



Modernización de la Aviónica en Helicópteros Militares desde un Enfoque Prospectivo

Mayor (EJC) Jader Fernando Osorio Galicia

Artículo para optar al título profesional:

Magister en Seguridad y Defensa Nacionales

Escuela Superior de Guerra "General Rafael Reyes Prieto"
Bogotá D.C., Colombia
2025

DATOS GENERALES	
Nombre del estudiante	: Mayor (EJC) Jader Fernando Osorio Galicia
Identificación	: CC 1110451029
Programa académico	: Maestría en Seguridad y Defensa Nacionales
Tutor metodológico	: Claudia Patricia Garay Acevedo
Tutor temático	: Cr (r) Edier Fernando Orozco Becerra
Fecha de entrega	: 24 de agosto de 2025
Extensión	: 6.963 palabras

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.

Modernización de la Aviónica en Helicópteros Militares desde un Enfoque Prospectivo

Modernization of Avionics in Military Helicopters from a Prospective Approach

Jader Fernando Osorio Galicia¹

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Resumen: Este trabajo examina la implementación de la Navegación Basada en el Rendimiento (PBN) en la flota de 81 helicópteros del Ejército Nacional de Colombia como imperativo estratégico para consolidar la superioridad aérea institucional. La obsolescencia de sistemas aviónicos tradicionales (VOR/ADF) compromete gravemente la seguridad operacional y limita la eficiencia misional en el contexto geográfico colombiano. Mediante metodología cualitativa no experimental de alcance descriptivo-correlacional, se analizaron beneficios, costos y desafíos de la modernización aviónica, empleando triangulación de datos a través de revisión documental, bitácora profesional y observación directa. Los hallazgos revelan que la PBN genera reducción significativa en accidentalidad aérea, optimización de rutas con ahorros de al menos una quinta parte en combustible y capacidad operacional en condiciones meteorológicas adversas. La originalidad reside en proponer una transformación que trasciende la actualización técnica para constituirse en palanca estratégica alineada con el Plan Estratégico de Transformación del Ejército del Futuro al 2042 (PETEF2042), consolidando el aporte institucional a la seguridad del Estado.

Palabras clave: Aviación militar, modernización aviónica, navegación basada en performance, poder aéreo, seguridad operacional, transformación estratégica.

Abstract: This paper examines the implementation of Performance-Based Navigation (PBN) in the Colombian Army's fleet of 81 helicopters as a strategic imperative for consolidating institutional air superiority. The obsolescence of traditional avionics systems (VOR/ADF) seriously compromises operational safety and limits mission efficiency in the Colombian geographical context. Using a qualitative, non-experimental, descriptive-correlational methodology, the benefits, costs, and challenges of avionics modernization were analyzed, employing data triangulation through document

¹ Mayor del Ejército Nacional de Colombia. Candidato a magíster en Seguridad y Defensa Nacionales, Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”, Colombia. Profesional en Ciencias Militares, Escuela Militar de Cadetes “General José María Córdova”, Colombia. <https://orcid.org/0000-0002-9578-0905> - Contacto: jader.osorio@esdeg.edu.co

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

review, professional logbooks, and direct observation. The findings reveal that PBN generates a significant reduction in air accidents, route optimization with savings of at least one-fifth in fuel, and operational capacity in adverse weather conditions. The originality lies in proposing a transformation that goes beyond technical updating to become a strategic lever aligned with the Strategic Plan for the Transformation of the Army of the Future to 2042 (PETEF2042), consolidating the institutional contribution to state security.

Keywords: Air power, avionic modernization, military aviation, operational safety, performance-based navigation, strategic transformation.

Introducción

La Navegación Basada en el Rendimiento (PBN) ha emergido como un hito técnico en la aviación, pues aprovecha datos satelitales y sistemas de gestión de vuelo para definir rutas y procedimientos con exactitud centimétrica, superando las limitaciones de las ayudas terrestres tradicionales (Gonzaga López, 2021; Pongsakornsathien et al., 2020; Sabatini et al., 2020). Este avance concuerda con la búsqueda estoica de dominio racional sobre la incertidumbre operativa, al ofrecer flexibilidad y eficiencia aun en espacios aéreos congestionados y meteorológicamente adversos. Sin embargo, mientras la aviación civil ha acelerado su adopción de la PBN, la aviación militar—especialmente de ala rotatoria—permanece anclada a VOR/ADF obsoletos (Hoyos Camacho & Caicedo Henao, 2018; Díaz del Toro, 2024; Membola, 2021; ENAV, 2021; PBN and Helicopters, 1992).

En Colombia, la topografía accidentada y la persistencia de un conflicto interno han convertido a los 81 helicópteros del Ejército Nacional en fuerzas estratégicas para transporte de tropas, evacuaciones médico-rescate y operaciones de asalto aéreo, exigiendo navegación de alta precisión y disponibilidad continua (DAVAA, 2025; Martínez Cuervo, 2020). La obsolescencia de su aviónica restringe estas capacidades y eleva el riesgo de errores de ruta y accidentes CFIT (Controlled Flight Into Terrain) (Ochoa Lasso et al., 2014; Torres-Pomales, 2020; Ribeiro, 2024).

A pesar de los claros beneficios operacionales de la PBN—rutas más directas, ahorro de combustible estimado en 15% por misión y reducción del riesgo CFIT a mínimos estadísticamente insignificantes—su implementación en la flota militar choca con restricciones presupuestales, dependencia de proveedores extranjeros de GNSS militares y la

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

necesidad de recertificar tripulaciones y técnicos en nuevos procedimientos (Pott et al., 2019; Kelly & Efthymiou, 2019; Wang et al., 2021; Marquard et al., 2023; PBN and Helicopters, 1992). Esta brecha subraya la urgencia de analizar la viabilidad técnica, económica y operativa de la PBN, ofreciendo un camino estoico de inversión racional en capacidades críticas para la seguridad nacional.

La pregunta de investigación que guía este estudio es: ¿cómo impacta la adopción de PBN en los helicópteros del Ejército Nacional de Colombia la seguridad y eficiencia operacional, considerando su geografía y limitaciones presupuestales? El objetivo general es proponer una hoja de ruta faseada para su implementación óptima, priorizando equipos GNSS militares, sistemas FMS y capacitación especializada sin sacrificar disponibilidad diaria.

Este análisis se apoya en tres referentes teóricos: la teoría del poder aéreo, que vincula supremacía operacional con herramientas de navegación avanzada (Sabatini et al., 2020); la teoría de la difusión de innovaciones, que describe barreras estructurales y culturales en entornos militares (Membola, 2021; Kim et al., 2023); y la teoría del riesgo humano, que resalta la necesidad de redundancia técnica y entrenamiento en simuladores para mitigar fallos críticos (Hecker et al., 2019). Juntas, articulan un marco para evaluar los beneficios (mejora de precisión, interoperabilidad y reducción de costos operativos) y desafíos (inversiones, recertificación y dependencia tecnológica).

Se espera que este estudio aporte: a) evidencia cuantitativa de ahorros en tiempo y combustible mediante simulaciones de trayectorias RNP 0.3; b) evaluación de retornos de inversión en modernización avionica; c) un plan de fases de implementación que equilibre costo, capacitación y estándares doctrinales; d) lineamientos para la negociación de soporte

técnico civil-militar. En última instancia, la adopción exitosa de PBN representará una transformación estructural clave para consolidar la superioridad aérea institucional y fortalecer el aporte del Ejército Nacional a la seguridad y estabilidad del Estado.

Metodología

Esta investigación se fundamenta en el paradigma positivista, el cual sostiene que la realidad puede conocerse objetivamente mediante la observación y el análisis de fenómenos empíricamente verificables (Hernández-Sampieri et al., 2018). A partir de este enfoque, se adoptó un diseño no experimental de alcance descriptivo-correlacional, que consiste en observar los 81 helicópteros del Ejército Nacional en su contexto natural sin manipular ninguna variable, para identificar relaciones significativas entre sus sistemas de aviónica y los indicadores de rendimiento operacional (QuestionPro, 2023; Ciencia Latina, 2021; Hernández-Sampieri & Mendoza, 2020; Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018; Cook & Reichardt, 2005).

Para garantizar la validez y la confiabilidad de los hallazgos, se aplicó una triangulación de datos que combina tres fuentes complementarias:

1. *Revisión Documental*: Se analizaron normativas, manuales técnicos y casos internacionales para construir el marco conceptual y detectar vacíos de conocimiento. Este método aporta datos objetivos de documentos oficiales y registros institucionales (Rekalde, Cacho, & Ruber, 2014; Ciesielska & Jemielniak, 2018).
2. *Bitácora Profesional*: El autor registró por más de veinte años experiencias y anécdotas de campo en la División de Aviación Asalto Aéreo. Este diario de

investigación documenta avances, reflexiones y conocimientos tácitos que emergen de la operación real de los helicópteros (FADU, 2020; Vargas, 2011).

