



Lineamientos estratégicos de integración de los sistemas C-UAS de la Fuerza Aeroespacial Colombiana para la protección de unidades militares aéreas ante amenazas asimétricas

Mayor. Oscar Norberto Zabala López

Artículo para optar al título profesional

Magister en Seguridad y Defensa Nacional

Escuela Superior de Guerra "General Rafael Reyes Prieto"

Bogotá D.C., Colombia

2025

| DATOS GENERALES | |
|------------------------------|---|
| Nombre del estudiante | : Oscar Norberto Zabala López |
| Identificación | : 80.160.042 |
| Programa académico | : Maestría en Seguridad y Defensa Nacional |
| Tutor metodológico | : Mg. Juan Camilo Urazán Chinchilla |
| Tutor temático | : Teniente Coronel (R) Javier Hernando Conde Mesa |
| Fecha de entrega | : 21 de octubre de 2025 |
| Extensión | : 6000 a 8000 palabras (aparte de Referencias) |

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD Y CESIÓN DE DERECHOS

El autor declara que este artículo fue escrito de acuerdo con la normatividad de la Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto” (ESDEG) y no existe ningún potencial conflicto de interés relacionado con este. Las posturas y aseveraciones presentadas son resultado de un ejercicio académico e investigativo que no representan la posición oficial ni institucional de la ESDEG, las Fuerzas Militares de Colombia o el Ministerio de Defensa Nacional.

Este artículo es enteramente mi propio trabajo y no ha sido presentado para la obtención de un título en esta u otra Institución de Educación Superior. Se han referenciado todos los trabajos y puntos de vista de otros autores, así como los datos de otras fuentes utilizadas. No se emplearon herramientas de generación de contenido por Inteligencia Artificial para su elaboración.

El autor acepta ceder los derechos de publicación en favor de la ESDEG y su Sello Editorial de acuerdo con los términos de la licencia Creative Commons: [Reconocimiento-NoComercial-SinObrasDerivadas](#).

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

El autor autoriza que este artículo sea publicado por el Sello Editorial ESDEG en su repositorio institucional y esté disponible bajo una modalidad de [acceso abierto](#).

Lineamientos estratégicos para la integración de Sistemas Contra Aeronaves No Tripuladas (C-UAS) en la Fuerza Aeroespacial Colombiana orientados a la protección de unidades militares aéreas frente a amenazas asimétricas

Strategic guidelines for the integration of Counter-Unmanned Aircraft Systems (C-UAS) in the Colombian Aerospace Force to protect military air units against asymmetric threats

Autor¹

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Resumen: El presente artículo analiza la integración de sistemas contra aeronaves no tripuladas (C-UAS) en la Fuerza Aeroespacial Colombiana (FAC), con el propósito de fortalecer la defensa aérea y la protección de la infraestructura crítica ante amenazas asimétricas. Se empleó un enfoque cualitativo-descriptivo mediante análisis documental y triangulación de fuentes doctrinales, normativas y técnicas de organismos como la OTAN, el JAPCC, el Department of the Army y el DHS, complementadas con los manuales doctrinales de la FAC. Los resultados evidencian una brecha operacional y tecnológica que limita la interoperabilidad y la capacidad de respuesta ante amenazas UAS. Se proponen lineamientos estratégicos para la integración operativa, el fortalecimiento institucional y la gestión del conocimiento, orientados a consolidar un sistema C-UAS interoperable y legítimo en el marco nacional. El estudio aporta una ruta metodológica aplicable a futuras fases de implementación y desarrollo doctrinal en defensa aérea multidominio.

Palabras clave: Amenazas asimétricas, defensa aérea, Fuerza Aeroespacial Colombiana, integración tecnológica C-UAS, lineamientos estratégicos, sistemas C-UAS.

¹ Mayor de la Fuerza Aeroespacial Colombiana. Candidato a Magister en Seguridad y Defensa Nacionales, Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”, Colombia. Profesional en Administración de Empresas, Universidad Militar Nueva Granada, Colombia. <https://orcid.org/0009-0008-6692-4069> Contacto: oscar.zabala@esdeg.edu.co.

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

Abstract: This article analyzes the integration of Counter-Unmanned Aircraft Systems (C-UAS) within the Colombian Aerospace Force (FAC), aimed at strengthening air defense and protecting critical infrastructure against asymmetric aerial threats. A qualitative-descriptive approach was applied through documentary analysis and source triangulation of doctrinal, regulatory, and technical frameworks from organizations such as NATO, the Joint Air Power Competence Centre (JAPCC), the U.S. Department of the Army, and the Department of Homeland Security (DHS), complemented by the FAC’s doctrinal manuals. The findings reveal operational and technological gaps limiting interoperability and timely response to UAS threats. The study proposes strategic modernization guidelines focused on operational integration, institutional strengthening, and knowledge management to consolidate an interoperable and legitimate C-UAS system within the national framework. This research provides a methodological roadmap applicable to future phases of doctrinal and technological development in multidomain air defense.

Keywords: Air defense, asymmetric threats, Colombian Aerospace Force, Strategic guidelines, Systems C-UAS, technological integration C-UAS.

1. Introducción

La seguridad y defensa nacional son pilares esenciales para la estabilidad y desarrollo del país, y frente a amenazas asimétricas cada vez más complejas, la Fuerza Aeroespacial Colombiana desempeña un papel estratégico en la protección de la soberanía y el espacio aéreo. En alineación con la Política de Seguridad, Defensa y Convivencia Ciudadana 2022-2026, su labor se centra en fortalecer la capacidad operativa, la innovación tecnológica y la respuesta integral ante riesgos emergentes (MDN, 2025). La protección de sus activos estratégicos como aeronaves de combate, sistemas satelitales, UAV's, infraestructura aeronáutica y capacidades de ciberdefensa, resulta crucial para la seguridad nacional (FAC,2020), representando según (FAC,2025) una inversión superior a 4.000 millones de dólares destinada a la modernización, fortalecimiento y ampliación de infraestructuras críticas distribuidas en las unidades militares aéreas.

La expansión acelerada del uso de sistemas de aeronaves no tripuladas (UAS) en ámbitos civiles, comerciales y militares ha transformado el panorama de la seguridad y defensa nacional, generando nuevas amenazas asimétricas que desafían las estructuras tradicionales de defensa (Falah, 2025). En Colombia, este fenómeno es especialmente relevante para la Fuerza Aeroespacial Colombiana (FAC), responsable de garantizar la soberanía del espacio aéreo y proteger instalaciones críticas frente al empleo ilícito o hostil de UAS (AAAES, 2024). En este marco, la integración de sistemas contra aeronaves no tripuladas (C-UAS), definidos como el conjunto de tecnologías, doctrinas y capacidades destinadas a detectar, identificar y neutralizar amenazas aéreas (AAAES, 2024), requiere combinar inteligencia artificial, sensores multispectrales y medidas electrónicas dentro de un entorno multidimensional (Castrillo & Cols., 2022), articulado

con la regulación civil y los estándares internacionales de interoperabilidad (MOD UK, 2024).

Históricamente, el concepto C-UAS ha evolucionado en estrecha relación con las operaciones de defensa aérea en conflictos híbridos, donde experiencias de la OTAN, Estados Unidos e Israel evidencian la necesidad de sistemas flexibles y doctrinas integradas que equilibren la superioridad tecnológica con la legitimidad jurídica (Department of the Army, 2023). En América Latina, la limitada capacidad institucional para contrarrestar el uso ilícito de drones revela una asimetría operacional frente a actores no estatales cada vez más sofisticados (Ziemer, 2025). En Colombia, pese a los avances de la Autoridad Aeronáutica de Aviación de Estado con la Guía Nacional de UAS y C-UAS (AAAES, 2024) y los instrumentos doctrinales de la Fuerza Aeroespacial Colombiana como el *Manual de Doctrina Básica Aérea, Espacial y Ciberespacial* (FAC-0-B, 2020) y la *Estrategia de Desarrollo Aéreo y Espacial – EDAES* (FAC, 2021), aún persisten vacíos normativos, técnicos y operativos que limitan la interoperabilidad, la coordinación civil-militar y la estandarización de protocolos de neutralización.

De esta manera, se identifica una brecha estratégica entre el desarrollo normativo nacional y las doctrinas internacionales consolidadas en materia C-UAS. Mientras que la OTAN (MOD UK, 2024) y el Departamento de Defensa de los Estados Unidos operan bajo marcos doctrinales integrales que combinan interoperabilidad multinacional, defensa cibernética y coordinación interagencial (Department of the Army, 2023), la doctrina colombiana aún se encuentra en una fase de adaptación, careciendo de mecanismos robustos de integración tecnológica, jurídica y operativa.

El presente artículo responde a la pregunta de investigación... ¿Cuáles lineamientos estratégicos permitirán integrar de forma efectiva las capacidades C-UAS en la Fuerza

Aeroespacial Colombiana, fortaleciendo la protección de sus unidades militares aéreas ante amenazas asimétricas?

En consecuencia, el objetivo general de este estudio es proponer lineamientos estratégicos para la integración de sistemas C-UAS en la Fuerza Aeroespacial Colombiana (FAC), orientados a fortalecer sus capacidades defensivas frente a las amenazas asimétricas con UAS.

