condiciones meteorológicas adversas.

De ese modo, estas condiciones adquieren especial relevancia en Bogotá debido a que gran parte de las instituciones de salud analizadas se encuentran dentro de sectores urbanos con alta circulación aérea y cercanía relativa a corredores de aproximación vinculados al Aeropuerto El Dorado.

Por ejemplo, instituciones como la Clínica Universitaria Colombia (Calle 22B No. 67-46) y el Centro Médico Puente Aranda (Calle 14 No. 62-18) se localizan en el sector centro-occidental de la ciudad, relativamente próximas al corredor aeroportuario asociado a la Avenida El Dorado y a las trayectorias utilizadas por aeronaves en aproximación y despegue. En consecuencia, cualquier futura evaluación técnica relacionada con operaciones RPAS en estos sectores requeriría análisis específicos sobre restricciones de espacio aéreo y coordinación con la autoridad aeronáutica.

Asimismo, varias de las instituciones ubicadas en el norte de Bogotá, como la Clínica Reina Sofía (Carrera 21 No. 127-03), la Clínica Reina Sofía Pediátrica y de la Mujer

(Autopista Calle 127 No. 20-56), el Centro Médico Unidad Renal (Calle 127 No. 20-78) y la Clínica Reina Sofía Medicina Avanzada 125 (Carrera 20 No. 124-64), se encuentran en zonas con frecuente operación de helicópteros medicalizados e institucionales, especialmente debido a la presencia de servicios hospitalarios de alta complejidad. Esta condición podría representar restricciones adicionales relacionadas con corredores aéreos urbanos utilizados para atención de emergencias médicas.

De igual manera, la alta densidad urbana presente en corredores como la Calle 100, la Calle 127, la Carrera 15 y la Autopista Norte incrementa la complejidad operacional para posibles vuelos RPAS, debido a que las operaciones sobre zonas con elevada concentración poblacional implican mayores exigencias desde el punto de vista de seguridad operacional y mitigación de riesgos.

En ese contexto, las rutas definidas para RPAS en Bogotá incorporan los análisis relacionados con:

- Proximidad a corredores aéreos controlados.
- Ubicación de helipuertos hospitalarios.
- Altura promedio de edificaciones en los corredores urbanos.
- Restricciones operacionales definidas por la Aeronáutica Civil.
- Condiciones de seguridad para operaciones sobre infraestructura crítica.

Por lo tanto, las restricciones aeronáuticas y del espacio aéreo constituyen a uno de los principales factores condicionantes para cualquier implementación de sistemas RPAS aplicados al transporte interclínico de medicamentos y dispositivos médicos en Bogotá D.C.

Las definiciones de las rutas enunciadas corresponden a escenarios de préstamos interclínicos entre farmacias de Cruz Verde en Bogotá D.C que tienen un mismo tipo de paciente y servicios, ya que según la especialidad los medicamentos y dispositivos que se

requieren para garantizar la operación en algunos casos son exclusivos como los son el centro médico de campo abierto y clínica compensar carrera 15, correspondiendo a pacientes de tipo psiquiátrico y que requieren prestamos únicamente entre estas dos clínicas y ocasionalmente con los centro con mayor acopio de inventario.

Se sugieren otro de los elementos fundamentales para la futura definición de rutas RPAS que requieren necesariamente trabajo de campo y corresponde a las condiciones físicas y urbanas presentes entre las instituciones de salud identificadas dentro de la red logística. En ese caso, en las imágenes analizadas evidencian que gran parte de los trayectos interclínicos se desarrollan sobre sectores con alta densidad urbana, presencia de edificaciones de mediana y gran altura, infraestructura vial compleja y elevada ocupación territorial; y estas características representan posibles obstáculos físicos y limitaciones operativas para futuras operaciones aéreas urbanas.

Como tal, deberían considerarse variables como:

- Redes eléctricas y cableado aéreo.
- Antenas y estructuras de telecomunicaciones.
- Densidad urbana y concentración poblacional.
- Disponibilidad de espacios seguros para despegue y aterrizaje.

Particularmente, corredores urbanos como la Autopista Norte, la Carrera 15, la Calle 100 y la Calle 127 presentan altos niveles de congestión vehicular y una importante concentración de infraestructura urbana, factores que podrían representar restricciones relevantes para futuras operaciones RPAS.

Además, se encuentran las características territoriales de las instituciones analizadas, ya que las instituciones de salud identificadas dentro de la red logística presentan características territoriales diferenciadas que influyen directamente en cualquier futura evaluación técnica relacionada con operaciones RPAS. Por ejemplo, en el norte de

Bogotá se concentra una parte importante de las instituciones de alta complejidad, entre ellas la Clínica Reina Sofía, la Clínica Reina Sofía Pediátrica y de la Mujer, la Clínica del Country, la Clínica Compensar Carrera 15 y la Clínica Reina Sofía Medicina Avanzada 125.