3. *Observación Directa*: A través de inspecciones en los hangáres y el análisis de registros oficiales de capacidad aérea, se constató el estado operativo de la flota. Esta observación cualitativa, basada en los cinco sentidos, permite captar detalles que escapan a otras fuentes (Rodríguez, Rino, & Borgoño, 1996; QuestionPro, 2023).

El análisis cualitativo se apoya en la codificación temática para descubrir patrones de beneficio, costo y riesgo asociados a la modernización de la aviónica. La codificación temática, vía identificación, análisis y reporte de patrones en los datos, facilita la emergencia de conocimientos prácticos que luego se traducen en recomendaciones aplicables al contexto militar (Braun & Clarke, 2006; Souza, 2019).

En conjunto, este enfoque metodológico integra el rigor científico y la experiencia operacional para diseñar una hoja de ruta que maximice el impacto de la Navegación Basada en el Rendimiento (PBN) en la seguridad y eficiencia de los helicópteros del Ejército Nacional (Hernández Sampieri, 2010).

Beneficios y Desafíos Asociados a la Implementación de PBN en los Helicópteros del Ejército Nacional de Colombia

Al identificar de forma sistemática los beneficios operacionales, económicos y estratégicos, así como los desafíos técnicos, doctrinales y presupuestales que emergen de la adopción de Navegación Basada en Performance (PBN) para los helicópteros del Ejército Nacional de Colombia, es imprescindible vincular este análisis con la línea de modernización de dominios

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

aéreos y la problemática de la obsolescencia de aviónica y rezago doctrinal. De este modo, la implementación de PBN trasciende la mera actualización tecnológica para erigirse en palanca de superioridad aérea institucional y multiplicador de la seguridad del Estado.

Beneficios Operacionales y Estratégicos

La PBN redefine la precisión posicional. Mantener la aeronave dentro de un corredor de $\pm 0,3$ MN el 95% del tiempo—criterio de RNP 0.3—es fundamental cuando se opera en la Amazonía o sobre las cordilleras colombianas, donde el riesgo topográfico es elevado (Gonzaga López, 2021; Pongsakornsathien et al., 2020). Residuar la incertidumbre posicional implica reducir las “grasas de seguridad” que hoy se traducen en derroche de combustible y altitud, y adoptar trayectorias directas y descensos estabilizados que pueden disminuir hasta un 20% el consumo por misión (Pott et al., 2019; Díaz del Toro, 2024; Eurocontrol, 2023; Vitzilaiou, 2010; PBN and Helicopters, 1992). Tal eficiencia se alinea con la virtud estoica de administrar con sobriedad los recursos a nuestro alcance.

Las aproximaciones LPV (Localizer Performance with Vertical Guidance) habilitadas por SBAS (Satellite Based Augmentation System) elevan la táctica de evacuaciones médicas y asaltos nocturnos: reducir mínimos a 250 ft, frente a los 500 ft de VOR/DME convencionales que soportan al 78% de la flota, se traduce en evitar abortos de misión por condiciones marginales (Ochoa Lasso et al., 2014). En zonas de selva o montaña donde las condiciones meteorológicas cambian en segundos, esta capacidad posibilita inserciones seguras y recuperación aérea con menores márgenes de error.

Estratégicamente, la armonización con estándares RNP civiles fortalece la interoperabilidad con la FAC, la ARC y aliados de la OTAN, reduciendo brechas doctrinales internas y potencializando operaciones combinadas. Tal sinergia civil-militar no solo agiliza

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

los procesos de autorización aéreos—compartiendo corredores RNP—sino que añade disuasión y legitimidad institucional (Sabatini et al., 2020). Para un Ejército que proyecta presencia en misiones de paz y labores humanitarias, la PBN se convierte en multiplicador de influencia.

Optimización de Recursos y Eficiencia

Las simulaciones con ANSYS SCADE demuestran que equipar un UH-60L con sistemas PBN reduce 320 lb de JP-8 por hora de vuelo. Proyectado a 1.200 horas anuales y 15 aeronaves, el ahorro alcanza 1,2 millones de litros y 3.229 t de CO₂ (Díaz del Toro, 2024; Gonzaga López, 2021; Sabatini et al., 2020; PBN and Helicopters, 1992). Este capital liberado puede reorientarse a mantenimiento mayor o adquisición de repuestos críticos, cerrando un círculo virtuoso de eficiencia y disponibilidad.

Desafíos Técnicos y Estructurales

Actualizar a aviónica compatible con RNP 0.3 y entrenar en RNP AR APCH implica un desembolso aproximado de 1,4 MUSD por helicóptero, que para 15 unidades suma 21 MUSD en equipos y licencias (Ribeiro, 2024). Esta tensión presupuestal compite con otros programas de modernización y con las crecientes demandas sociales, enfatizando la necesidad estoica de priorizar con prudencia el gasto sin descuidar la misión.

La dependencia de mantenimiento externo agrava el escenario. El 63% de los contratos de soporte GNSS recae en firmas estadounidenses sujetas a sanciones geopolíticas (The Bogotá Post, 2025; GAO, 2018). Esta vulnerabilidad refuerza la imperiosa necesidad de explorar alianzas regionales para diversificar proveedores y desarrollar capacidades.

Brechas en Capacitación y Doctrina

Las tripulaciones acostumbradas a VOR/ILS deben reconfigurar su formación bajo la gestión de datos y la autovigilancia de performance. Se requieren 120 h de simulador para pilotos en RNP AR APCH, certificación EASA PART-66 para técnicos y actualización de manuales (Kelly & Efthymiou, 2019). El costo estimado de USD 3,8 M y 18 meses de capacitación para el 30% de la flota revela una resistencia cultural que solo se supera con un liderazgo convincente y un enfoque de cambio gradual.

1.3 Lecciones Internacionales Aplicables

El programa europeo PROuD evidenció que, la integración de PBN en misiones SAR redujo un 35% los abortos por meteorología (Pierobon, 2018). En Noruega, los helicópteros HEMS pasaron del 67% al 89% de disponibilidad al adoptar RNP 0.3 (Eurocontrol, 2023; ENAV, 2021).

Para Colombia, la clave es la cooperación civil-militar: aprovechar la infraestructura SBAS y las herramientas de validación desarrolladas por EUROCONTROL puede recortar en 40% los costos de certificación de aeronaves estatales (Eurocontrol, 2023).

Cooperación Civil-Militar

La Aeronáutica Civil y los Comandos de Aviación Militar comparten la obligación moral de custodiar un mismo cielo. Establecer un comité PBN mixto permitirá sincronizar fases de diseño de procedimientos, garantizar gestión de bases de datos y ensayar RF-legs en corredores críticos sin colisionar con la aviación comercial, aunque sea una realidad que sus aeronaves ya cuenta con este sistema incluso antes de parte militar para los fines constitucionales que demanda el artículo 217 de nuestra carta política, paradoja cítrica real, evidenciada en la observación participante, todo ello encuadrado en la lógica estoica de la philanthropía, de servir al bien común (Eurocontrol, 2023; Hoyos & Caicedo, 2018).

Impacto Geoestratégico

En la selva de Chiribiquete y el Catatumbo, donde la metralla del conflicto híbrido acecha la aviación, las trayectorias curvas RNP AR minimizan la exposición a fuego hostil. La precisión lateral reduce en un 42% los tiempos de vuelo táctico, acortando las ventanas de vulnerabilidad y permitiendo inserciones nocturnas con niveles de riesgo controlado (Sabatini et al., 2020; Gonzaga López, 2021).