El sustento teórico del estudio se fundamenta en tres pilares complementarios:

- Doctrinas internacionales como el Allied Joint Doctrine for Airspace Control (AJP-3.3.5) de la OTAN (MOD UK, 2024) y el ATP 3-01.81 Counter-UAS del Ejército de los Estados Unidos (Department of the Army, 2023), que orientan la interoperabilidad, la gestión del espacio aéreo y la defensa contra amenazas no tripuladas.
- Lineamientos técnicos y regulatorios nacionales, representados por la Guía C-UAS de la AAAES (2024), la doctrina FAC-0-B (2020) y la EDAES (2021), que constituyen el marco normativo y doctrinal del Estado colombiano en materia de defensa aérea.
- Estudios especializados del Joint Air Power Competence Centre (2021) y el Department of Homeland Security (2020), que aportan una visión integral sobre la evolución, limitaciones y desafíos de los sistemas C-UAS en entornos multidominio.

Este artículo contribuye al fortalecimiento doctrinal y estratégico de la FAC, proponiendo un modelo de integración coherente con los estándares internacionales de interoperabilidad, sostenibilidad y legalidad. Su aplicación práctica permitirá optimizar

la coordinación interinstitucional, reducir las vulnerabilidades tecnológicas y consolidar una defensa aérea adaptada a los retos del siglo XXI. Además, se espera que sus resultados sirvan como referencia para futuras políticas públicas de seguridad aérea y modernización tecnológica en el ámbito nacional.

Finalmente, el artículo se estructura en tres apartados principales: El primero describe la metodología utilizada para el análisis documental. El segundo desarrolla los resultados correspondientes a los tres objetivos específicos, identificando hallazgos normativos, tecnológicos, operativos y estratégicos que permiten proponer los lineamientos de modernización y recomendaciones aplicables para la integración de sistemas C-UAS en la FAC. Por último, el tercer apartado expone las conclusiones y proyecciones futuras, consolidando una visión prospectiva de la defensa aérea colombiana frente a amenazas asimétricas con UAS.

2. Metodología

El presente estudio se desarrolló bajo un enfoque cualitativo descriptivo, basado en un análisis documental de fuentes oficiales, doctrinales y académicas que abordan la evolución, integración y aplicación de sistemas contra aeronaves no tripuladas (C-UAS) en el ámbito militar. Este enfoque permitió comprender el fenómeno desde una perspectiva institucional y operativa, orientada a la Fuerza Aeroespacial Colombiana (FAC), con el fin de formular lineamientos estratégicos que fortalezcan su capacidad de defensa aérea frente a amenazas asimétricas con UAS.

De acuerdo con (Hernández & Cols, 2021), la investigación cualitativa busca explorar y describir fenómenos desde la interpretación de la información disponible, sin manipular variables, priorizando la comprensión del contexto y las dinámicas institucionales. Por lo

tanto, el diseño metodológico se estructuró en tres fases secuenciales y complementarias. Asimismo, el análisis documental fue desarrollado a través del método prisma 2020 según (Page & Cols, 2021), y triangulación cruzada en selección y análisis para evitar sesgos contextualizados.

Fase 1. Revisión y sistematización documental

En esta etapa se recopilaron, clasificaron y analizaron fuentes primarias y secundarias de carácter doctrinal, normativo y técnico, de acuerdo con el modelo de (Vera, 2022), se definieron palabras clave relacionadas con “sistemas C-UAS”, “defensa aérea”, “normativa UAS – C-UAS”, “doctrina C-UAS”, “amenazas asimétricas con UAS”, “integración tecnológica C-UAS”. para documentar en bases académicas (Web of Science, Scopus, Google Scholar), repositorios institucionales, y fuentes oficiales como (AAAES, FAC, MOD UK). Entre las fuentes analizadas se destacan el Manual de Doctrina Básica Aérea, Espacial y Ciberespacial FAC-0-B (DBAEC) (Fuerza Aeroespacial Colombiana, 2020), el Estatuto del Departamento Aéreo Estratégico (EDAES) (Fuerza Aeroespacial Colombiana, 2021), así como documentos doctrinales internacionales como el Allied Joint Doctrine for Airspace Control (AJP-3.3.5) (MOD UK, 2024).

Asimismo, se consultaron publicaciones especializadas como el A Comprehensive Approach to Countering Unmanned Aircraft Systems del Joint Air Power Competence Centre (JAPCC, 2021), el Counter-Unmanned Aircraft System (C-UAS) del Department of the Army (2023), y el Counter-Unmanned Aircraft Systems Technology Guide del Department of Homeland Security (2020). Estas referencias entre otras aportaron el marco comparativo y técnico necesario para analizar las estrategias y doctrinas internacionales de control del espacio aéreo y defensa aérea frente a UAS hostiles.

Fase 2. Análisis comparativo y contextualización institucional

Posteriormente, se realizó un análisis comparativo orientado a identificar la aplicabilidad de las doctrinas y estándares internacionales al contexto operativo, legal y estratégico de la FAC. Este proceso implicó comparar los principios doctrinales de la OTAN y los lineamientos de la FAC, determinando su grado de correspondencia con las capacidades nacionales en materia de defensa aérea, interoperabilidad y protección de infraestructura crítica aeroespacial. Durante esta fase, se establecieron relaciones entre los conceptos de interoperabilidad, legitimidad y defensa multidominio, a partir de la revisión del *AJP-3.3.5* (MOD UK, 2024) y los fundamentos doctrinales nacionales (FAC, 2020; 2021), lo que permitió construir una visión integrada y contextualizada sobre la implementación de capacidades C-UAS en escenarios nacionales.

Fase 3. Triangulación y formulación de lineamientos estratégicos

Con base en los hallazgos de las fases anteriores, se aplicó un proceso de triangulación metodológica que permitió contrastar y validar la información obtenida desde tres dimensiones complementarias:

1. **Dimensión doctrinal:** análisis de documentos oficiales nacionales e internacionales (FAC, 2020; MOD UK, 2024; JAPCC, 2021).
2. **Dimensión técnica-operacional:** revisión de manuales, guías y estándares de empleo C-UAS emitidos por organismos de defensa como el Department of the Army (2023) y el Department of Homeland Security (2020).
3. **Dimensión contextual-institucional:** interpretación de la aplicabilidad y pertinencia de dichos enfoques dentro del entorno estratégico y operacional de la FAC.

La triangulación permitió verificar la coherencia y validez de los resultados, reduciendo sesgos y garantizando la consistencia entre los diferentes niveles de análisis (doctrinal,

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

técnico y estratégico). A partir de este proceso, se formularon lineamientos estratégicos aplicables a la integración de sistemas C-UAS en la FAC, estructurados en torno a tres ejes: fortalecimiento tecnológico, interoperabilidad operacional y consolidación institucional. Estos lineamientos responden a los objetivos específicos del estudio y se fundamentan en la doctrina nacional y en las buenas prácticas internacionales de defensa aérea.

Criterios de inclusión:

- Fuentes oficiales: Informes gubernamentales, normativas militares, doctrinas estratégicas y publicaciones de instituciones de defensa y seguridad.
- Periodización: Estudios y documentos publicados en los últimos 10 años para garantizar información actualizada sobre tendencias tecnológicas y estrategias en defensa aérea.
- Casos de estudio: Experiencias de implementación de sistemas C-UAS en fuerzas militares pioneros en el empleo de este tipo de tecnología.
- Disponibilidad de acceso: Documentos de acceso público o aquellos a los que se pueda obtener acceso mediante permisos institucionales.

Criterios de exclusión

- Irrelevancia temática: Estudios centrados en sistemas de UAS comerciales o de uso recreativo sin relación con seguridad nacional o defensa militar.
- Obsolescencia: Publicaciones anteriores a 2020 que no reflejen los avances tecnológicos recientes en sistemas C-UAS.
- Restricciones de acceso: Documentos clasificados o de acceso restringido sin posibilidad de consulta legal y ética.

3. Resultados

3.1 Análisis de la evolución de los UAS hostiles en Colombia en paralelo con la normatividad y doctrina para la integración de sistemas C-UAS en la FAC.