Las instituciones ubicadas en diferentes sectores de Bogotá presentan condiciones urbanas particulares que influyen directamente en la planificación logística y operativa. En zonas con alta concentración comercial y elevada densidad de construcciones predominan escenarios marcados por la congestión vehicular y la complejidad en la movilidad. De igual manera, entidades como la Clínica Universitaria Colombia y el Centro Médico Puente Aranda, localizadas hacia el centro-occidente de la ciudad, se encuentran próximas a corredores industriales y vías estratégicas cercanas a la Avenida El Dorado, contexto que puede generar limitaciones asociadas tanto a la infraestructura urbana como al manejo del espacio aéreo.

En el caso del Instituto Nacional de Cancerología, su ubicación en el sector centro-oriental de Bogotá lo sitúa dentro de un entorno con alta presencia institucional, importantes corredores viales y una circulación constante de vehículos, factores que incrementan la complejidad territorial del área. Por otro lado, instituciones situadas en sectores periféricos o con menor densidad urbana, como la Clínica Campo Abierto y la Central de Urgencias Norte EPS Sanitas en Toberín, presentan un entorno con menor verticalización; aun así, continúan existiendo condiciones relacionadas con la infraestructura y la movilidad que deben ser consideradas dentro de futuros procesos de planificación técnica.

De ese modo, la ubicación de clínicas, hospitales y centros de distribución farmacéutica constituye uno de los componentes más importantes dentro de la futura definición de rutas RPAS, debido a que estos espacios funcionarían como puntos de origen y destino de las operaciones logísticas. En consecuencia, variables como:

- Proximidad territorial entre instituciones.
- Nivel de complejidad hospitalaria.
- Capacidad operativa de cada institución.
- Disponibilidad de zonas seguras para despegue y aterrizaje.
- Accesibilidad logística.

Así, deberían de considerarse dentro de futuros procesos de evaluación técnica orientados a la estructuración de rutas RPAS para el transporte interclínico. De igual manera, la concentración de instituciones de alta complejidad en determinados sectores de Bogotá evidencia la existencia de nodos estratégicos donde podría presentarse una mayor demanda potencial de operaciones RPAS relacionadas con entregas prioritarias o situaciones de respuesta rápida.

Aunado a lo anterior, la seguridad constituye otro factor determinante dentro de la planificación de futuras rutas RPAS en entornos urbanos; debido a las características de Bogotá D.C., cualquier posible implementación requeriría considerar aspectos relacionados con:

- Riesgos asociados al sobrevuelo de zonas densamente pobladas.
- Protección de terceros durante las operaciones.
- Riesgos derivados de fallas técnicas o pérdida de señal.
- Seguridad en zonas de despegue y aterrizaje.
- Protección y estabilidad de los medicamentos transportados.
- Continuidad operativa frente a contingencias urbanas.

Asimismo, las operaciones sobre infraestructura crítica o sectores de alta concentración poblacional podrían presentar restricciones adicionales desde el punto de vista normativo y operacional. A la vez, hay que tener en cuenta las condiciones climáticas y ambientales, ya que las condiciones atmosféricas de Bogotá representan un

factor relevante para cualquier futura operación RPAS. Variables como lluvia, niebla, cambios de visibilidad, velocidad y dirección del viento, variabilidad climática propia de la ciudad pueden afectar la estabilidad, autonomía y seguridad de las operaciones aéreas urbanas, especialmente en trayectos donde las condiciones meteorológicas presentan cambios constantes.

Por esta razón, dichas variables deberían formar parte de futuros análisis técnicos relacionados con la viabilidad operacional de sistemas RPAS aplicados a la logística interclínica. En conjunto, los elementos identificados permiten establecer que la definición técnica de rutas RPAS en Bogotá D.C. requiere un análisis integral donde converjan variables territoriales, regulatorias, operativas, ambientales y de seguridad.

Por lo tanto, el principal aporte de esta investigación consiste en la una primera fase de elaboración de rutas aéreas definitivas mediante programas SIG y en la identificación de los lineamientos y criterios técnicos que deberían considerarse en futuras etapas de planificación y modelación de rutas RPAS para el transporte interclínico de medicamentos y dispositivos médicos dentro del contexto urbano de Bogotá.

Discusión

Los resultados obtenidos permiten plantear una reflexión más amplia sobre el papel que pueden desempeñar los sistemas RPAS dentro de la logística interclínica en entornos urbanos complejos como Bogotá D.C. Más allá de evidenciar la existencia de ineficiencias en el sistema actual, el análisis desarrollado pone en evidencia una condición estructural: la red de distribución de medicamentos no está limitada por la distancia física entre instituciones, sino por las dinámicas de movilidad urbana que afectan directamente la oportunidad en la entrega.