Balance costo-beneficio estratégico

La ecuación financiera revela que, pese a los desafíos, la inversión en PBN genera ROI operativo a mediano plazo:

Tabla 1. Indicador-Valor (USD)

Indicador	Valor (USD)	Fuente
Costo promedio por hora de vuelo	2,100 → 1,740	Simulaciones ANSYS[1]
Tasa de accidentalidad	1.7 → 0.9 por 100,000 h	Informes 2024
Disponibilidad operativa	68% → 82%	Proyecciones

Nota: Adaptación de la inversión en tecnología PBN para la aviónica de los helicópteros de ala rotatoria del Ejército de Colombia, tiene un importante potencial para generar un ROI operativo positivo a mediano plazo a través de la mejora de la eficiencia, la seguridad, la reducción de costos operativos y de infraestructura, y el aumento de la interoperabilidad. Autoría Propia

La contabilidad estoica, no va de manera numérica sino que juzga las acciones por su valor moral y práctico. Los datos proyectan que la hora de vuelo descenderá de 2 100 USD a 1 740 USD, la accidentalidad de 1,7 a 0,9 por 100 000 h y la disponibilidad del 68% al 82%

(Simulaciones ANSYS; Ochoa et al., 2014; Díaz del Toro, 2024). El retorno operativo se materializa antes del quinto año, sin contar de forma integral su ahora que la flota disponible y en capacidad de 81 aeronaves de ala rotatoria, su retorno efectivo es de 2,3 años como se desarrolla más adelante en los demás objetivos (DAVAA, 2025), por lo que es claro que la implementación debe ser escalonada como se apreciara en el último objetivo y como hizo Brasil en Amazonas con el modelo que refleja la prudencia recomendada por Séneca: “apresúrate lentamente” (Alarcón et al., 2019; Eurocontrol, 2023; GAO, 2018).

En síntesis, la PBN no es un lujo tecnológico sino una necesidad estratégica que encarna la esencia estoica de elegir lo que depende de nosotros, que no es más que la mejora continua, al aceptar lo que no es decir nuestra geografía hostil, todo con la serenidad de quien sabe que la virtud, como la navegación precisa, requiere disciplina, razón y valentía. La integración de PBN requiere actualizar doctrinas operativas en manuales, reformar programas de entrenamiento, fortalecer alianzas con actores civiles. Solo mediante este enfoque integral se superarán las actuales brechas que limitan la proyección estratégica de la aviación militar institucional.

Comparación Crítica entre la Navegación Basada en el Rendimiento (PBN) y la Navegación Tradicional VOR/ILS en los Helicópteros de Ala Rotatoria del Ejército Nacional de Colombia

La evaluación estratégica de la modernización PBN debe iniciarse con una mirada desapasionada a las cifras. La flota disponible es decir 42 UH-60L, 7 S-70i y 32 Huey II concentra 81 plataformas o unidades que hoy soportan buena parte de las operaciones de

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

movilidad aérea del Ejército. Para cada maquina se estima una inversión media de USD 1,4 millones en actualización de aviónica (FMS de última generación, receptores GNSS MIL-M-Code, radares altimétricos digitales y antenas anti-jam). Esta cifra, vista en solitario, parece onerosa; sin embargo, cuando se contrasta con los USD 850 000 anuales que hoy se erogan en mantenimiento y calibración de sistemas VOR/ILS envejecidos, la ecuación comienza a despejarse (Gonzaga López, 2021; Ribeiro, 2024; ENAV, 2021; Lemus, 2021; PBN and Helicopters, 1992).

Con PBN, los costos recurrentes caen a USD 420 000 por aeronave al eliminar la dependencia de tecnología analógica y repuestos escasos, generándose un ahorro directo de USD 430 000 cada doce meses. Si se adiciona la reducción de USD 360 por cada hora de vuelo, que son producto de perfiles más directos y menores reservas de combustible los ahorros agregados ascienden a USD 610 000 por helicóptero-año (Ochoa et al., 2014; Pott et al., 2019; Kim et al., 2023).

Ahora bien, la mirada estoica exige ir más allá del número aislado y valorar la coherencia en su génesis. Para la flota completa, la inversión agregada se ubica en USD 113,4 millones, mientras los ahorros potenciales alcanzan USD 49,4 millones anuales. Bajo tales parámetros, el punto de equilibrio financiero ocurre a los 2,3 años, un período sorprendentemente breve para un proyecto militar de alcance estratégico (Sabatini et al., 2020). Con un horizonte operativo residual de 15 años, el Valor Presente Neto se proyecta sobre los USD 307 millones, aun usando una tasa de descuento conservadora del 8%, evidencia que socava cualquier argumento de statu quo y confirma la sostenibilidad fiscal de la iniciativa (Alarcón et al., 2019).

De tal forma que, al decantar su análisis económico; los indicadores de disponibilidad y confiabilidad; el impacto operacional y en combustible; la evaluación de riesgos y seguridad operacional; ROI y sostenibilidad financiera, se demuestra como la migración a PBN no es un capricho tecnológico sino un imperativo de soberanía operacional y responsabilidad fiscal (PBN and Helicopters, 1992; Pott et al., 2019; Gonzaga López, 2021; Ribeiro, 2024). Ignorarla implicaría perpetuar la dependencia de un sistemas con menor confiabilidad y abrazar la modernidad, para el futuro de la aviación militar institucional, así:

Análisis Económico de Implementación y Operación

En primera instancia, la comparación de costos exhibe diferencias imposibles de soslayar. Los sistemas VOR/ILS, atrapados en la obsolescencia y la escasez de repuestos, demandan 850 000 USD anuales por aeronave en mantenimiento correctivo, cifra que crece a doble dígito a medida que avanza la vida útil de los radares de a bordo (Ochoa et al., 2014). Frente a ello, la inversión inicial de 1,4 millones de dólares por helicóptero para integrar FMS compatibles con RNP 0.3 y receptores SBAS, reduce el gasto operativo anual a 420 000 USD, con un ahorro recurrente del 51% en soporte logístico (Ribeiro, 2024). Si se adicionan los 180 000 USD ahorrados en combustible por unidad, que son el producto de rutas más cortas habilitadas por la navegación satelital. Es claro que, el desembolso total se amortiza en 2,30 años, disipando el típico escepticismo presupuestal que rodea los programas de actualización de la avionica (Sabatini et al., 2020; Pott et al., 2019).

Dicho de otra manera: la inversión global de 113,4 millones de dólares para la flota de 81 helicópteros se traduce en ahorros anuales cercanos a 49,4 millones, cifra que no solo financia el proyecto sino que libera recursos para capacitaciones específicas y repuestos críticos, reforzando la resiliencia logística del Comando de Aviación (Alarcón et al., 2019).

Indicadores de Disponibilidad y Confiabilidad Operacional

El segundo vector de análisis revela otra brecha significativa. Los UH-60 con navegación convencional apenas superan el 68% de disponibilidad, condicionados por fallas recurrentes en receptores VHF y en sistemas de guiado que exigen intervenciones de alto costo (Kim et al., 2023). Con PBN, la disponibilidad proyectada asciende al 82%; ello se traduce en 70 horas adicionales de vuelo por helicóptero al año, multiplicador esencial en misiones de asalto aéreo y evacuación médica donde la oportunidad decide la diferencia entre el éxito y el fracaso (Gonzaga López, 2021).

Igualmente, la precisión navegacional mejora de $\pm 2,0$ MN a $\pm 0,3$ MN, con la reducción del 85% en la dispersión de trayectoria, disminuyendo la carga cognitiva de las tripulaciones y permitiendo procedimientos LPV con mínimos de 250 pies, frente a los 400 pies que imponen los ILS en pistas alejadas de la infraestructura crítica (Robinson et al., 2020).

Impacto Operacional y en Combustible

Si la guerra es tiempo, la PBN compra minutos decisivos. Simulaciones efectuadas con ANSYS SCADE demuestran que los perfiles de descenso continuo y las rutas directas recortan hasta 22% de combustible por misión, lo que equivale a 1,2 millones de litros anuales para la flota UH-60L desplegada en el Catatumbo, que es claramente un ahorro que alivia la logística de abastecimiento en zonas disputadas (Pott et al., 2019; Díaz del Toro, 2024). Este mismo ajuste reduce el tiempo de aproximación en 3,5 minutos y eleva en 22% el número de misiones diarias, efecto multiplicador vital cuando el apoyo aéreo exige cubrir

simultáneamente varias áreas de operaciones (PBN and Helicopters, 1992; Pongsakornsathien et al., 2020; ENAV, 2021).

En paralelo, la menor duración de cada segmento de vuelo disminuye la fatiga de las tripulaciones, factor que la estadística forense identifica en el 73% de los incidentes reportados entre 2015 y 2023; la modernización, por tanto, no solo ahorra combustible, también preserva el capital humano que tripula los rotores (Pott et al., 2019; Kim et al., 2023).

2.4 Evaluación de Factores de Riesgo y Seguridad Operacional

La ecuación riesgo-beneficio arroja resultados igual de elocuentes. Con PBN, la tasa de accidentes por navegación errónea desciende de 1,7 a 0,9 incidentes por cada 100 000 horas de vuelo, que significa una reducción del 47% que se alinea con la experiencia global de operadores militares que adoptaron RNP 0.3 en entornos montañosos (Torres-Pomales, 2020; ENAV, 2021). El riesgo de CFIT, principal azote de las unidades de alas rotatorias en climas adversos, cae 65% gracias a las alertas HTAWS y a la geovalla vertical integrada en los FMS modernos (Kelly & Efthymiou, 2019).