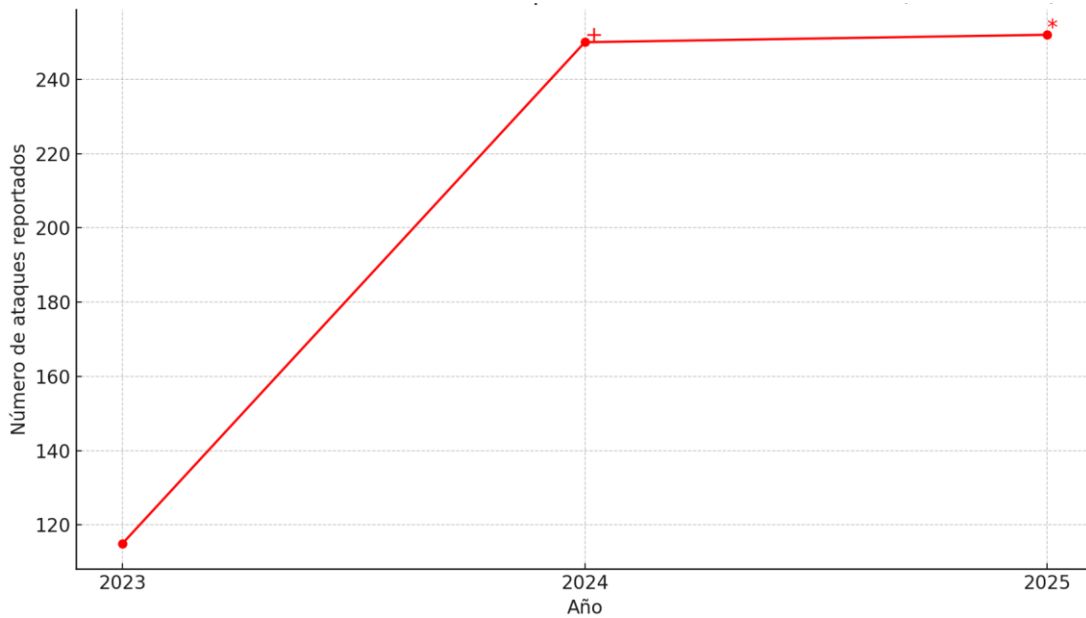
La evolución acelerada de las amenazas con aeronaves no tripuladas (UAS) en Colombia exige la revisión crítica y profunda, además del análisis de los marcos normativos y doctrinales que regulan y orientan la defensa aérea nacional.

3.1.1. Evolución de los UAS hostiles en Colombia

La creciente utilización ilícita de UAS en el conflicto armado colombiano ha transformado de manera significativa el escenario de seguridad, imponiendo retos inéditos a la Fuerza Aeroespacial Colombiana (FAC) y sus unidades militares aéreas. Desde 2023, distintos grupos armados ilegales, entre ellos disidencias de las FARC, ELN y bandas narcotraficantes, han adoptado el uso de drones comerciales modificados para llevar a cabo ataques selectivos con explosivos, principalmente contra puestos militares, policiales y comunidades civiles, con una marcada intensificación durante 2024 y 2025 (El Nacional, 2025). Las cifras oficiales evidencian que, sólo en 2025, se registraron 252 ataques con drones en la región suroccidental del país, y en 2024 se reportaron 115 ataques a nivel nacional, lo que refleja un promedio alarmante que ya define una nueva modalidad de guerra asimétrica altamente letal y difícil de contrarrestar (González, 2025).

Figura 1. Evolución anual de ataques con UAS en Colombia (2023–2025)

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”
Bogotá D.C., Colombia



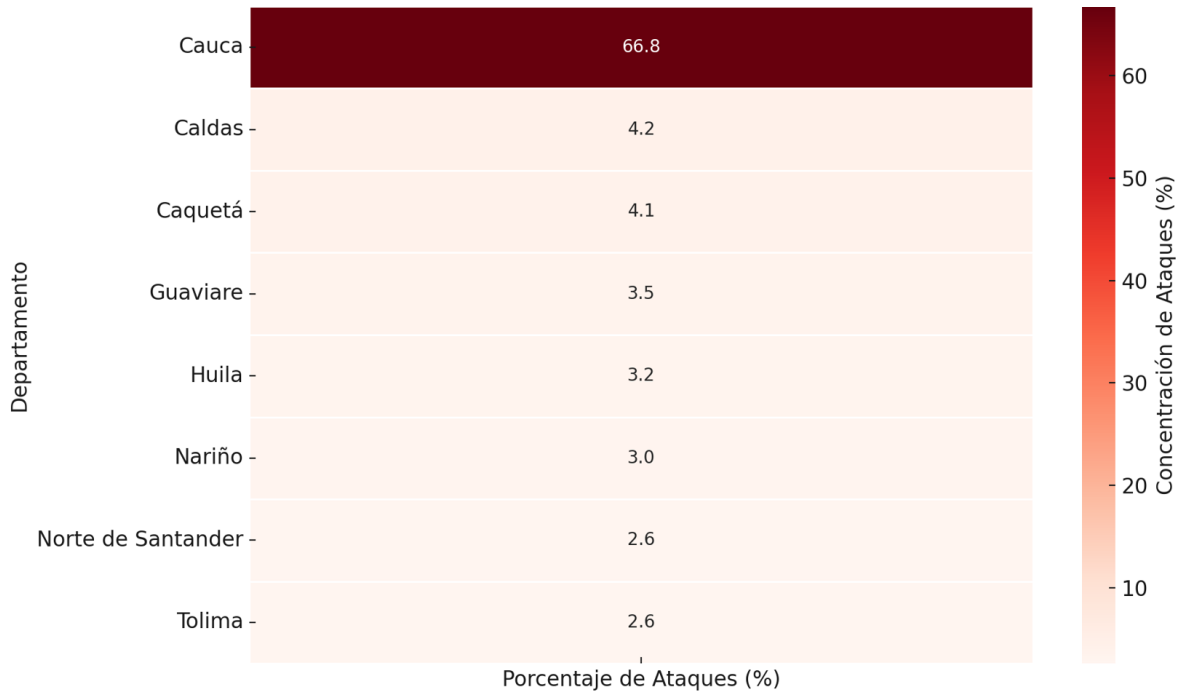
Fuente: elaboración propia con base en los datos recolectados por González (2025). “Una Guerra Diaria Desde El Cielo, Esta Es La Cifra de Ataques Con Drones En El Suroccidente Colombiano.” *Infobae*.

* Indica corte de número de ataques reportados hasta julio 2025.

Este tipo de ataques representa una búsqueda estratégica de los grupos ilegales para disminuir el riesgo directo de sus combatientes, a la vez que incrementan el terror y la presión sobre la fuerza pública y la población civil, estos grupos han adoptado tácticas inspiradas en conflictos asimétricos internacionales, como Ucrania, que les ofrecen un nivel competitivo contra fuerzas de alta tecnología mediante el uso de drones “kamikaze”, enjambres coordinados y técnicas de guerra electrónica adaptadas localmente (El Nacional 2025). Las unidades militares aéreas de la FAC enfrentan desafíos específicos que incluyen no solo la detección oportuna y neutralización efectiva de drones, sino también la coordinación interinstitucional, interoperabilidad tecnológica, actualización doctrinal y capacitación especializada para manejar escenarios de amenaza creciente y variada. Además, la vanguardia de drones FPV (First Person View) y otros modelos avanzados fibra óptica

inmunes a interferencias convencionales expanden la brecha tecnológica y operativa (France24 2025).

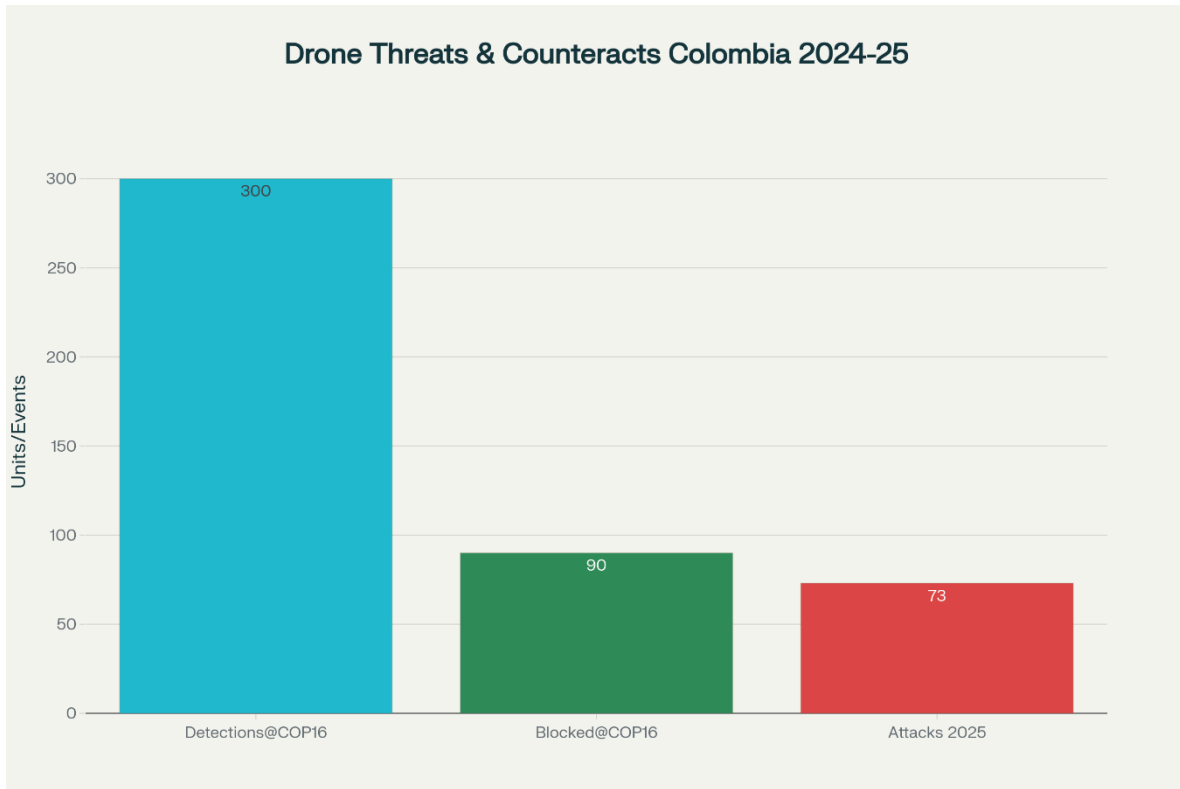
Figura 2. Mapa de calor: Concentración territorial de ataques con UAS en Colombia



Fuente: elaboración propia con base en los datos recolectados por Saumeth (2025). “Colombia Reporta Más de 250 Ataques Terroristas Con Drones.” *Infodefensa*.