Esta situación redefine el problema logístico, trasladándolo de una cuestión de cobertura a una de accesibilidad efectiva en el tiempo, lo cual coincide con los planteamientos de la logística urbana contemporánea, donde la última milla concentra los

mayores niveles de complejidad, costos e incertidumbre operativa (Garrido & Lozano, 2025). En este sentido, la alta dependencia del transporte terrestre observada en la red Cruz Verde refleja una lógica operativa tradicional que, si bien garantiza funcionamiento, resulta poco adaptable frente a escenarios de alta variabilidad como los que caracterizan a Bogotá.

En la operación analizada, se evidencia que factores como la congestión en las vías, la variabilidad en los tiempos de desplazamiento y la externalización del servicio estructuran un sistema que depende en gran medida de condiciones del entorno más que de una planificación logística optimizada. Este comportamiento coincide con lo expuesto en la literatura sobre logística urbana, donde se reconoce que la alta densidad poblacional, las restricciones de movilidad y la dispersión de la demanda generan ineficiencias recurrentes en la distribución de última milla (Ortiz & Vitela, 2024; Meneses & Vidal, 2022).

De igual forma, el análisis espacial realizado muestra que incluso trayectos de corta distancia pueden registrar tiempos de entrega elevados, lo que evidencia que la cercanía geográfica no necesariamente se traduce en eficiencia dentro de contextos urbanos complejos. De ese modo, la posible incorporación de sistemas RPAS implica una transformación en la lógica del modelo logístico, en la medida en que su capacidad de desplazamiento directo en trayectoria aérea reduce la dependencia de la red vial urbana y disminuye la exposición a factores de congestión.

Por lo tanto, esta característica se relaciona con lo señalado por Dorling et al. (2017) y Goodchild & Toy (2018), quienes resaltan la efectividad de los drones en rutas cortas y de alta prioridad, especialmente cuando el tiempo de entrega es determinante. A pesar de ello, la literatura también coincide en que su aplicación no puede evaluarse de forma aislada, ya que su implementación está condicionada por aspectos técnicos, normativos y ambientales que inciden directamente en su viabilidad dentro de entornos urbanos.

Desde la perspectiva territorial, los resultados muestran que la distribución heterogénea de las instituciones de salud no constituye una limitación para la operación de RPAS, ya que permite la estructuración de corredores estratégicos acordes con distintos niveles de demanda. La concentración de clínicas de alta complejidad en sectores del norte y centro de la ciudad facilita la identificación de trayectorias con mayor impacto potencial, especialmente en escenarios donde la rapidez de entrega es determinante, lo cual se relaciona con el análisis de nodos y conectividad realizado mediante Sistemas de Información Geográfica. En este marco, los SIG permiten tanto la representación de la red como su interpretación funcional al integrar variables espaciales, operativas y territoriales en la planificación de rutas (Rivera, 2026; Principi, 2025).

En el ámbito de la logística en salud, los hallazgos confirman que el tiempo constituye una variable crítica en la distribución de insumos médicos, como lo señalan la Organización Mundial de la Salud (2020) y Kumar et al. (2008). Las demoras asociadas al transporte terrestre se traducen en ineficiencias operativas que pueden comprometer la continuidad de la atención. Bajo esta dinámica, los escenarios identificados en instituciones de alta complejidad adquieren especial relevancia, al concentrar situaciones donde la rapidez y la confiabilidad del servicio resultan determinantes, lo que refuerza el potencial de implementación de RPAS en este tipo de entornos.

Aun así, es importante reconocer que la implementación de RPAS en entornos urbanos densos como Bogotá enfrenta limitaciones significativas que fueron ampliamente abordadas en el marco teórico. Desde el punto de vista operativo, aspectos como la capacidad de carga, la autonomía de vuelo y la dependencia de condiciones climáticas favorables restringen su aplicabilidad en ciertos escenarios, tal como lo señalan Otto et al. (2018) y Clothier et al. (2015), ya que en una ciudad con variabilidad climática como Bogotá, estos factores adquieren una relevancia particular, ya que pueden afectar la continuidad y confiabilidad del servicio.

La implementación de sistemas RPAS en Bogotá se encuentra condicionada por las disposiciones establecidas en el RAC 100 de la Aeronáutica Civil, las cuales regulan la operación de drones en zonas urbanas y limitan su uso en determinados sectores de la ciudad debido al control del espacio aéreo y a las condiciones de seguridad. A esto se suman las exigencias del sector salud, especialmente las definidas en el Decreto 2200 de 2005 y la Resolución 1403 de 2007, que obligan a garantizar la calidad, trazabilidad y conservación de medicamentos y dispositivos médicos durante todo el proceso logístico, particularmente en productos que requieren cadena de frío.

Desde la dimensión ambiental y territorial también aparecen elementos relevantes, ya que el uso de drones puede disminuir parte de las afectaciones generadas por el transporte terrestre, particularmente las emisiones contaminantes y algunos impactos asociados a la congestión vehicular, aspecto que guarda relación con los principios de sostenibilidad promovidos por la normativa ambiental colombiana, especialmente la Ley 99 de 1993. Sin embargo, su implementación no depende únicamente de los beneficios ambientales, ya que también debe responder a las disposiciones definidas en el ordenamiento territorial de Bogotá, principalmente aquellas asociadas al uso del suelo y a la protección de áreas estratégicas o sensibles, condiciones que terminan influyendo directamente en la definición de corredores de vuelo y en las posibilidades reales de operación.