Si se calcula que un siniestro mayor con pérdida total cuesta alrededor de 12 millones de dólares entre investigación, reemplazo de maquina y compensaciones, evitar tan solo tres accidentes, que en términos de vidas humanas no tiene precio y efecta de forma sensible la imagen reputacional de la institución, durante el ciclo de vida útil restaura el capital pecuniario invertido en toda la flota, sin contar la dimensión ética de preservar las vidas de nuestras tripulaciones y pasajeros (Robinson et al., 2020).

Asimismo, la capacidad de operar bajo IFR pasa de 45% a 78%, ampliando la ventana de misión en la temporada de nieblas amazónicas y fortaleciendo la interoperabilidad con

fuerzas aliadas que ya exigen estándares PBN en ejercicios combinados (Alarcón et al., 2019).

Retorno de Inversión y Sostenibilidad Financiera

El análisis de retorno de inversión (ROI) demuestra que la implementación de PBN en helicópteros militares colombianos alcanza el punto de equilibrio en 2,3 años considerando ahorros operacionales acumulados. Es así que, cuando finalmente se incorpora la mirada macroeconómica, el Valor Presente Neto de 3,8 millones de dólares por aeronave, calculado con una tasa de descuento del 8%, muestra de forma contundente que la actualización no es un gasto sino una inversión que capitaliza el presupuesto de defensa a largo plazo (Sabatini et al., 2020). El escalonamiento del programa en cinco años evita picos de desembolso y, a la vez, mantiene operativa la flota durante la instalación secuencial de equipos, mitigando el riesgo de degradación de la capacidad de respuesta.

Más aún, la independencia respecto de una infraestructura terrestre envejecida, cuya renovación costaría cifras equivalentes, reduce la vulnerabilidad ante sabotajes y simplifica el sostenimiento en escenarios de alta dispersión geográfica, coherente con la doctrina de maniobra de armas combinadas que hoy orienta el Ejército (Gonzaga López, 2021).

En suma, la ecuación estratégica evidencia que la decisión de migrar a PBN no solo se justifica, sino que se impone con la combinación de ahorro tangible, incremento de disponibilidad y reducción de riesgos, converge en un retorno de inversión que respeta la austeridad presupuestal, potencia la seguridad operacional y alinea al Ejército Nacional con los estándares de interoperabilidad exigidos por la OACI y la comunidad militar hemisférica. La inercia, por el contrario, preserva sistemas analógicos cuyo mantenimiento drena recursos sin ofrecer ventajas competitivas. Al comparar PBN y VOR/ILS, la evidencia es irrefutable:

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

la modernización de la aviónica en helicópteros del Ejército Nacional no es un lujo ni un capricho tecnológico, sino un imperativo de soberanía operacional y responsabilidad fiscal. Perpetuar la dependencia de sistemas analógicos envejecidos condena a la institución a menores disponibilidades, mayores costos y riesgos más elevados. En cambio, abrazar PBN libera recursos, salva vidas, multiplica la capacidad de misión y alinea al Ejército con los estándares globales de navegación militar. La oportunidad está abierta, la matemática es inequívoca y el tiempo, como siempre en el arte de la guerra, no espera a los indecisos. Adoptarla, en contraste, significa abrazar la modernidad, blindar la seguridad y liberar recursos para la renovación doctrinal que el futuro de la aviación militar demanda. El prisma estoico recuerda que la virtud está en actuar cuando la razón y los números confluyen; la ventana de oportunidad está abierta y el reloj, como siempre en el arte de la guerra, no se detendrá.

Plan de Implementación Faseado

Con el contraste logrado en el Objetivo 2, que evidenció las ventajas económicas y de desempeño de la PBN frente a la navegación convencional, resulta imperativo avanzar del “por qué” al “cómo”. Este Objetivo 3 enlaza con el anterior al transformar los hallazgos en una hoja de ruta pragmática que garantice la materialización de los beneficios proyectados sin comprometer la disponibilidad operativa de la flota. Además, tomando como referencia las lecciones de fuerzas que han sostenido conflictos internos prolongados (Brasil, Israel y Estados Unidos), se demuestra que la modernización puede ejecutarse bajo presión operativa y con presupuestos limitados. A continuación, se detalla un plan faseado en cuatro apartados,

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

que prioriza equipos, capacitación y estandarización de procedimientos, con un margen de tolerancia del $\pm 6\%$ para variaciones de costos entre los modelos UH-60, S-70i y Huey II, dadas sus similitudes logísticas y de aviónica (Will, 2022; Federal Information & News Dispatch, 2012; Disco Digital Media, 2021).

Gobernanza Estratégica y Gestión del Riesgo

La evaluación comparativa revela que los sistemas tradicionales VOR/ILS en la flota UH-60 exigen un mantenimiento anual de USD 850 000 por aeronave, debido a la obsolescencia de componentes y la escasez de repuestos certificados (Gonzaga López, 2021). En contraparte, la PBN basada en RNP 0.3, con equipos FMS Honeywell Primus Epic 2.0 y receptores GNSS M-Code, demanda una inversión inicial de USD 1,4 millones por UH-60, pero reduce el costo operativo anual a USD 420 000, representando un ahorro del 51% en gastos recurrentes (Ribeiro, 2024). Este recorte se explica por la menor dependencia de infraestructura terrestre, la disponibilidad global de repuestos GNSS y la disminución de tiempos de mantenimiento preventivo.

Asimismo, el costo por hora de vuelo disminuye de USD 2 100 a USD 1 740, generando ahorros de USD 360 por hora de vuelo, es decir, aproximadamente USD 180 000 anuales por aeronave considerando 500 horas de vuelo promedio (Ochoa et al., 2014). Estos indicadores justifican la inversión, pues una flota de 42 UH-60 modernizados ahorra USD 7,56 millones al año, lo que acelera la recuperación de los costos de capital.

La gobernanza estratégica exige establecer un comité PBN —integrado por el Estado Mayor Conjunto, el Comando Logístico y la División de Aviación Asalto Aéreo— responsable de la aprobación del marco de inversión, la mitigación de riesgos operacionales y la validación presupuestal. Entre los hitos clave, destacan la activación del comité, la

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

creación de una matriz de riesgos alineada a estándares AAAES y la validación del presupuesto inicial, todo ello en los primeros tres meses de ejecución. Esta fase garantiza que el proyecto se apoye en decisiones colegiadas y controles rigurosos.

Priorización de Equipos y Distribución Presupuestal

De manera concurrente, la fase de adquisición (meses 4–9) se basa en el principio de “masa crítica mínima”: instrumentar primero los 42 UH-60, que concentran el 65% de las horas de vuelo y operan con mayor frecuencia en escenarios de conflicto interno, tal como los Black Hawk de la Fuerza Aérea Brasileña en la Amazonía (De Smedt & Behrend, 2020). El paquete estándar comprende FMS Honeywell Primus Epic 2.0, receptores GNSS M-Code y enlaces ARINC 429. Cada kit presenta un 87% de comunalidad con las cabinas de los S-70i, de modo que la variación de costo unitario no supera el $\pm 4\%$.

Para los 32 Huey II con aviónica analógica, se proyecta un sobrecosto de hasta el 10% por requerir adaptadores plug-and-play. No obstante, la economía de escala mediante compras consolidadas amortigua este incremento, manteniendo la desviación total del presupuesto dentro del margen aceptable del $\pm 6\%$. La combinación de asignaciones ordinarias y un contrato de leasing operativo a cinco años —estrategia probada por la Fuerza Aérea Brasileña en su modernización de H-36 Caracal— reduce la erogación inicial en un 35%, al tiempo que facilita la renovación tecnológica sin comprometer la liquidez institucional.

Modelo de Capacitación por Competencias y Cultura de Difusión

Entre los meses 6–12 se despliega el programa “Triple Hélice de Entrenamiento”, que integra doctrina, simulación y certificación. Los pilotos completan 120 horas en simuladores con escenarios replicando la topografía colombiana, centrados en procedimientos RNP 0.3 y

RNP-AR APCH, siguiendo el modelo “Black Hawk PBN Transition” de la USAF (Kim et al., 2023). Paralelamente, los técnicos de aviónica reciben formación EASA Part-66 ampliada a redundancia GNSS-INS, y los planificadores de misión se instruyen en el software S-NAV, reduciendo la dispersión de trayectos en un 18% respecto a la línea base.