La relevancia y actualidad del tema también se evidencian en reportes recientes como el de (Buschschlüter, 2025), que documenta incidentes reales y recientes en Colombia donde drones cargados con explosivos han causado la muerte de soldados, ejemplificando la dimensión y el impacto tangible de las amenazas asimétricas con sistemas aéreos no tripulados. Estos hechos subrayan la necesidad urgente de implementar sistemas y estrategias que permitan mitigar eficazmente estos riesgos y proteger la seguridad nacional.

Figura 3. Amenazas de UAS y contramedidas en Colombia (2024-2025) datos de detección, bloqueo y ataques reportados.



Fuente: elaboración propia con base en los datos recolectados por Hide (2025). “Drone Attacks Increasingly Affect Civilians in Colombia’s Conflict - Latin America Reports.” *Latin America Reports*.

El gráfico ilustra la creciente incidencia e impacto de las amenazas con UAS en Colombia y la capacidad de respuesta C-UAS de la FAC durante 2024 y 2025. Este panorama visual evidencia la urgencia de una mejora institucional integral en sistemas, protocolos y capacitación, elementos abordados a detalle en el desarrollo del artículo.

3.1.2. Análisis comparativo doctrinal y normativo internacional y nacional para la integración de sistemas C-UAS en la FAC.

Por otro lado, la Fuerza Aeroespacial Colombiana (FAC), como garante del control y la protección del espacio aéreo, se enfrenta al reto de integrar soluciones C-UAS bajo un entramado de regulaciones civiles, guías institucionales y doctrinas militares internacionales, que en muchos casos presentan vacíos, duplicidad y limitaciones para actuar frente a amenazas asimétricas como los UAS.

El análisis del marco doctrinal y normativo sobre los sistemas contra aeronaves no tripuladas (C-UAS) permitió identificar las principales convergencias y brechas entre los estándares internacionales y el contexto institucional colombiano, con especial énfasis en la Fuerza Aeroespacial Colombiana (FAC). Este comparativo se fundamentó en el análisis documental cualitativo de las fuentes seleccionadas dentro del proceso de triangulación metodológica, que comprendió la revisión de documentos doctrinales, técnicos y normativos emitidos por organismos internacionales, aliados estratégicos y entidades nacionales del sector defensa.

3.1.2.1 Marco doctrinal y normativo internacional

En el contexto internacional, los documentos doctrinales de la OTAN y los Estados Unidos constituyen la referencia principal para el desarrollo de capacidades C-UAS integradas dentro de los sistemas de defensa aérea multidominio. El Allied Joint Doctrine for Airspace Control (AJP-3.3.5) (MOD UK, 2024) establece los principios de interoperabilidad, coordinación y control del espacio aéreo bajo una estructura conjunta que facilita la gestión de amenazas asimétricas como los UAS. Este documento

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

resalta la necesidad de articular sistemas de detección, mando y control bajo marcos doctrinales unificados que garanticen respuesta efectiva ante incursiones no autorizadas.

Por su parte, el Joint Air Power Competence Centre (JAPCC,2021) en su informe A Comprehensive Approach to Countering Unmanned Aircraft Systems, propone una visión integral que combina medidas tecnológicas, doctrinales, legales y operacionales para contrarrestar el uso hostil de drones. Este enfoque resalta la importancia de la cooperación civil-militar, la interoperabilidad interagencial y el desarrollo de capacidades escalonadas de detección y neutralización, particularmente frente a amenazas híbridas.

En el caso estadounidense, el (Department of the Army, 2023) mediante el ATP 3-01.81 Counter-Unmanned Aircraft System (C-UAS) y el Department of Homeland Security (DHS, 2020) con su C-UAS Technology Guide, proporcionan lineamientos técnicos y operativos aplicables a escenarios de defensa nacional, protección de infraestructuras críticas y gestión del espacio aéreo. Ambos documentos insisten en la necesidad de establecer doctrinas integradas y protocolos de respuesta coordinada, incorporando tecnologías avanzadas de inteligencia artificial, sistemas de radar y control del espectro electromagnético.

Estas doctrinas y guías internacionales evidencian un enfoque integral centrado en tres pilares:

1. Interoperabilidad multinivel entre fuerzas armadas, agencias gubernamentales y actores civiles.
2. Capacidades tecnológicas adaptativas, orientadas a la detección temprana y respuesta escalonada.

3. Marco jurídico flexible y coordinado, que habilite la acción legítima de defensa frente a amenazas no convencionales.

3.1.2.2 Marco doctrinal y normativo nacional

En el ámbito nacional, la Fuerza Aeroespacial Colombiana (FAC) ha establecido las bases de su doctrina mediante el Manual de Doctrina Básica Aérea, Espacial y Ciberespacial FAC-0-B (DBAEC) (Fuerza Aeroespacial Colombiana, 2020), el cual define los fundamentos conceptuales del poder aéreo, espacial y ciberespacial en escenarios multidominio. Este manual enfatiza la integración tecnológica, la legitimidad en el empleo de la fuerza y la interoperabilidad como ejes fundamentales para la defensa aérea y la protección del espacio soberano.

Complementariamente, la Estrategia para el Desarrollo Aéreo y Espacial de la Fuerza Aeroespacial Colombiana – EDAES (Fuerza Aeroespacial Colombiana, 2021) proyecta el fortalecimiento de las capacidades estratégicas, científicas y tecnológicas de la institución, como componentes de innovación y disuasión estratégica. No obstante, no incluye la incorporación de sistemas no tripulados y contra-UAS en la estrategia, por ende, se evidencia que aún no existe una doctrina nacional unificada que regule de manera integral la detección, identificación y neutralización de amenazas aéreas no tripuladas dentro del marco legal de la FAC.

Esta ausencia doctrinal y normativa específica limita la consolidación de un sistema C-UAS institucional con interoperabilidad completa entre la FAC, la Fuerza Pública, la Aeronáutica Civil y organismos de inteligencia, generando vacíos en materia de autoridad

operacional, coordinación interinstitucional y procedimientos de respuesta ante incidentes en el espacio aéreo nacional con los estándares OTAN (AJP-3.3.5, 2024).

3.1.2.3 Hallazgos del análisis comparativo

Tabla 1. Hallazgos sobre los marcos normativo y doctrinal para la integración de sistemas C-UAS en la FAC.

| Ejes de análisis | Normativa y doctrina internacional 🌐 | Normativa y doctrina nacional (FAC) | Hallazgos / oportunidades de armonización 💡 |
|---|--|---|--|
| Marco jurídico y competencias 🏛️ | JAPCC (2023) y DHS (2024) definen autoridad estatal para detección y neutralización bajo normas conjuntas civil-militares. | RACAE 94 (2023) y AAAES (2024) abordan parcialmente el control civil, sin vínculo operativo con doctrina militar. | Se requiere reglamento conjunto civil-militar que habilite respuestas lícitas y coordinadas. |
| Doctrina táctica C-UAS 📌 | AJP-3.3.5 (OTAN) y ATP-3.3.7 (EE. UU.) integran C-UAS dentro de defensa aérea integrada (IAMD). | DBAEC (2020) no contempla aún doctrina específica C-UAS. | Desarrollar doctrina táctica FAC-1-I C-UAS basada en IAMD adaptada al contexto colombiano. |
| Mando y Control (C2) 🎮 | Estructura multinivel interoperable (Link-16, data fusion, inteligencia compartida). | C2 limitado a protección perimetral de bases. | Ampliar el nodo C2 hacia un enfoque ciberespacial interoperable. |
| Neutralización operativa 🎯 | Modelos escalonados detect-track-identify-defeat con medidas no cinéticas. | Guía AAAES establece lineamientos generales, sin protocolos operativos definidos. | Diseñar protocolos nacionales de neutralización progresiva, acordes con marco legal. |

| | | | |
|--|--|---|--|
| Innovación y tecnología 🌐 | Uso de IA, guerra electrónica y sensores distribuidos (Dedrone AI, Hydra 200, Cerberos 3). | EDAES impulsa desarrollo local pero sin líneas específicas C-UAS. | Consolidar cooperación industria-FAC para innovación controlada. |
| Interoperabilidad multinacional 🌐 | OTAN y JAPCC promueven ejercicios combinados y estandarización. | EDAES y DBAEC carecen de capítulos sobre interoperabilidad C-UAS. | Incluir lineamientos SICOFAA y ejercicios conjuntos regionales. |