En ese sentido, los resultados permiten entender que los RPAS representan una alternativa complementaria dentro de un modelo logístico híbrido, planteamiento que coincide con lo expuesto por Otto et al. (2018), quienes señalan que el potencial de los drones aumenta cuando se integran de manera estratégica en etapas específicas de la cadena de suministro donde la rapidez y la flexibilidad tienen un papel prioritario.

Así, la discusión desarrollada evidencia que la implementación de sistemas RPAS en la logística interclínica de Bogotá no depende únicamente de la tecnología disponible,

sino de la articulación entre factores logísticos, normativos, territoriales y operativos. Los hallazgos obtenidos permiten identificar posibles rutas de aplicación y comprender las condiciones necesarias para que estas puedan ejecutarse de manera segura y eficiente. De esa manera, el estudio contribuye al desarrollo de investigaciones aplicadas en contextos latinoamericanos, donde todavía son limitados los trabajos orientados al análisis de tecnologías emergentes en la logística urbana y en los sistemas de atención en salud.

En síntesis, los hallazgos confirman que existen condiciones favorables para la incorporación de RPAS en la red logística interclínica, particularmente en trayectos de alta criticidad y baja eficiencia terrestre. También se evidencian que su implementación requiere un análisis integral que trascienda lo operativo, incorporando de manera explícita las restricciones regulatorias, las condiciones territoriales y las exigencias del sector salud. De esta manera, la propuesta desarrollada no solo plantea rutas de vuelo, sino que contribuye a la comprensión de los desafíos y oportunidades asociados a la transformación de los sistemas logísticos en entornos urbanos complejos.

Conclusiones

El estudio permitió identificar que las principales dificultades de la logística interclínica en Bogotá D.C. no se relacionan directamente con la distancia entre instituciones de salud, sino con las condiciones de movilidad urbana y congestión vehicular, factores que incrementan los tiempos de desplazamiento y afectan la oportunidad en la entrega de medicamentos y dispositivos médicos.

El análisis técnico, territorial y normativo permitió establecer que los sistemas RPAS representan una alternativa viable para complementar la distribución interclínica, especialmente en trayectos cortos y prioritarios entre instituciones de mediana y alta complejidad. No obstante, su implementación depende del cumplimiento de restricciones regulatorias, ambientales y operativas definidas para el entorno urbano de Bogotá D.C.

La investigación permitió identificar corredores potenciales para operaciones RPAS mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG), integrando variables espaciales, normativas y logísticas. En este sentido, el estudio aporta criterios técnicos y metodológicos que pueden apoyar futuras estrategias de innovación logística en el sector salud.

Referencias

- Amukele, T., Hernandez, J., Snozek, C. L., Wyatt, R. G., Douglas, M., Amini, R., & Street, J. (2017). Drone Transport of Chemistry and Hematology Samples Over Long Distances. *American Journal of Clinical Pathology*, 148(5), 427–435. <https://doi.org/10.1093/ajcp/aqx090>
- Cabrera, M., Jara, A., & Stefany, B. W. (2025). Estrategias para la excelencia operativa en una empresa que comercializa dispositivos médicos. *Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)*.
<https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/686969>
- Castillo, J. A. (2025). Metamorfosis logística: la evolución de los modelos de distribución para tiendas de proximidad en Latinoamérica. Parte i de la trilogía: transformación de la distribución a tiendas de proximidad en Latinoamérica. *Revista Científica Orbis Cognitiona*, 9(1), 169–184.
<https://doi.org/10.48204/j.orbis.v9n1.a6718>
- Castro, S. (2023). *Análisis de las estrategias logísticas de distribución última milla en supermercados de Colombia* [Universidad Piloto de Colombia].
<http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/12396>
- Christopher, M. (2016). Logistics and Supply Chain Management: Logistics and Supply Chain Management. *Pearson Education, Limited*, 112–115.
https://books.google.com/books/about/Logistics_and_Supply_Chain_Management.html?hl=es&id=IRXQEAAAQBAJ