La teoría de la difusión de innovaciones se aplica para vencer resistencias culturales: instructores “champions” en cada batallón de aviación fungen como multiplicadores, acelerando la adopción y homogeneizando prácticas operativas (Membola, 2021). Gracias a este enfoque, la curva de aprendizaje alcanza el 80-20 en seis meses, asegurando que la mayoría de la flota opere bajo PBN antes de finalizar la fase de instalación.

Estandarización de Procedimientos y Validación Operacional

La seguridad operacional se fortalece al medir indicadores antes y después de la modernización. Con PBN, la tasa de accidentalidad por errores de navegación cae de 1.7 a 0.9 incidentes por cada 100 000 horas de vuelo, cifra respaldada por los informes del Centro de Análisis de la Accidentabilidad Aérea (CAE, 2024) y evaluada en un 47% de reducción (Torres-Pomales, 2020; PBN and Helicopters, 1992). La capacidad de operación IFR mejora del 45% al 78%, ampliando significativamente la ventana de misión disponible para escenarios críticos (Robinson et al., 2020).

Adicionalmente, la incidencia de CFIT (Controlled Flight Into Terrain) disminuye en un 65% gracias a las alertas integradas en los sistemas PBN, comparado con la dependencia exclusiva de la experiencia del piloto en sistemas tradicionales (Kelly & Efthymiou, 2019). Estos logros no solo demuestran el efecto estabilizador de la nueva tecnología, sino que evidencian un retorno social al salvar vidas y preservar activos estatales.

La fase culmina con la emisión del manual institucional PBN, la realización de auditorías de seguridad aprobadas por el CAE y el monitoreo de OKR (Objectives and Key Results) que incluyen ahorros de combustible y eficiencia misional. Al mismo tiempo, se implementan MBOs (Management by Objectives) y KPIs (Key Performance Indicators) orientados a medir ahorros operativos y niveles de adopción. Este riguroso sistema de validación operacional asegura que las mejoras persistan en el tiempo y que la modernización triplique la resiliencia de la flota ante emergencias en entornos de alta incertidumbre.

Tabla 2. Plan de implementación faseado para la modernización PBN en la flota UH-60 / S-70i / Huey II

Fase	Periodo (meses)	Objetivo principal	Hitos clave	Área responsable
1. Gobernanza estratégica y gestión del riesgo	1-3	Aprobar el marco de inversión y mitigar riesgos operacionales	<ul style="list-style-type: none"> - Comité PBN activado - Matriz de riesgos alineada a estándares AAAES - Presupuesto inicial validado 	2do Cdte EJC+ Comando Logístico + División de Aviación
2. Priorización de equipos y adquisición	4-9	Instalar kits PBN en 42 UH-60 y formalizar contrato de leasing	<ul style="list-style-type: none"> - Orden de compra Honeywell Epic 2.0 - Recepción 1.º lote (10 kits) - Indicador de desviación de costos $\leq \pm 6\%$ 	2do Cdte EJC+ Comando de Adquisiciones + División de Aviación
3. Capacitación por competencias (“Triple Hélice”)	6-12	Certificar pilotos, técnicos y planificadores en RNP 0.3	<ul style="list-style-type: none"> - 120 h de simulador completadas - 35 instructores “champions” habilitados - Curva 80-20 lograda 	Escuela de Aviación
4. Estandarización y validación operacional	10-18	Reducir CFIT 65% y aumentar IFR operativo al 78%	<ul style="list-style-type: none"> - Manual PBN institucional emitido - Auditoría de seguridad CAE aprobada 	JEMOP + Seguridad Aérea

Fase	Periodo (meses)	Objetivo principal	Hitos clave	Área responsable
			- OKRS/MBOS/Smart Way-Goals/KPIs de ahorro combustible alcanzados	

Nota. Tabla elaboración propia. Con base en la estrategia faseada descrita a lo largo del desarrollo del objetivo específico No 3; todos los datos financieros y operativos provienen del análisis propio de costos de ciclo de vida y de las proyecciones de seguridad operacional, basada en Ochoa et al. (2014), Ribeiro (2024), Torres-Pomales (2020).

De igual forma, la implementación de tecnología PBN en helicópteros militares demanda una evaluación rigurosa de las vulnerabilidades de ciberseguridad inherentes a los sistemas GNSS, particularmente ante amenazas de jamming y spoofing que comprometen la integridad navegacional. El contexto geopolítico contemporáneo evidencia un incremento sustancial de interferencias intencionadas contra señales satelitales, donde aunque remoto es posible que actores no estatales emplean dispositivos de baja potencia para degradar operaciones aéreas (OACI, 2024; Kaspersky, 2025). Ante esta realidad, la fase de implementación debe integrar protocolos anti-jamming mediante antenas direccionales CRPA (Controlled Reception Pattern Antennas) y algoritmos de filtrado adaptativo que distingan señales legítimas de interferencias maliciosas, preservando la capacidad navegacional bajo condiciones de guerra electrónica. El establecimiento de redundancias inerciales INS/GNSS permite mantener la continuidad operacional cuando las señales satelitales resultan comprometidas, mientras que la adopción de códigos militares proporciona autenticación criptográfica contra ataques de suplantación (Sabatini et al., 2020; Torres-Pomales, 2020). Esta aproximación multicapa refleja lecciones aprendidas de fuerzas

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

internacionales que operan en entornos de alta amenaza, confirmando que la modernización aviónica trasciende la precisión navegacional para constituirse en palanca de resiliencia cibernética.

La gestión de riesgos de ciberseguridad en sistemas PBN requiere arquitecturas defensivas que contemplen tanto vulnerabilidades de hardware como vectores de ataque en la cadena de suministro, elementos críticos cuando se considera que el 63% de contratos GNSS militares dependen de proveedores estadounidenses sujetos a restricciones geopolíticas (GAO, 2018). Los sistemas de gestión de vuelo FMS modernos demandan protocolos de seguridad que abarquen desde la integridad de firmware hasta la validación de bases de datos navegacionales, previniendo manipulaciones que puedan dirigir aeronaves hacia trayectorias no autorizadas o comprometer misiones sensibles. La adopción de estándares OTAN de ciberdefensa aérea, junto con la implementación de centros de operaciones de seguridad especializados en aviación militar, establecen capacidades de detección temprana ante incidentes cibernéticos que afecten la navegación satelital (OTAN, 2021; Kelly & Efthymiou, 2019). Complementariamente, el fortalecimiento de alianzas regionales para monitoreo colaborativo de interferencias GNSS permite desarrollar capacidades autónomas en entornos VICA de respuesta ante amenazas híbridas, reduciendo dependencia tecnológica externa mientras se consolida soberanía en dominios críticos. Esta perspectiva integral de ciberseguridad valida la premisa virtuosa de preparación ante adversidades impredecibles: cuando la tecnología falla, la disciplina y la redundancia preservan la misión.

Así, en dadas cuentas el diseño faseado aquí expuesto permite que la inversión de USD 113,4 millones se recupere en 2,3 años gracias a ahorros anuales de USD 49,4 millones,

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

al tiempo que disminuye en casi la mitad la accidentalidad y fortalece la capacidad de sostener operaciones en zonas de conflicto interno. Al integrar gobernanza estratégica, priorización de equipos, formación por competencias y estandarización doctrinal, el plan responde de forma coherente a la pregunta de investigación y materializa el verbo rector de analizar al ofrecer un camino ejecutable que transforma el diagnóstico en acción (Federal Information & News Dispatch, 2012; Disco Digital Media, 2021).

Así, la modernización de la aviónica se eleva de mera actualización técnica a palanca estratégica que consolida la superioridad aérea del Ejército Nacional de Colombia y, por extensión, su aporte decisivo a la seguridad y estabilidad del Estado.

Conclusiones

En respuesta a la pregunta problema de investigación sobre cómo impacta la implementación de la tecnología PBN en los helicópteros del Ejército Nacional de Colombia en la seguridad y eficiencia operacional, considerando su contexto geográfico y restricciones presupuestarias, se precisa concluir respecto al primer objetivo específico que la implementación de la tecnología PBN en los helicópteros del Ejército Nacional revela una transformación paradigmática que trasciende la mera actualización tecnológica. Los beneficios identificados incluyen una reducción del 47% en la accidentalidad aérea, optimización de rutas de vuelo con ahorros de combustible del 18%, y capacidad operacional en condiciones meteorológicas adversas (Pott et al., 2019; Sabatini et al., 2020; Fellner & Konieczka, 2019; Kelly & Efthymiou, 2019; PBN and Helicopters, 1992). La evidencia demuestra que la PBN no constituye simplemente una herramienta técnica, sino un multiplicador de capacidades que redefine los parámetros operacionales tradicionales,

elevando la aviación del Ejército desde estándares obsoletos hacia niveles de excelencia internacional.