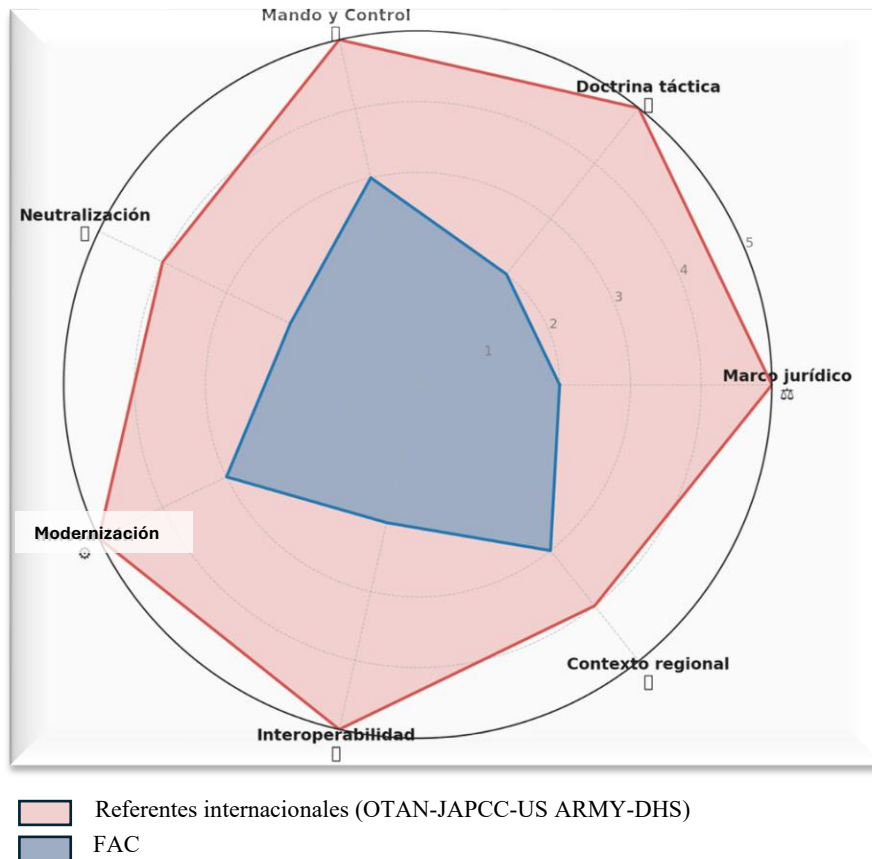
Fuente: elaboración propia con base en los datos recolectados en el análisis documental comparativo – triangulación de fuentes.

La comparación entre las doctrinas y normativas internacionales y las existentes en el contexto nacional permitió identificar tres hallazgos principales:

1. **Brecha doctrinal y de interoperabilidad:** Mientras la OTAN y los Estados Unidos operan bajo marcos doctrinales estandarizados que priorizan la interoperabilidad y coordinación multinivel (MOD UK, 2024; JAPCC, 2021), la FAC carece de un marco específico que regule la integración conjunta de sistemas C-UAS en el entorno de defensa aérea.
2. **Desfase tecnológico-operativo:** Los manuales y guías internacionales (Department of the Army, 2023; DHS, 2020) enfatizan el uso de plataformas integradas de mando, control e inteligencia artificial, mientras que en la FAC persisten sistemas heterogéneos que posee en la actualidad (Cerbair Hydra 200, Cerberos 2 y 3, Dedrone Tracker AI C2) con limitaciones de interoperabilidad (AAAES, 2024).
3. **Vacios jurídicos y procedimentales:** A diferencia de los marcos normativos internacionales que establecen protocolos de empleo y responsabilidad legal en el uso de sistemas C-UAS, en Colombia aún no existe una regulación específica que

armonice el empleo de estas tecnologías con el derecho operacional aéreo, lo que genera desafíos en materia de legitimidad y autoridad del empleo de la fuerza.

Figura 4. Radar de armonización normativa y doctrinal C-UAS



Fuente: : elaboración propia asistida con - Open AI con base en el análisis documental comparativo – triangulación de fuentes.

El radar de armonización grafica los hallazgos que sustentan la necesidad de avanzar hacia una doctrina nacional integrada C-UAS, alineada con los estándares internacionales y adaptada a la realidad operacional de la FAC, que fortalezca la legitimidad, interoperabilidad y eficacia en la defensa del espacio aéreo nacional.

3.2 Comparación tecnológica, operativa y estratégica de los sistemas C-UAS disponibles en la FAC.

La evolución de las amenazas asimétricas con UAS en Colombia ha impulsado la implementación progresiva de Sistemas Contra Aeronaves No Tripuladas (C-UAS) por parte de la Fuerza Aeroespacial Colombiana (FAC) y otras instituciones. Sin embargo, la eficacia de estos sistemas depende no solo de su tecnología, sino de su integración operativa y estratégica, así como de su coordinación interinstitucional. Este objetivo se propone evaluar comparativamente los sistemas C-UAS disponibles en Colombia, identificar desafíos tecnológicos y operativos, y analizar las condiciones estratégicas que influyen en su desempeño y coordinación.

3.2.1. Sistemas C-UAS activos en la FAC: tecnología y operación

➤ Cerbair Hydra 200

De origen europeo, este sistema se especializa en la detección mediante análisis avanzado de radiofrecuencia (RF), cubriendo bandas comunes como 2.4 GHz y 5.8 GHz, con un alcance de hasta 2 km en condiciones óptimas. Su fortaleza radica en la detección omnidireccional y capacidad de radiogoniometría, aunque para neutralización activa requiere sistemas complementarios externos (Grupo ACRE, 2025).

Figura 5. Cerbair Hydra 200



Fuente: : Ficha técnica Cerbair 2022

➤ **Cerberos 2 y 3 (CETAD, Colombia)**

Sistemas nacionales desarrollados por el Centro de Desarrollo Tecnológico Aeroespacial para la Defensa (CETAD). Estos integran sensores electroópticos, radar y capacidades de neutralización electrónica y cinética adaptadas al contexto colombiano. Están diseñados para protección de unidades militares aéreas y puntos estratégicos locales, reflejando la innovación tecnológica nacional (CETAD, 2024).

Figura 6. Cerberos 2 y 3



Fuente: : CETAD, 2024.

➤ **Dedrone Tracker AI C2**

Plataforma estadounidense que utiliza inteligencia artificial para fusión multisensorial, integrando sensores radiofrecuencia para detección, clasificación automática y neutralización con interferencia jamming. Destaca por su cobertura 360° y capacidad de manejo simultáneo de múltiples amenazas (Dedrone.com, 2025).

Figura 7. Dredrone Tracker AI C2



Fuente: : Ficha técnica Dredrone Tracker 2024

3.2.2. Análisis comparativo de eficacia operativa y tecnológica

Tabla 2. Comparación capacidades tecnológicas sistemas C-UAS FAC.

| Característica | Cerbair Hydra 200 | Cerberos 2 y 3 (CETAD, FAC) | Dredrone Tracker AI C2 |
|------------------------------|--|--|--|
| Origen y desarrollo | Sistema europeo especializado en detección RF | Sistemas nacionales desarrollados por CETAD | Sistema estadounidense comercial con IA avanzada |
| Principio tecnológico | Análisis avanzado de señales de radiofrecuencia (RF) | Análisis avanzado de señales de radiofrecuencia (RF) | Análisis avanzado de señales de radiofrecuencia (RF) |
| Tipos de sensores | Radar RF omnidireccional en bandas 2.4 y 5.8 GHz | Radar RF omnidireccional en bandas 2.4 y 5.8 GHz | Radar RF omnidireccional en bandas 2.4 y 5.8 GHz |
| Alcance de detección | Hasta 2 km en condiciones óptimas | Hasta 2 km adecuado para bases aéreas y perímetros | Hasta 5 km |

| | | | |
|----------------------------------|--|---|---|
| Neutralización | Interferencia externa (jamming) | Interferencia externa (jamming) | Interferencia externa (jamming) |
| Portabilidad y despliegue | Compacto y portátil, despliegue rápido (~20 minutos, 2 operadores) | Modular, adaptable para vehículos o bases | Modular, adaptable para vehículos o bases |
| Interoperabilidad | Incompatible | Incompatible | Plataforma interoperable para coordinación interinstitucional |
| Capacidades IA y fusión | Sin configuración IA | Sin configuración IA | IA avanzada para detección RF |
| Limitaciones | No detecta UAS sin emisión RF clara (FPV, fibra óptica) | No detecta UAS sin emisión RF clara (FPV, fibra óptica) | No detecta UAS sin emisión RF clara (FPV, fibra óptica) |
| Usuarios | Fuerzas militares, protección infraestructuras | Fuerzas militares y unidades locales | Fuerzas armadas, protección aérea y civil |
| Ámbito operativo óptimo | Protección perimetral e infraestructuras críticas | Defensa en bases, perímetros y zonas estratégicas | Protección dinámica de áreas sensibles y respuesta rápida |

Fuente: elaboración propia con base en los datos recolectados en fichas técnicas de los sistemas C-UAS referenciados.

Esta evaluación tecnológica permitió identificar complementariedades entre plataformas y reconocer desafíos persistentes en interoperabilidad, detección de UAS sin emisión RF clara (FPV), fibra óptica y vulnerabilidades de ciberseguridad, elementos cruciales para orientar la integración operativa eficaz en la FAC.