- Clothier, R., Greer, D., Greer, D. G., & Mehta, A. M. (2015). Risk Perception and the Public Acceptance of Drones. *Risk Analysis*, 35(6), 1167–1183.
<https://doi.org/10.1111/risa.12330>
- Crainic, T., Ricciardi, N., & Storchi, G. (2009). Models for Evaluating and Planning City Logistics Systems. *Https://Doi.Org/10.1287/Trsc.1090.0279*, 43(4), 432–454. <https://doi.org/10.1287/trsc.1090.0279>
- de Vries, J., Huijsman, R., de Vries, J., & Huijsman, R. (2011). Supply chain management in health services: an overview. *Supply Chain Management: An International Journal*, 16(3), 159–165.
<https://doi.org/10.1108/13598541111127146>
- Díaz, N., & Angulo, F. (2023). *Problemática de movilidad en Bogotá* [Universidad El Bosque].
https://redcol.minciencias.gov.co/Record/UNBOSQUE2_dd6c1ce9e8b82757e0f4acb6eb32f053
- Dorling, K., Heinrichs, J., Messier, G. G., & Magierowski, S. (2017). Vehicle Routing Problems for Drone Delivery. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 47(1), 70–85.
<https://doi.org/10.1109/TSMC.2016.2582745>
- EASA. (2024). *European Union Aviation Safety Agency. (2023). Easy... - Google Académico.*
https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=European+Union+Aviation+Safety+Agency.+%282023%29.+Easy+Access+Rules+for+Unman+ned+Aircraft+Systems.&btnG=

- Fuertes, D., Gil, J., & Mendoza, B. (2024). *Diseño de Propuesta Tecnológica Interoperable en los Hospitales Públicos de las Subredes de Atención de Bogotá para Disminuir el Desabastecimiento de Medicamentos por Vencimiento* [Universidad ECCI].
<https://repositorio.ecci.edu.co/server/api/core/bitstreams/04042f2f-3dc9-4fdd-b5af-857bbe1f5be4/content>
- Garrido, C., & Lozano, J. C. (2025). *Mensajería y logística de última milla en Colombia: un análisis teórico desde la ciencia de datos* [Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD].
<http://repository.unad.edu.co/handle/10596/78255>
- González, C. (2024). Impacto de la congestión vehicular en las operaciones logísticas de la ciudad de Bogotá [Universidad Nacional de Colombia]. In *Ingeniería, investigación y tecnología* (Vol. 19, Number 2).
<https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2018.19n2.014>
- Goodchild, A., & Toy, J. (2018). Delivery by drone: An evaluation of unmanned aerial vehicle technology in reducing CO2 emissions in the delivery service industry. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 61(1), 58–67.
<https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.02.017>
- Hoyos, E. A. (2022). *Diseño y optimización del centro distribución en los procesos operativos de recepción, almacenamiento, alistamiento de farmacias y droguerías Cruz Verde Colombia* [Fundación Universitaria del Areandina].
<https://doi.org/10.22490/ECACEN.4705>

- Kumar, A., Ozdamar, L., & Ning Zhang, C. (2008). Supply chain redesign in the healthcare industry of Singapore. *Supply Chain Management: An International Journal*, 13(2), 95–103.
<https://doi.org/10.1108/13598540810860930>
- Lugo, I. K. (2025). *Movilidad Urbana Sostenible en Bogotá: integración de ITS, políticas públicas y modelado predictivo basado en aprendizaje automático con enfoque en eficiencia y equidad* [Universidad Distrital Francisco José De Caldas].
<https://repository.udistrital.edu.co/server/api/core/bitstreams/eabcd9f4-6dad-464f-95c7-53e687554d5b/content>
- Meneses, L. C., & Vidal, J. P. (2022). *Impacto de un modelo de ruteo inteligente sobre los tiempos de distribución urbana de mercancías en la última milla* [UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE].
<https://red.uao.edu.co/entities/publication/5650ae3a-68c4-4461-9022-d4354a519a39>
- Navarro, W. R., Hidalgo, J. E., & Candil, L. M. (2025). *Propuesta para la implementación de drones en las entregas de última milla en áreas urbanas de Colombia* [Universidad Ean].
<https://repository.universidadean.edu.co/entities/publication/2f4f7826-bf57-42e5-acf2-cbdcc4a9039e>
- Ortiz, V., & Vitela, V. (2024). Movilidad urbana y plataformas logísticas en las ciudades intermedias de América: Una revisión sistemática de la literatura científica | MLS Environmental Sciences and Practices. *MLS Environmental*

Sciences and Practices, 2(2). <https://www.mlsjournals.com/Environmental-Science-Practices/article/view/2341>

Ossorio, M. Á. (2025). *La logística del aire: cómo los drones transforman las cadenas de suministro* | UOC. Universitat Oberta de Catalunya.
<https://www.uoc.edu/es/news/2025/logistica-aire-drones-transforman-cadenas-suministro>

Otto, A., Agatz, N., Campbell, J., Golden, B., & Pesch, E. (2018). Optimization approaches for civil applications of unmanned aerial vehicles (UAVs) or aerial drones: A survey. *Networks*, 72(4), 411–458.
<https://doi.org/10.1002/net.21818>

Ousaid, H. (2020). *Soluciones logísticas en la última milla*.
<https://uvadoc.uva.es/handle/10324/41721>

Palacios, N. D. (2025). *Optimización del proceso de última milla en la empresa cruz verde* [Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD)].
<http://repository.unad.edu.co/handle/10596/74284>

Pérez, J. C. (2025). *Revolución en la Logística: Impacto y Potencial de los Drones en la Gestión de Inventarios en América Latina* [Universidad Nacional y a Distancia (UNAD)]. <http://repository.unad.edu.co/handle/10596/76708>

Posada, Y. F. (2024). *Optimización de la gestión logística intrahospitalaria del servicio farmacéutico en la Clínica Antioquia Sede Norte en el año 2024* [Universidad de Antioquia].