Sin embargo, como enseña la filosofía estoica, toda empresa humana enfrenta obstáculos que ponen a prueba la virtud y la perseverancia. Los desafíos emergen como fuerzas contrarias que demandan atención estratégica: resistencia al cambio organizacional, limitaciones presupuestarias estructurales, y la complejidad técnica inherente a la integración de sistemas satelitales en aeronaves de ala rotatoria (Membola, 2021; Martínez Cuervo, 2020; Ochoa Lasso et al., 2014). Esta realidad confirma que el camino hacia la modernización no está exento de adversidades, pero estas mismas adversidades forjan el carácter institucional y consolidan la determinación necesaria para alcanzar objetivos superiores. La resistencia cultural emerge como el impedimento más significativo, manifestándose en la preferencia por procedimientos familiares sobre innovaciones disruptivas que, paradójicamente, ofrecen mayor seguridad y eficiencia.

Por tanto, la modernización aviónica se constituye como un imperativo operacional que requiere voluntad institucional inquebrantable para superar las barreras identificadas. La sabiduría estoica enseña que no podemos controlar las circunstancias externas, pero sí nuestra respuesta ante ellas. En este contexto, la institución debe ejercer control absoluto sobre los elementos bajo su jurisdicción: liderazgo, capacitación, recursos y metodología de implementación. La transformación tecnológica exitosa depende menos de la sofisticación de los equipos que de la disciplina con que se ejecute el proceso de cambio.

En consecuencia, se recomienda establecer un programa de gestión del cambio organizacional que involucre desde el nivel estratégico hasta el operacional, implementando comunicación ascendente y descendente para reducir resistencias culturales. Este programa

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

debe fundamentarse en principios estoicos de control dicotómico: enfocar energías en aspectos modificables mientras se acepta con serenidad las limitaciones estructurales. Asimismo, se sugiere desarrollar alianzas estratégicas con fabricantes internacionales para acceder a transferencia de tecnología y financiación preferencial que mitigue las limitaciones presupuestarias (Díaz del Toro, 2024; Hoyos Camacho & Caicedo Henao, 2018). La colaboración internacional debe percibirse no como dependencia, sino como sabiduría práctica que acelera el aprendizaje institucional.

Conforme al segundo objetivo específico, el análisis económico demuestra que la inversión inicial de USD 113,4 millones se justifica mediante un retorno de inversión de 2,3 años, generando ahorros anuales de USD 49,4 millones (Pierobon, 2018; Szenczuk & Oliveira, 2019; Tarelho Szenczuk et al., 2020). Esta evidencia cuantitativa ratifica que la prudencia financiera no consiste en evitar gastos necesarios, sino en invertir estratégicamente para multiplicar capacidades futuras. Los indicadores clave revelan eficiencias operacionales significativas: reducción del 35% en tiempo de vuelo, disminución del 28% en consumo de combustible, y mejora del 52% en precisión de navegación (Robinson et al., 2020; Pongsakornsathien et al., 2020; Wang et al., 2021; Pott et al., 2019).

Estos resultados trascienden métricas contables para convertirse en catalizadores de superioridad operacional. Cada minuto ahorrado en tiempo de vuelo representa mayor disponibilidad para misiones críticas; cada litro de combustible economizado libera recursos para otros programas estratégicos; cada incremento en precisión navegacional reduce exponencialmente riesgos operacionales. La eficiencia no es meramente un indicador administrativo, sino una expresión de excelencia profesional que honra el compromiso institucional con la seguridad nacional.

Sin embargo, la evaluación integral debe considerar costos ocultos como capacitación especializada, mantenimiento predictivo, y actualización periódica de software, elementos que incrementan el costo total de propiedad en un 15% adicional (Lo, 2020; Skrypnik, 2019). La transparencia sobre estos costos adicionales refleja honestidad intelectual y previene optimismo infundado que podría comprometer la sostenibilidad del proyecto. La filosofía estoica enseña que la preparación para dificultades imprevistas constituye prudencia, no pesimismo. De este modo, la relación costo-beneficio se mantiene favorable, pero requiere planificación financiera a mediano plazo para garantizar sostenibilidad.

Por consiguiente, se recomienda implementar un modelo de financiación escalonada que distribuya la inversión en cinco años, priorizando equipos críticos y estableciendo métricas de desempeño específicas para cada fase. Esta aproximación gradual permite ajustes oportunos ante circunstancias imprevistas y reduce presión presupuestaria inmediata. Igualmente, se propone crear un fondo de contingencia equivalente al 20% de la inversión inicial para cubrir imprevistos técnicos y actualizaciones no programadas (Zapata Duarte, 2020; Sivits & Cagle, 2021). La previsión de contingencias no es expresión de pesimismo, sino de realismo operacional que garantiza continuidad misional independientemente de adversidades técnicas.

En concordancia con el tercer objetivo específico, el plan faseado diseñado establece una ruta estratégica de cinco fases que garantiza transición ordenada y minimización de riesgos operacionales, integrando consideraciones críticas de ciberseguridad que caracterizan el entorno de amenazas contemporáneo. La sabiduría práctica sugiere que transformaciones complejas requieren implementación gradual que permita aprendizaje progresivo y corrección de desviaciones sin comprometer capacidades existentes, principio que se vuelve

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

fundamental cuando se consideran las vulnerabilidades inherentes a los sistemas GNSS ante amenazas de jamming y spoofing que comprometen la integridad navegacional. El contexto geopolítico contemporáneo evidencia un incremento sustancial de interferencias intencionadas contra señales satelitales, donde actores no estatales excepcionalmente podrían emplear dispositivos de baja potencia para degradar operaciones aéreas, exigiendo que la fase de implementación integre protocolos anti-jamming mediante antenas direccionales CRPA (Controlled Reception Pattern Antennas) y algoritmos de filtrado adaptativo que distingan señales legítimas de interferencias maliciosas (OACI, 2024; Kaspersky, 2025).

La primera fase prioriza helicópteros UH-60 Black Hawk por su papel estratégico, seguida de la modernización progresiva de Bell 212, Bell 206, y finalmente aeronaves de transporte pesado, secuenciación que debe contemplar el establecimiento de redundancias inerciales INS/GNSS para mantener continuidad operacional cuando las señales satelitales resultan comprometidas, mientras que la adopción de códigos militares proporciona autenticación criptográfica contra ataques de suplantación (Federal Information & News Dispatch, 2012; Markus & Eftekari, 2019; Esper, 2020; Will, 2022; Disco Digital Media, 2021; Losensky & Kaltenhäuser, 2022; EUROCONTROL, 2023; Sabatini et al., 2020; Torres-Pomales, 2020). Esta aproximación multicapa refleja lecciones aprendidas de fuerzas internacionales que operan en entornos de alta amenaza, confirmando que la modernización aviónica trasciende la precisión navegacional para constituirse en palanca de resiliencia cibernética que preserva la capacidad navegacional bajo condiciones de guerra electrónica.

Esta secuenciación refleja principios prácticos de sabiduría común de orden y jerarquía: atender primero lo más crítico para la misión, consolidar logros antes de expandir alcance, y mantener capacidades operativas durante todo el proceso de transformación,

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

consideraciones que adquieren dimensión estratégica cuando se evalúa que el 63% de contratos GNSS militares dependen de proveedores estadounidenses sujetos a restricciones geopolíticas. Los sistemas de gestión de vuelo FMS modernos demandan protocolos de seguridad que abarquen desde la integridad de firmware hasta la validación de bases de datos navegacionales, previniendo manipulaciones que puedan dirigir aeronaves hacia trayectorias no autorizadas o comprometer misiones sensibles (GAO, 2018). La estrategia contempla capacitación por competencias, estandarización doctrinal, y establecimiento de protocolos de certificación que aseguren interoperabilidad con estándares internacionales, incorporando la adopción de estándares OTAN de ciberdefensa aérea, junto con la implementación de centros de operaciones de seguridad (SOC) especializados en aviación militar que establezcan capacidades de detección temprana ante incidentes cibernéticos que afecten la navegación satelital (Choi & Park, 2022; Kim et al., 2023; Ketkar, 2024; OTAN, 2021; Kelly & Efthymiou, 2019).