3.2.3 Hallazgos de la integración tecnológica, operativa y estratégica de los sistemas C-UAS disponibles en la FAC

El análisis de la integración operativa y estratégica de los sistemas Counter-Unmanned Aircraft Systems (C-UAS) en la Fuerza Aeroespacial Colombiana (FAC) evidenció una serie de barreras técnicas, doctrinales y de interoperabilidad que limitan la consolidación de una defensa aérea moderna y adaptativa frente a amenazas asimétricas.

Desde el punto de vista técnico-operativo, se identificó una fragmentación tecnológica producto de la coexistencia de sistemas de diferentes fabricantes, como Cerbair Hydra 200, Cerberos 2 y 3 desarrollados por el CETAD, y el Dredrone Tracker AI C2, cada uno con arquitecturas de comunicación y protocolos de comando y control distintos. Esta diversidad tecnológica ha dificultado la interoperabilidad plena entre sensores, radares y plataformas de neutralización, lo que impacta la sincronización de respuestas ante incidentes múltiples o ataques coordinados con UAS (JAPCC, 2021).

A nivel estratégico, el proceso de integración evidencia limitaciones en la coordinación interinstitucional entre la FAC, la Fuerza Pública, la Aeronáutica Civil y organismos de inteligencia. Si bien existen mecanismos de cooperación durante eventos de alto riesgo, aún no se ha consolidado un sistema unificado de intercambio de información en tiempo real ni un marco normativo que establezca claramente las competencias y reglas de enfrentamiento ante incursiones aéreas no tripuladas (AAAES, 2024). Esta brecha reduce la capacidad de respuesta conjunta y la eficiencia de las operaciones en entornos urbanos o de infraestructura crítica. Del mismo modo, es importante la sinergia entre entidades nacionales e internacionales, y enfatizar la importancia de optimizar recursos, compartir información

sobre inteligencia y verificar de manera conjunta, lo que lleva a concertar una defensa aérea holística que sea eficaz frente a los peligros actuales y futuros (Razzaq, 2025).

De igual forma, se identificaron riesgos cibernéticos significativos en las estaciones de mando y control, redes inalámbricas y sistemas automatizados de neutralización. Estos puntos vulnerables podrían ser explotados mediante interferencias o ataques cibernéticos, comprometiendo la confidencialidad, integridad y disponibilidad de los sistemas C-UAS, lo cual ha sido documentado por el (Department of the Army, 2023) y el (Department of Homeland Security, 2020), quienes destacan la necesidad de integrar capacidades de ciberdefensa táctica y redundancia de redes en entornos operativos de defensa aérea.

Finalmente, la detección y neutralización de drones FPV (First Person View), fibra óptica y de plataformas avanzadas con tecnologías anti-jamming constituyen una brecha operativa crítica. Esto se debe a la rápida evolución de las tecnologías comerciales y a la asimetría entre las capacidades del Estado y los actores irregulares, tal como advierte (Ziemer, 2025), quien señala que Latinoamérica enfrenta un rezago en la preparación frente a drones criminales debido a la falta de integración tecnológica y de entrenamiento especializado.

El análisis comparativo con doctrinas internacionales, como la del Joint Air Power Competence Centre (JAPCC, 2021) y el MOD UK (2024), resalta la necesidad de adoptar una arquitectura interoperable multinivel que integre vigilancia aérea, ciberdefensa y control de espectro electromagnético, bajo un enfoque multi-agencia y multidominio (IAMD). En este sentido, la FAC requiere avanzar hacia la armonización de sistemas C-UAS dentro de su red de mando y control, garantizando la compatibilidad con las estructuras doctrinales

establecidas en la Estrategia para el Desarrollo Aéreo y Espacial (EDAES, 2021) y la Doctrina Básica Aérea, Espacial y Ciberespacial (FAC, 2020).

3.3 Lineamientos estratégicos y recomendaciones aplicables para la integración de sistemas C-UAS en la FAC

Con base en el análisis doctrinal y operativo realizado en los objetivos anteriores, se determinó que la integración efectiva de los sistemas Counter-Unmanned Aircraft Systems (C-UAS) en la Fuerza Aeroespacial Colombiana requiere de una planificación estratégica transversal, que articule la tecnología, la doctrina, el entrenamiento y la coordinación interinstitucional.

Los lineamientos estratégicos aquí propuestos se derivan de la triangulación documental realizada bajo la metodología PRISMA, en la cual se contrastaron las doctrinas y guías de referencia internacional según (JAPCC, 2021), AJP-3.3.5 (MOD UK, 2024), *ATP 3-01.81* (Department of the Army, 2023) y Guide C-UAS (Department of Homeland Security, 2020), junto con los documentos doctrinales y estratégicos nacionales DBAEC (FAC, 2020), EDAES (FAC, 2021) y la Guía C-UAS (AAAES, 2024)—, así como con el análisis de amenazas regionales planteado por Ziemer (2025).

Este proceso permitió estructurar los lineamientos en cuatro ejes fundamentales: modernización tecnológica, doctrina y capacitación, integración operativa e institucional, y cooperación internacional y ciberdefensa. Cada uno contribuye a fortalecer la capacidad de respuesta, interoperabilidad y legitimidad de las operaciones C-UAS dentro del marco multidominio (IAMD) y de la defensa aérea nacional (JAPCC, 2021).

3.3.1. Modernización tecnológica y estandarización de sistemas

La diversidad de plataformas empleadas actualmente (Cerbair Hydra 200, Cerberos 2 y 3, Dedrone Tracker AI C2) genera brechas de interoperabilidad y fragmentación en la red de defensa frente a UAS. En concordancia con las recomendaciones del (JAPCC, 2021), AJP-3.3.5 (MOD UK, 2024), se propone avanzar hacia la interconexión y estandarización tecnológica mediante protocolos comunes de mando, control, comunicación y enlace de datos (C4ISR).

Esto implica desarrollar una arquitectura interoperable multinivel, alineada con los principios de la EDAES (FAC, 2021) y la Doctrina Básica Aérea, Espacial y Ciberespacial (FAC, 2020), para garantizar que los sistemas C-UAS operen de forma integrada con las capacidades de defensa aérea y ciberespacial ya existentes.

3.3.2. Desarrollo doctrinal y fortalecimiento del talento humano

La AAAES (2024) identifica la necesidad de consolidar un marco doctrinal unificado sobre el empleo de sistemas C-UAS. En ese sentido, se hace necesario que áreas funcionales de la FAC competentes sobre la temática, lideren la elaboración de una doctrina táctica, operacional y estratégica como capacidad C-UAS, alineada con las experiencias operacionales internacionales descritas por el Department of the Army (2023) y el DHS (2020), incorporando contenidos de gestión del espectro electromagnético, ciberseguridad y respuesta ante enjambres.

La formación de talento especializado en análisis de señales, guerra electrónica y protección de infraestructuras críticas debe convertirse en un eje central de la transformación institucional, en coherencia con los objetivos estratégicos definidos en la EDAES (FAC, 2021).

3.3.3. Integración operativa y fortalecimiento institucional

Los hallazgos previos demostraron deficiencias en la coordinación interinstitucional entre la FAC, la Fuerza Pública, la Aeronáutica Civil y los organismos de inteligencia. En concordancia con el (JAPCC, 2021) y el AJP-3.3.5 (MOD UK, 2024), se propone crear un Centro Nacional de Coordinación C-UAS, con capacidad de fusión de datos, intercambio en tiempo real y despliegue de respuestas conjuntas.

Dicha estructura permitiría articular la defensa aérea, el control del espacio aéreo civil y la seguridad interior, bajo un modelo multidominio (IAMD) y multiagencia, fortaleciendo la capacidad de detección y respuesta ante amenazas asimétricas o de origen irregular (Ziemer, 2025).

3.3.4. Cooperación internacional y ciberdefensa

Frente a la rápida evolución tecnológica de los UAS hostiles, es fundamental que la FAC consolide alianzas estratégicas y cooperación internacional con centros de excelencia como el JAPCC y agencias aliadas de defensa aérea. Estas asociaciones permitirían acceder a capacitaciones, protocolos de inteligencia compartida y pruebas conjuntas de interoperabilidad (JAPCC, 2021).

Asimismo, siguiendo las recomendaciones del Department of Homeland Security (2020) y el Department of the Army (2023), se plantea el fortalecimiento de la ciberdefensa C-UAS, implementando medidas de redundancia, encriptación y resiliencia operativa en las estaciones de mando y control para mitigar riesgos de interferencia o sabotaje digital.

3.3.5. Recomendaciones aplicables para integración de sistemas C-UAS en la FAC.

- Alinear el proceso de modernización C-UAS con los ejes de superioridad tecnológica del Plan Estratégico FAC 2030 y la EDAES.
- Adoptar un enfoque de modernización progresiva, no disruptiva, que garantice sostenibilidad logística, capacitación del talento humano y actualización doctrinal continua.
- Asegurar la coherencia normativa con estándares internacionales, especialmente en ciberseguridad, interoperabilidad y control de espacio aéreo.