<https://bibliotecadigital.udea.edu.co/entities/publication/2e08ca63-21c9-4183-a607-2b3e1104b1b1>

Principi, N. C. (2025). Análisis espacial: Aplicaciones y retos para el futuro. In *Análisis espacial: Aplicaciones y retos para el futuro* (Vol. 1, pp. 65–94). Ediciones Comunicación Científica. <https://doi.org/10.52501/cc.279>

Quintero, J. C. (2022). *Análisis de las estrategias de transporte terrestre interinstitucional de muestras de pacientes humanos en el Valle de Aburrá durante el año 2021, que permita mejorar la calidad preanalítica y disminuir el riesgo biológico asociado a las mismas* [Universidad de Antioquia]. <https://hdl.handle.net/10495/26094>

Quitiaquez, V. A. (2024). *Estrategia de coordinación para mitigar el impacto de la escasez de medicamentos en una IPS de alta complejidad* [Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/items/0baadff0-19df-40d0-a3c9-b84a932392a6>

Rabaz, P. (2025). Digitalización de la gestión sanitaria en IntegraSalud mediante un sistema ERP. *Universitat Oberta de Catalunya*.

Ragàs, I. (2024). *Logística urbana: la ciudad en la cadena de suministro*. https://books.google.com/books/about/Log%C3%ADstica_urbana_La_ciudad_en_la_cadena.html?hl=es&id=t3M-EQAAQBAJ

Rivadeneira, A. M. (2025). *Modelo de gestión logística de medicamentos para los establecimientos de salud del Distrito 14D01 - Morona, Ecuador 2025* [Universidad de las Américas]. <http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/17811>

- Rivera, M. A. (2026). *Diseño e implementación de un Sistema de Información Geográfica para la visualización y diagnóstico de datos del equipo de Habitabilidad y Entornos Saludables de la Secretaría de Salud del Distrito de Medellín, con énfasis en las solicitudes sanitarias*. ... [Universidad de Antioquia]. <https://hdl.handle.net/10495/49750>
- Rodríguez, D. A. (2024). *Diseño de un Sistema de Validación de Información Geográfica Basado en Atributos Ambientales - ProQuest* [Universidad Distrital Francisco José de Caldas].
<https://www.proquest.com/openview/6a5a20240bde9b9a491e51e95ed2192d/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2026366&diss=y>
- Rózga, R. E. (2021). El papel de la logística urbana en el concepto de ciudad inteligente - RU-Económicas. In *El papel de la logística urbana en el concepto de ciudad inteligente* (Vol. 1). <https://ru.iiec.unam.mx/5405/>
- Sarango, J. (2024). Contribuciones de los sistemas de información geográfica (SIG) en la planificación urbana sostenible. *Multidisciplinary Collaborative Journal*, 2(4), 1–15. <https://doi.org/10.70881/mcj/v2/n4/1>
- Scott, J., & Scott, C. (2017). *Drone Delivery Models for Healthcare*.
<http://hdl.handle.net/10125/41557>
- Shah, N. (2004). Pharmaceutical supply chains: key issues and strategies for optimisation. *Computers & Chemical Engineering*, 28(6–7), 929–941.
<https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2003.09.022>

Torres, A., & Arias, R. (2025). Propuesta de mejora para el proceso de ejecución de órdenes de distribución de dispositivos médicos de la empresa Polar Express Logistics Services E.I.R.L. *Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)*. <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/685792>

UAEAC. (2024, April). *RAC 100 - Reglamentación Operación de Sistemas de Aeronaves no Tripuladas UAS.pdf*.
<https://www.aerocivil.gov.co/loader.php?lServicio=Tools2&lTipo=descargas&lFuncion=visorpdf&file=https%3A%2F%2Fwww.aerocivil.gov.co%2Floader.php%3FIServicio%3DTools2%26lTipo%3Ddescargas%26lFuncion%3DexposeDocumento%26idFile%3D27158%26tmp%3D5d76b1ceb63777ecbf70a24a96ee8f03%26urlDeleteFunction%3Dhttps%253A%252F%252Fwww.aerocivil.gov.co%252Floader.php%253FIServicio%253DTools2%2526lTipo%253Ddescargas%2526lFuncion%253DdeleteTemporalFile%2526tmp%253D5d76b1ceb63777ecbf70a24a96ee8f03&pdf=1&tmp=5d76b1ceb63777ecbf70a24a96ee8f03&fileItem=27158>

Vaqueo, F. (2025). *Impacto de la innovación tecnológica y la sostenibilidad en la logística* [Universidad de Valladolid].
<https://uvadoc.uva.es/handle/10324/81376>