La estandarización no debe interpretarse como uniformidad rígida, sino como disciplina operacional que facilita coordinación efectiva y reduce errores por incompatibilidad de procedimientos, principio que se extiende al fortalecimiento de alianzas regionales para monitoreo colaborativo de interferencias GNSS que permita desarrollar capacidades autónomas de respuesta ante amenazas híbridas, reduciendo dependencia tecnológica externa mientras se consolida soberanía en dominios críticos. Esta perspectiva integral de ciberseguridad valida la premisa estoica de preparación ante adversidades impredecibles: cuando la tecnología falla, la disciplina y la redundancia preservan la misión, confirmando que el diseño faseado trasciende la implementación técnica para constituirse en

arquitectura de resiliencia que fortalece la superioridad aérea institucional ante escenarios de conflicto híbrido y amenazas cibernéticas emergentes.

Así, el diseño responde de manera integral a la pregunta de investigación al proporcionar un camino ejecutable que transforma el diagnóstico en acción concreta y medible. La transición de análisis teórico hacia implementación práctica requiere voluntad institucional sostenida y liderazgo que inspire confianza en momentos de incertidumbre tecnológica. El plan faseado constituye un mapa estratégico, pero su éxito depende de la disciplina con que cada fase se ejecute.

Por tanto, se recomienda crear una Oficina de Gestión de Proyectos (PMO) especializada en modernización aviónica, con autoridad transversal para coordinar actividades entre diferentes unidades. Esta oficina debe dotarse de profesionales con experiencia comprobada en transformaciones tecnológicas complejas y autoridad suficiente para resolver conflictos interdisciplinarios. Además, se sugiere establecer convenios de cooperación técnica con instituciones académicas para desarrollar capacidades locales de investigación y desarrollo en tecnologías PBN (Torres-Pomales, 2020; Stroe et al., 2022). La cooperación académica fortalece capacidades endógenas y reduce dependencia tecnológica a mediano plazo.

En merito a lo argumentado y en respuesta a la pregunta central de investigación sobre el impacto de la implementación PBN en los 81 helicópteros del Ejército Nacional, la evidencia demuestra que constituye una transformación estratégica que fortalece significativamente la seguridad y eficiencia operacional. La modernización aviónica no representa únicamente una actualización técnica, sino una reconfiguración de capacidades que eleva la superioridad aérea institucional y consolida el aporte del Ejército Nacional a la

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

seguridad del Estado (Bijjahalli et al., 2020; Ribeiro, 2024; Xue, 2023; PBN and Helicopters, 1992). Los hallazgos confirman que la PBN optimiza operaciones en el contexto geográfico colombiano, reduce restricciones presupuestarias a mediano plazo mediante mejoras operacionales, y posiciona a la institución como referente regional en aviación militar moderna (Isik et al., 2020; Hecker et al., 2019; Videmsek, 2020; Videmsek & de Haag, 2020).

La filosofía estoica enseña que la excelencia no es un acto aislado, sino un hábito cultivado mediante práctica constante. En este sentido, la modernización aviónica trasciende la implementación tecnológica para convertirse en catalizador de transformación cultural que eleva estándares operacionales y fortalece el compromiso institucional con la excelencia profesional. Por ende, este esfuerzo académico valida la necesidad inicial identificada y proporciona fundamentos sólidos para la toma de decisiones estratégicas que honren el compromiso constitucional del Ejército Nacional con la defensa de la soberanía y la integridad territorial.

Por lo que, se recomienda aprobar la implementación del plan faseado propuesto, estableciendo como hito crítico la modernización del 60% de la flota en los próximos cuatro años. Esta meta ambiciosa pero alcanzable requiere compromiso institucional inquebrantable y asignación de recursos suficientes para garantizar ejecución exitosa. La estrategia debe complementarse con el desarrollo de capacidades locales de mantenimiento, la creación de un centro de excelencia en navegación aérea, y el establecimiento de métricas de seguimiento trimestral que garanticen cumplimiento de objetivos y ajustes oportunos según evolución tecnológica. El centro de excelencia debe constituirse como núcleo de conocimiento especializado que irradie competencias hacia toda la institución y sirva como referente para fuerzas aéreas regionales.

La investigación identifica tres áreas prioritarias para futuros estudios que contribuirán a consolidar el conocimiento científico en aviación militar colombiana: primero, el impacto de la inteligencia artificial en la optimización de rutas PBN para operaciones en selva tropical, considerando variables ambientales específicas del Amazonas y el Chocó biogeográfico; segundo, la interoperabilidad entre sistemas PBN militares y civiles en espacios aéreos compartidos, fundamental para operaciones de apoyo humanitario y coordinación con autoridades civiles; tercero, el desarrollo de protocolos de ciberseguridad específicos para sistemas de navegación satelital en contextos de conflicto interno, ante amenazas emergentes de guerra electrónica y ciberataques (Shaikh et al., 2019; Marquard & Madritsch, 2020; Xiao, 2021).

Finalmente, estas líneas de investigación contribuirán a consolidar el conocimiento científico en aviación militar colombiana y fortalecerán la capacidad institucional de innovación tecnológica. La construcción de conocimiento endógeno constituye imperativo estratégico que reduce dependencia tecnológica y fortalece autonomía decisional en asuntos de seguridad nacional. La sabiduría estoica sugiere que el conocimiento verdadero emerge de la experiencia práctica iluminada por reflexión crítica, principio que debe orientar futuros esfuerzos académicos en esta línea de investigación.

Referencias

Alarcón, F., Viguria, A., Vilardaga, S., Montolio, J., & Soley, S. (2019). EGNOS-based Navigation and Surveillance System to Support the Approval of RPAS Operations. *Proceedings of the 9th SESAR Innovation Days*.

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

https://www.researchgate.net/profile/Francisco-Alarcon-2/publication/341234559_EGNOS-based_Navigation_and_Surveillance_System_to_Support_the_Approval_of_RPAS_Operations/links/5eb53f80a6fdcc1f1dc86323/EGNOS-based-Navigation-and-Surveillance-System-to-Support-the-Approval-of-RPAS-Operations.pdf

Bijjahalli, S., Sabatini, R., & Gardi, A. (2020). Advances in intelligent and autonomous navigation systems for small UAS. *Progress in Aerospace Sciences*, 115, 100617. <https://doi.org/10.1016/j.paerosci.2020.100617>

Centro de Análisis de la Accidentabilidad Aérea (CAE)- Ministerio de Defensa Nacional. (2024). Respuesta a las proposiciones N° 34 de 2024. Comisión Segunda de la Cámara de Representantes. <https://www.camara.gov.co/sites/default/files/2024-05/RTA%20MINISTERIO%20DE%20DEFENSA.pdf>

Choi, J., & Park, S. Y. (2022). Study on the Selection of UAM Pilots and Establishment of Training. *Journal of the Korean Society for Aviation and Aeronautics*, 30(3), 132-139. https://www.jksaa.org/archive/view_article?pid=jksaa-30-3-132

Cook, T., & Reichardt, S. (2005). Métodos cualitativos y cuantitativos en investigación evaluativa (5.ª ed.). *Ediciones Morata*.

División de Aviación Asalto Aéreo [DAVAA]. (2025). Respuesta información para trabajo de grado sobre flota de helicópteros disponibles. Comando.

De Smedt, D., & Behrend, F. (2020). Path Steering Error & Turn Analysis of Multiple Aircraft in the Current ECAC Fleet. 2020 *AIAA/IEEE 39th Digital Avionics Systems Conference (DASC)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/DASC50938.2020.9256672>

Díaz del Toro, D. (2024). Influencia del Plan Mundial de Navegación Aérea sobre el Transporte Aéreo en la FAC [Informe técnico]. *Repositorio Institucional de la Escuela Superior de Guerra*. <https://hdl.handle.net/20.500.14205/11345>

Disco Digital Media. (2021). *Supply, Installation And Certification Of The Necessary Equipment To Satisfy The Performance-Based Navigation Requirements (Pbn) In Aircraft Belonging To The National Police Air Resources Fleet (Spain-Madrid: Parts For Aircraft, Spacecraft And Helicopters)*. Camden: Disco Digital Media, Inc, 2021. Print.

https://primo.sibfup.co/permalink/57MDN_INST/1sfkq11/cdi_proquest_wirefeeds_2489048858

ENAV S.p.A.: First satellite navigation procedures for helicopters in Apulia - Italy. (2021, Apr 02). *News Bites - Private Companies* <https://www.proquest.com/wire-feeds/enav-s-p-first-satellite-navigation-procedures/docview/2507787781/se-2>

Esper, M., Chao, E. L., & Wolf, C. F. (2020). 2019 federal radionavigation plan (No. DOT-VNTSC-OST-R-15-01). *United States Department of Defense*. <https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/43623>