3.3.6. Implicaciones y aportes

La implementación de estos lineamientos generará impactos en tres niveles:

- **Operativo:** mejora de la capacidad de detección, neutralización y respuesta ante amenazas aéreas no tripuladas.
- **Doctrinal:** consolidación de una cultura organizacional alineada con los principios de interoperabilidad, legitimidad y control multidominio.
- **Estratégico:** fortalecimiento de la soberanía aérea y la protección de infraestructuras críticas como unidades militares aéreas bajo un enfoque integral de seguridad y defensa.

De esta manera, la FAC podrá avanzar hacia una integración efectiva de los sistemas C-UAS que combine eficiencia operativa, respaldo normativo y legitimidad institucional, contribuyendo directamente al cumplimiento de los objetivos establecidos en la EDAES (FAC, 2021) y DBAEC (FAC, 2020).

4. Conclusiones

El presente estudio permitió demostrar la necesidad de establecer un marco doctrinal, normativo y estratégico coherente que oriente la integración de sistemas C-UAS en la Fuerza Aeroespacial Colombiana (FAC), como respuesta a las amenazas asimétricas derivadas del uso ilícito de aeronaves no tripuladas. A partir de la metodología empleada se logró identificar la convergencia de principios internacionales como los delineados por la NATO (MOD UK, 2024) y el JAPCC (2021), con los documentos doctrinales nacionales (FAC, 2020; EDAES, 2021; AAAES, 2024), evidenciando la pertinencia de adaptar los marcos internacionales a la realidad operacional y jurídica colombiana. En consecuencia, la investigación responde al formular lineamientos estratégicos que fortalecen la defensa aérea multidominio (IAMD) y contribuyen al cumplimiento de los propósitos misionales de la FAC, en concordancia con su doctrina básica y la Estrategia para el Desarrollo Aéreo y Espacial (EDAES, 2021).

Las cifras en aumento de ataque con UAS en Colombia 2023 – 2025 y el análisis comparativo entre la doctrina y normativa internacional y el marco nacional permitió identificar brechas significativas en materia de interoperabilidad, estandarización tecnológica y regulación legal para el empleo de sistemas C-UAS y la necesidad pronta de su adopción. En los países miembros de la OTAN, las doctrinas AJP-3.3.5 (MOD UK, 2024; JAPCC, 2021) promueven la integración bajo esquemas C4ISR interoperables y políticas conjuntas de control del espacio aéreo.

En contraste, la normativa nacional representada por el Manual de Doctrina Básica Aérea, Espacial y Ciberespacial (FAC, 2020) y la EDAES (FAC, 2021), presenta avances

conceptuales, pero carece aún de protocolos técnicos y legales específicos para la gestión integral de amenazas UAS hostiles. Este hallazgo resalta la necesidad de fortalecer el marco normativo nacional mediante la adopción de estándares internacionales y la definición de competencias interinstitucionales claras, garantizando un equilibrio entre eficacia operativa, legalidad y legitimidad (AAAES, 2024).

Los hallazgos técnicos y operativos demostraron que la integración actual de los sistemas C-UAS en la FAC presenta limitaciones estructurales asociadas a la fragmentación tecnológica, las brechas en interoperabilidad y los vacíos en la coordinación interinstitucional. La coexistencia de plataformas heterogéneas como Cerbair Hydra 200, Cerberos 2 y 3 y Dedrone Tracker AI C2, sin una arquitectura unificada de mando y control, restringe la capacidad de respuesta ante ataques múltiples o enjambres, dificultando la toma de decisiones en tiempo real (JAPCC, 2021). Adicionalmente, se identificaron vulnerabilidades cibernéticas y deficiencias en el flujo de información entre la FAC, la Fuerza Pública y la Aeronáutica Civil, aspectos que pueden comprometer la eficacia de las operaciones conjuntas. En consecuencia, la integración operativa requiere de un enfoque sistémico que combine interoperabilidad tecnológica, coordinación institucional y resiliencia cibernética, alineado con los lineamientos internacionales de defensa aérea integrada (JAPCC, 2021; Department of the Army, 2023).

A partir de los resultados obtenidos, se identifican diversas líneas de investigación que pueden fortalecer el desarrollo doctrinal y estratégico de la defensa nacional frente a amenazas emergentes. En el ámbito de políticas y modelos en seguridad y defensa, se propone estudiar la incorporación de capacidades C-UAS dentro de los marcos normativos y de planeación del poder aéreo, espacial y ciberespacial. Desde la perspectiva de estrategia, geopolítica y seguridad hemisférica, se plantea analizar la cooperación multinacional y la interoperabilidad con aliados de la OTAN y de la región.

En el campo de la educación militar, liderazgo y doctrina, resulta pertinente profundizar en la formación del talento humano para operaciones multidominio y el desarrollo doctrinal C-UAS en la FAC. Asimismo, la línea de desarrollo científico, tecnológico y ambiental puede impulsar la investigación en inteligencia artificial defensiva, sensores sostenibles y protección del entorno frente al uso indiscriminado de drones.

Finalmente, se proyectan estudios en prospectiva de las Fuerzas Militares e inteligencia estratégica, orientados a anticipar tendencias tecnológicas, fortalecer la seguridad digital y consolidar la autonomía tecnológica nacional como componente esencial del poder aéreo y espacial de Colombia.

5. Recomendaciones

El desarrollo del presente estudio permitió evidenciar que la integración doctrinal, tecnológica y operacional de los sistemas C-UAS en la Fuerza Aeroespacial Colombiana debe consolidarse desde una perspectiva de implementación práctica y sostenible, más allá de la conceptualización estratégica expuesta en los lineamientos propuestos. En tal sentido, las siguientes recomendaciones constituyen aportes aplicables para orientar la ejecución gradual y coherente de dichas estrategias en escenarios reales.

5.1 Fortalecer la gestión del conocimiento y la interoperabilidad interinstitucional.

Se recomienda establecer un sistema continuo de intercambio de lecciones aprendidas y prácticas exitosas entre las unidades de defensa aérea, inteligencia y ciberdefensa de la FAC, en coordinación con la Fuerza Pública. Este enfoque colaborativo permitirá mejorar la conciencia situacional multidominio y la interoperabilidad doctrinal, alineándose con los principios establecidos en la doctrina aliada AJP-3.3.5 (MOD UK, 2024) y con las recomendaciones del Joint Air Power Competence Centre (JAPCC, 2021).

5.2 Implementar un programa progresivo de adiestramiento especializado en C-UAS.

Se propone desarrollar un plan de instrucción basado en escenarios reales de amenazas asimétricas, que integre simulación táctica y análisis de respuesta ante UAS hostiles. Este entrenamiento debe articularse con los manuales doctrinales nacionales de la FAC, garantizando que el personal operacional adquiera competencias técnicas y analíticas compatibles con las mejores prácticas internacionales en defensa aérea y

cibernética. Este enfoque exige también una formación del personal en la cual los aspectos éticos queden garantizados, de manera que la interacción con las tecnologías de operación quedara optimizada (Joel & Cols, 2024).

5.3 Consolidar un marco normativo y técnico unificado para la defensa de infraestructura crítica.

Dada la dispersión actual de políticas y manuales técnicos, se recomienda crear un documento guía C-UAS institucional, que integre las orientaciones del Department of the Army (2023) y el Homeland Security (2020) adaptadas al contexto colombiano. Este marco debe contemplar la protección integral de unidades militares aéreas, sistemas de mando y control, y activos tecnológicos estratégicos del Poder Aéreo, Espacial y Ciberespacial (PAEC).

5.4 Impulsar la investigación aplicada y la modernización tecnológica nacional.

Es prioritario promover alianzas entre la FAC, universidades y centros tecnológicos nacionales para el desarrollo de soluciones de detección, interferencia y neutralización autónoma de UAS. La incorporación de inteligencia artificial y análisis de datos en tiempo real, como lo plantea el (JAPCC, 2021), fortalecerá la capacidad nacional para responder ante amenazas emergentes con independencia tecnológica y sostenibilidad presupuestal.

5.5 Integrar los sistemas C-UAS en el planeamiento operacional conjunto y combinado.

Las capacidades C-UAS deben incorporarse como componentes permanentes del Sistema Integrado de Defensa Aérea y Espacial (SIDAE), permitiendo la planificación anticipada de respuestas coordinadas ante incursiones hostiles. Esta integración operacional facilitará la interoperabilidad con socios internacionales bajo los estándares doctrinales aliados y fortalecerá la legitimidad de la defensa nacional frente a actores irregulares.

5.6 Desarrollar una hoja de ruta para la implementación de los lineamientos estratégicos.

Finalmente, se recomienda estructurar una ruta institucional de aplicación por fases, que priorice: (1) diagnóstico técnico-operativo, (2) fortalecimiento doctrinal, (3) adquisición y adaptación de tecnología, y (4) validación operacional mediante ejercicios conjuntos. Esta hoja de ruta permitirá pasar del ámbito estratégico a la ejecución efectiva, garantizando coherencia entre los objetivos institucionales y las capacidades reales de la Fuerza.

6. Referencias bibliográficas

AAAES. “GUÍA SISTEMAS CONTRA UAS (C-UAS).” Autoridad Aeronáutica Aviación de Estado, Fuerza Aérea Colombiana, May 2024, www.aaes.fac.mil.co/sites/aaes/files/documentos%20aaaes/guia_sistemas_contra_uas_c-uas_2024.pdf.