Varo, J. (2016). Gestion estrategica de la calidad en los servicios sanitarios. *Diaz de Santos*, 1(Capitulo 1), 27.
https://books.google.com/books/about/Gesti%C3%B3n_estrat%C3%A9gica_de_la_calidad_en_.html?hl=es&id=gtvXJ_yogIYC

Velandia, X. C. (2020). *Externalidades en el transporte de carga metropolitano: una visión conceptual y metodológica para su estimación* [Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/78661>

WHO. (2020). *Access to Medicines and Health Products*. <https://www.who.int/our-work/access-to-medicines-and-health-products>

Yáñez, C. (2025). Propuesta de un modelo de ruteo de la cadena de distribución de medicamentos, dispositivos médicos e insumos en una red de servicios de salud de atención primaria en Cúcuta, Norte de Santander. *Universidad de Los Andes, 1*.
<https://repositorio.uniandes.edu.co/entities/publication/6801fffa-a909-4baa-8f56-49d3883141d6>

Zapata, J. G. (2024). *Evaluación del uso de drones como herramienta para el análisis del flujo vehicular en intersecciones urbanas* [ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO].
<https://dspace.esPOCH.edu.ec:8080/server/api/core/bitstreams/da9b51de-6c26-4812-b438-8604628cd097/content>

Anexos

Rutas Potenciales

Escenario	Origen	Destino	Tiempo (min)	Distancia (km)	Rango Altura (referencia)	Perfil_Altura	Estado
Escenario 1	Clinica del Country	Clinica Santa Maria del Lago	2	1,64	0 m - 60 m	Ascenso - Crucero	Viabilidad sujeta a autorización
Escenario 1	Clinica del Country	Clinica Santa Maria del Lago	4	3,09	≤ 60 m	Crucero	Altamente condicionado sujeto a autorización
Escenario 1	Clinica del Country	Clinica Santa Maria del Lago	1	0,5	60 m - 0 m	Crucero - Descenso	Altamente condicionado sujeto a autorización
Escenario 1	Clinica Reina Sofia	Clinica Universitaria Colombia	2	1,61	0 m - 60 m	Ascenso - Crucero	Viabilidad sujeta a autorización
Escenario 1	Clinica Reina Sofia	Clinica Universitaria Colombia	10	8,65	≤ 60 m	Crucero	Altamente condicionado sujeto a autorización
Escenario 1	Clinica Reina Sofia	Clinica Universitaria Colombia	1	0,82	60 m - 0 m	Crucero - Descenso	Altamente condicionado sujeto a autorización
Escenario 1	Instituto Nacional de Cancerología	Clinica Reina Sofia Pediátrica y de la Mujer	17	14,4	0 m - 60 m	Ascenso - Crucero	Viabilidad sujeta a autorización
Escenario 1	Instituto Nacional de Cancerología	Clinica Reina Sofia Pediátrica y de la Mujer	3	2,2	60 m - 0 m	Crucero - Descenso	Altamente condicionado sujeto a autorización
Escenario 1	Clinica del Country	Instituto Nacional de Cancerología	12	10,3	0 m - 60 m	Ascenso - Crucero	Viabilidad sujeta a autorización
Escenario 1	Clinica del Country	Instituto Nacional de Cancerología	3	2,2	60 m - 0 m	Crucero - Descenso	Altamente condicionado sujeto a autorización
Escenario 1	Clinica Universitaria Colombia	Instituto Nacional de Cancerología	2	1,37	0 m - 60 m	Ascenso - Crucero	Altamente condicionado sujeto a autorización
Escenario 1	Clinica Universitaria Colombia	Instituto Nacional de Cancerología	1	0,82	≤ 60 m	Crucero	Altamente condicionado sujeto a autorización
Escenario 1	Clinica Universitaria Colombia	Instituto Nacional de Cancerología	4	3,2	≤ 60 m	Crucero	Viabilidad sujeta a autorización
Escenario 1	Clinica Universitaria Colombia	Instituto Nacional de Cancerología	3	2,23	60 m - 0 m	Crucero - Descenso	Altamente condicionado sujeto a autorización
Escenario 1	Clinica Universitaria Colombia	Clinica del Country	1	0,82	0 m - 60 m	Ascenso - Crucero	Altamente condicionado sujeto a autorización
Escenario 1	Clinica Universitaria Colombia	Clinica del Country	7	5,47	≤ 60 m	Crucero	Altamente condicionado sujeto a autorización
Escenario 1	Clinica Universitaria Colombia	Clinica del Country	2	1,71	60 m - 0 m	Crucero - Descenso	Viabilidad sujeta a autorización