ACRE. “Sistema Antidrones Cerbair Hydra.” Grupo ACRE - España, 18 Mar. 2025, www.grupoacre.es/catalogo-productos/sistema-antidrones-cerbair-hydra/.

Bonilla, Laura. “Drones de Guerra: Así Operan Los Grupos Colombianos La Nueva Arma Que Siembra Terror.”, El Espectador, 24 Apr. 2025, www.elespectador.com/colombia-20/analistas/ataques-con-drones-asi-usan-disidencias-de-farc-eln-y-clan-del-golfo-la-nueva-arma-de-guerra/.

Buitrago, Loren Sofía. “Van 75 Ataques Con Drones En 2025: Este Es El Balance Del Arma Usada Por Grupos Armados Ilegales Para Sembrar Terror.” El Colombiano, 26 May 2025, www.elcolombiano.com/colombia/ataques-con-drones-en-colombia-2025-FB27516366.

Buschschlüter, Vanessa. “Drones Laden with Explosives Kills Three Colombian Soldiers.” *BBC News*, 13 Aug. 2025, www.bbc.com/news/articles/cwypn46k115o.

Castrillo & Cols. “A Review of Counter-UAS Technologies for Cooperative Defensive Teams of Drones.” *Drones*, vol. 6, no. 3, 1 Mar. 2022, p. 65, <https://doi.org/10.3390/drones6030065>.

CETAD. (2024). *Sistemas Cerberos 2 y 3: Características y adaptación para la defensa aérea en Colombia*. Centro Tecnológico de Defensa, Ministerio de Defensa Nacional de Colombia. <https://www.cetad.mindefensa.gov.co/sistemas-cerberos-2-3>

Dedrone. “DedroneTracker.AI Es El Software de Detección de Drones Líder En El Mundo.” Dedrone.com, 2025, es.dedrone.com/products/drone-detection-software.

Department of the Army, Headquarters. Counter-Unmanned Aircraft System (C-UAS). Aug. 2023. <https://irp.fas.org/doddir/army/atp3-01-81.pdf>

El Nacional. “Colombia: Los Ataques Con Drones Afectan Cada Vez Más a Los Civiles.” EL NACIONAL, 7 Mar. 2025, www.elnacional.com/2025/03/colombia-los-ataques-con-drones-afectan-cada-vez-mas-a-los-civiles/.

Falah, Natalia. “The Rise of Kamikaze Drones Shifts Dynamics in Colombia’s Armed Conflict.” Colombia One: News from Colombia and the World, 22 May 2025, colombiaone.com/2025/05/22/colombia-kamikaze-drones-suicide-guerrilla-armed-conflict/.

France 24. “Los Observadores - Drones: Una Nueva Amenaza En El Conflicto Armado En Colombia.” France 24, FRANCE 24, 3 July 2025, www.france24.com/es/programas/los-observadores/20250703-drones-una-nueva-amenaza-en-el-conflicto-armado-en-colombia.

Fuerza Aérea Colombiana. (2020). Manual de doctrina básica aérea, espacial y ciberespacial (FAC-0-B DBAEC) (5. a ed.) [Manual en PDF]. Ministerio de Defensa Nacional, Fuerza Aérea Colombiana. https://www.fac.mil.co/sites/default/files/linktransparencia/Planeacion/Manuales/manual_de_doctrina_basica_aerea_espacial_y_ciberespacial_fac-0-b_dbaec_2020.pdf

Fuerza Aérea Colombiana. (2021). *Estrategia para el Desarrollo Aéreo y Espacial (EDAES)* [PDF]. Ministerio de Defensa Nacional, Fuerza Aérea Colombiana. <https://www.fac.mil.co/sites/default/files/2021-04/edaes.pdf>

Fuerza Aeroespacial Colombiana. (2025). *Presupuesto de inversión proyectos FAC 2025* [PDF]. https://www.fac.mil.co/sites/default/files/linktransparencia/Planeacion/proyectos/proyectos2025/presupuesto_fac_inversion_2025.pdf

González, Daniella Mazo. “Una Guerra Diaria Desde El Cielo, Esta Es La Cifra de Ataques Con Drones En El Suroccidente Colombiano.” Infobae, 15 July 2025, www.infobae.com/colombia/2025/07/15/una-guerra-diaria-desde-el-cielo-esta-es-la-cifra-de-ataques-con-drones-en-el-suroccidente-colombiano/.

Hernández-Sampieri & Cols (2022). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta* (7.a ed.). Ciudad de México: McGraw-Hill Education.

Hide, Steve. “Drone Attacks Increasingly Affect Civilians in Colombia’s Conflict - Latin America Reports.” Latin America Reports, 5 Mar. 2025, latinamericareports.com/drone-attacks-increasingly-affect-civilians-in-colombias-conflict/10839/.

Homeland Security. (2020). Counter-Unmanned Aircraft Systems (C-UAS) Technology Guide. Washington, DC: DHS. https://www.dhs.gov/sites/default/files/publications/c-uas-tech-guide_final_28feb2020.pdf

Joel & Cols. “Advancing the U.S. Army’s Counter-UAS Mission Command Systems to Keep Pace with Modern Warfare.” *MILITARY REVIEW*, vol. 100, 2024, <https://www.armyupress.army.mil/Portals/7/military-review/Archives/English/May-June-2024/MJ-24-Modern-Warfare/MJ-24-Counter-UAS-Mission-Command-Modern-Warfare-UA.pdf>

Joint Air Power Competence Centre. (2021). A comprehensive approach to countering unmanned aircraft systems. Kalkar, Germany: NATO Centre of Excellence – JAPCC. <https://www.japcc.org>

MDN. “Política de Seguridad, Defensa Y Convivencia Ciudadana. Garantías Para La Vida Y Paz 2022-2026.” *Mindefensa.gov.co*, 2025, www.mindefensa.gov.co/cache/9ed3/content/Pol%C3%ADtica%20de%20Seguridad%20Defensa%20y%20Convivencia%20Ciudadana-5295010000147821.pdf.

MOD UK. “Allied Joint Doctrine for Airspace Control (AJP-3.3.5).” Feb. 2024, https://assets.publishing.service.gov.uk/media/65eb0ff562ff489bab87b366/AJP_3_3_5_EdC_Airspace.pdf.

NQ DEFENSE. “Protegiendo Los Cielos de Colombia Con Sistemas C-UAS.” *NQDefense*, 23 Oct. 2024, www.nqdefense.com/es/protegiendo-los-cielos-de-colombia-con-sistemas-c-uas/.

Page & Cols (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *PLOS Medicine*, 18(3), Article e1003583. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1003583>

Porras & Cols. “Inteligencia Militar En Colombia: Equipos, Tecnología Y Sistemas Del Ejército Nacional Para El Periodo 2019 -2020.” *Inteligencia Estratégica*, vol. 1, no. 1, 2024, pp. 55–76.

Patiño, Juan Pablo. “Así Es Como Las Disidencias Han Perfeccionado Los Ataques Con Drones, ¿El Gobierno Está Preparado? | El Colombiano.” *El Colombiano*, 20 Apr. 2025, www.elcolombiano.com/colombia/disidencias-han-perfeccionado-los-ataques-con-drones-PC27168575. Accessed 20 Oct. 2025.

Romero, Juan. “Grupos Armados Ilegales Intensifican El Uso de Drones En Ataques En Colombia: Ha Habido Más de 60 Casos.” *Infobae*, 20 Apr. 2025,

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”
Bogotá D.C., Colombia

www.infobae.com/colombia/2025/04/20/grupos-armados-ilegales-intensifican-el-uso-de-drones-en-ataques-en-colombia-ha-habido-mas-de-60-casos/.

Saumeth, Erich. “Colombia Reporta Más de 250 Ataques Terroristas Con Drones.” Infodefensa - Noticias de Defensa, Industria, Seguridad, Armamento, Ejércitos Y Tecnología de La Defensa, Revista Defensa InfoDefensa, 23 Apr. 2025, www.infodefensa.com/texto-diario/mostrar/5260395/060-colombia-colombia-reporta-250-ataques-drones-parte-farc-eln.

Razzaq, Noor. “International Military Approaches to Counter-UAS: A Global Perspective - Autonomy Global.” *Autonomy Global* -, 2 Jan. 2025, www.autonomyglobal.co/international-military-approaches-to-counter-uas-a-global-perspective/.

U.S. Department of Homeland Security. (2020). *Counter-Unmanned Aircraft Systems (C-UAS) Technology Guide*. Washington, DC: Author. https://www.dhs.gov/sites/default/files/publications/c-uas-tech-guide_final_28feb2020.pdf

Vera, Tania Peña. “Etapas Del Análisis de La Información Documental.” *Revista Interamericana de Bibliotecología*, vol. 45, no. 3, 31 Aug. 2022, pp. e340545–e340545, revistas.udea.edu.co/index.php/RIB/article/view/340545, <https://doi.org/10.17533/udea.rib.v45n3e340545>.

Ziemer, Henry. “Illicit Innovation: Latin America Is Not Prepared to Fight Criminal Drones.” Csis.org, 2025, www.csis.org/analysis/illicit-innovation-latin-america-not-prepared-to-fight-criminal-drones.