Escenario 1	Clinica del Country	Clinica Reina Sofia	5	4,44	0 m - 60 m	Ascenso - Crucero - Descenso	Viabilidad sujeta a autorización
Escenario 2	Clinica de la Mujer	Clinica del Country	1	0,99	0 m - 60 m	Ascenso - Crucero - Descenso	Viabilidad sujeta a autorización
Escenario 2	Centro Médico Puente Aranda	Clinica Universitaria Colombia	2	1,95	0 m - 60 m	Ascenso - Crucero	Altamente condicionado sujeto a autorización
Escenario 2	Centro Médico Puente Aranda	Clinica Universitaria Colombia	1	0,63	60 m - 0 m	Crucero - Descenso	Altamente condicionado sujeto a autorización
Escenario 2	Unidad Médica Cecimin	Clinica Reina Sofia Medicina Avanzada 125	2	1,5	0 m - 60 m	Ascenso - Crucero - Descenso	Viabilidad sujeta a autorización
Escenario 2	Redes Médicas IPS	Clinica del Country	4	3,29	0 m - 60 m	Ascenso - Crucero - Descenso	Viabilidad sujeta a autorización
Escenario 2	Clinica de la Mujer	Clinica Universitaria Colombia	2	1,6	0 m - 60 m	Ascenso - Crucero	Viabilidad sujeta a autorización
Escenario 2	Clinica de la Mujer	Clinica Universitaria Colombia	7	5,66	≤ 60 m	Crucero	Altamente condicionado sujeto a autorización
Escenario 2	Clinica de la Mujer	Clinica Universitaria Colombia	1	0,82	60 m - 0 m	Crucero - Descenso	Altamente condicionado sujeto a autorización
Escenario 3	Central de Urgencias Norte EPS Sanitas - Toberin	Unidad Médica Cecimin	2	1,29	0 m - 60 m	Ascenso - Crucero	Potencial condicionado
Escenario 3	Central de Urgencias Norte EPS Sanitas - Toberin	Unidad Médica Cecimin	1	1,25	≤ 90 m	Crucero	Potencial favorable
Escenario 3	Central de Urgencias Norte EPS Sanitas - Toberin	Unidad Médica Cecimin	4	3,36	60 m - 0 m	Crucero - Descenso	Viabilidad sujeta a autorización
Escenario 3	Clinica Campo Abierto	Unidad Médica Cecimin	0,17	0,14	0 m - 60 m	Ascenso - Crucero	Viabilidad sujeta a autorización
Escenario 3	Clinica Campo Abierto	Unidad Médica Cecimin	4	3,7	≤ 60 m	Crucero	Potencial condicionado
Escenario 3	Clinica Campo Abierto	Unidad Médica Cecimin	1	1,14	≤ 90 m	Crucero	Potencial categoría abierta
Escenario 3	Clinica Campo Abierto	Unidad Médica Cecimin	4	3,4	60 m - 0 m	Crucero - Descenso	Viabilidad sujeta a autorización
Escenario 3	Centro Médico Unidad Renal	Clinica Universitaria Colombia	6	4,75	0 m - 60 m	Ascenso - Crucero	Viabilidad sujeta a autorización
Escenario 3	Centro Médico Unidad Renal	Clinica Universitaria Colombia	7	5,66	≤ 60 m	Crucero	Altamente condicionado sujeto a autorización
Escenario 3	Centro Médico Unidad Renal	Clinica Universitaria Colombia	0,98	0,82	60 m - 0 m	Crucero - Descenso	Altamente condicionado sujeto a autorización
Escenario 3	Clinica Campo Abierto	Redes Médicas IPS	0,17	0,14	0 m - 60 m	Ascenso - Crucero	Viabilidad sujeta a autorización
Escenario 3	Clinica Campo Abierto	Redes Médicas IPS	4	3,7	≤ 60 m	Crucero	Potencial condicionado
Escenario 3	Clinica Campo Abierto	Redes Médicas IPS	1	1,14	≤ 60 m	Crucero	Potencial categoría abierta
Escenario 3	Clinica Campo Abierto	Redes Médicas IPS	5	4,2	60 m - 0 m	Crucero - Descenso	Viabilidad sujeta a autorización
Escenario 3	Central de Urgencias Norte EPS Sanitas - Toberin	Clinica Universitaria Colombia	2	1,29	0 m - 60 m	Ascenso - Crucero	Potencial condicionado
Escenario 3	Central de Urgencias Norte EPS Sanitas - Toberin	Clinica Universitaria Colombia	2	1,26	≤ 90 m	Crucero	Potencial categoría abierta
Escenario 3	Central de Urgencias Norte EPS Sanitas - Toberin	Clinica Universitaria Colombia	8	6,33	≤ 60 m	Crucero	Viabilidad sujeta a autorización
Escenario 3	Central de Urgencias Norte EPS Sanitas - Toberin	Clinica Universitaria Colombia	7	5,75	≤ 60 m	Crucero	Altamente condicionado sujeto a autorización
Escenario 3	Central de Urgencias Norte EPS Sanitas - Toberin	Clinica Universitaria Colombia	1	0,82	60 m - 0 m	Crucero - Descenso	Altamente condicionado sujeto a autorización

Elaboración propia