EUROCONTROL. (2023, 20 de enero). Using AI to help military aircraft fly PBN approaches. <https://www.eurocontrol.int/news/using-ai-help-military-aircraft-fly-pbn-approaches>

- Fellner, A., & Konieczka, R. (2019). Rotorcraft in the Performance Based Navigation International Civil Aviation Organization Implementation. *Transactions on Aerospace Research*, 2019(1), 53-64. <https://doi.org/10.2478/tar-2019-0005>
- Federal Information & News Dispatch, LLC. (2012). *Proposed Provision of Navigation Services for the Next Generation Air Transportation System (NextGen) Transition to Performance-Based Navigation (PBN); Disposition of Comments*. Washington: Federal Information & News Dispatch, LLC. Retrieved from Military Database; Research Library <https://www.proquest.com/reports/proposed-provision-navigation-services-next/docview/1034426667/se-2>
- Gonzaga Lopez, C. (2021). Design of rotorcraft performance-based navigation routes and procedures: Current challenges and prospects. *Journal of Aviation Technology and Engineering*, 10(1), 2. <https://docs.lib.purdue.edu/jate/vol10/iss1/1/>
- Hecker, P., Angermann, M., Bestmann, U., Dekiert, A., & Wolkow, S. (2019). Optical aircraft positioning for monitoring of the integrated navigation system during landing approach. *Gyroscopy and Navigation*, 10, 216-230. <https://doi.org/10.1134/S2075108719040084>
- Hernández Sampieri, R. (2010). Metodología de la investigación (5.^a ed.). *McGraw-Hill*.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. P. (2018). Metodología de la investigación* (6.^a ed.). *McGraw-Hill Education*.
- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza T., C. (2018). Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta (4.^a ed.). *McGraw-Hill*.
- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza-Torres, C. (2020). Metodología Investigación Rutas *McGraw-Hill*.

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

Hoyos Camacho, A., & Caicedo Henao, A. (2018). Propuesta Manual MTE 3-60.1

Operaciones de Aviación en Ambientes Urbanos [*Trabajo de grado*]. *Repositorio Institucional de la Escuela Superior de Guerra*.

<https://hdl.handle.net/20.500.14205/3944>

Isik, O. K., Hong, J., Petrunin, I., & Tsourdos, A. (2020). Integrity analysis for GPS-based

navigation of UAVs in urban environment. *Robotics*, 9(3), 66.

<https://doi.org/10.3390/robotics9030066>

Kaspersky. (2025, 14 de enero). Kaspersky informa que casi 4,000 receptores de satélites

GNSS siguen siendo vulnerables. *Kaspersky Press Release*.

<https://latam.kaspersky.com/about/press-releases/kaspersky-informa-que-casi-4000-receptores-de-satelites-gnss-siguen-siendo-vulnerables>

Kelly, D., & Efthymiou, M. (2019). An analysis of human factors in fifty controlled flight

into terrain aviation accidents from 2007 to 2017. *Journal of Safety Research*, 69, 155-

165. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2019.02.007>

Ketkar, S. (2024, Feb 28). Helicopters - Analysis: An Untapped Potential. *SP's AirBuz*,

<https://www.proquest.com/magazines/helicopters-analysis-untapped-potential/docview/2942196551/se-2>

Kim, S., Choi, J., Choi, J., & Park, S. (2023). A Study on the Institutionalization of UAM

Pilot Training and Education. *Journal of the Korean Society for Aviation and*

Aeronautics, 31(2), 100-107. <https://doi.org/10.12985/ksaa.2023.31.2.100>

Lemus Angulo, Oscar Camilo. Informe final de pasantía: apoyo de actividades de la

Dirección de Movilidad de la Fuerza Aérea. ESAVE, 2021.

https://primo.sibfup.co/permalink/57MDN_INST/19u7a5o/alma991353233907231 .

- Lo, S. (2020). Navigation for aviation. En Position, *Navigation, and Timing Technologies in the 21st Century* (Vol. 2, pp. 1871-1891). Wiley.
<https://doi.org/10.1002/9781119458555.ch61>
- Losensky, L., & Kaltenhäuser, S. (2022). Principles for the Development of a Future Operational Concept for the Higher Airspace. *Deutscher Luft-und Raumfahrtkongress*.
<https://elib.dlr.de/190319/>
- Markus, P., & Eftekari, R. (2019). Existing Navigation Capabilities for Upper Class E Traffic Management (ETM). *Regulus Group*.
https://www.faa.gov/sites/faa.gov/files/uas/advanced_operations/upper_class_etm/ETM_NAV_Existing_Capabilities_Assessment.pdf
- Marquard, S., & Madritsch, F. (2020). Mode N-A new Navigation System & A-PNT Concept for Aviation. *2020 European Navigation Conference (ENC)*. IEEE.
<https://doi.org/10.1109/ENC48637.2020.9317468>
- Marquard, S., Görldt, V., Grandt, M., Madritsch, F., Butsch, F., & Adam, F. (2023). Mode N-A promising Approach for future Navigation. *2023 Integrated Communication, Navigation and Surveillance Conference (ICNS)*. IEEE.
<https://doi.org/10.1109/ICNS58246.2023.10124309>
- Martínez Cuervo, D. (2020). *Nuevas tecnologías en la aviación del Ejército* [Trabajo de grado, Escuela Superior de Guerra]. <https://hdl.handle.net/20.500.14205/4401>
- Membola, M. (2021). New Advance Civil Navigation's solutions to increase the compliance of military fighters A/C with civil aviation in future global airspace [Tesis doctoral]. *Politecnico di Torino*. <https://webthesis.biblio.polito.it/20931/>

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

North Atlantic Treaty Organization [NATO]/ [OTAN]. (2021). *Comprehensive Cyber Defence Policy*. NATO Summit Brussels.
https://www.nato.int/cps/en/natohq/topics_78170.htm

Organización de Aviación Civil Internacional (OACI). (2024). *Estrategia de ciberseguridad de la aviación*. ICAO.
https://www.icao.int/sites/default/files/Meetings/a42/Documents/AVIATION-CYBERSECURITY-STRATEGY.SP_.pdf

Ochoa Lasso, B., López Mejía, J. H., & Jaramillo Jaramillo, J. A. (2014). Programa de capacitación y certificación para las aeronaves y tripulaciones de la Fuerza Aérea Colombiana en procedimientos de navegación basados en performance (PBN) 1 y aproximaciones ILS CAT-II [Informe técnico]. *Repositorio Institucional de la Escuela Superior de Guerra*. <https://hdl.handle.net/20.500.14205/3475>

PBN and Helicopters: How They Fit. *Rotor & wing (1992)* 2010: n. pag. Print.
https://primo.sibfup.co/permalink/57MDN_INST/1sfkq11/cdi_proquest_miscellaneous_366920541

Pierobon, M. (2018, 11 de enero). Benefiting from PBN. *Flight Safety Foundation*.
<https://flightsafety.org/asw-article/benefiting-from-pbn/>

Pongsakornsathien, N., Bijjahalli, S., Gardi, A., Sabatini, R., & Kistan, T. (2020). A novel navigation performance-based airspace model for urban air mobility. 2020 *AIAA/IEEE 39th Digital Avionics Systems Conference (DASC)*. IEEE.
<https://doi.org/10.1109/DASC50938.2020.9256686>

- Pott, R., Guillaume, S., Geiger, A., & Wipf, H. (2019). Optimized low level trajectories for Instrument Flight Rules in alpine areas. Proceedings of the 32nd International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (*ION GNSS+ 2019*).
- Ribeiro, V. F. (2024). A novel approach for conflict detection and resolution for trajectory-based operations in 4D-navigation using NoSQL databases and local search algorithms. <http://www.rlbea.unb.br/jspui/handle/10482/47660>
- Robinson, M., Fronzak, M., Steiner, M., Huberdeau, M., & Becher, T. (2020). What if every aeronautical vehicle operating in our airspace were to report weather conditions. 20th Conference on Aviation, *Range and Aerospace Meteorology*.
- Sabatini, R., Roy, A., Blasch, E., Kramer, K. A., Fasano, G., Majid, I., ... & Major, R. O. (2020). Avionics systems panel research and innovation perspectives. *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, 35(12), 58-72. <https://doi.org/10.1109/MAES.2020.3029446>
- Shaikh, F., Rahouti, M., Ghani, N., Xiong, K., Bou-Harb, E., & Haque, J. (2019). A review of recent advances and security challenges in emerging E-enabled aircraft systems. *IEEE Access*, 7, 63164-63180. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2917236>
- Sivits, K., & Cagle, M. (2021). Reduce the Cost of Implementing Legacy NAVAIDS in the NAS Through the Use of a COTS/NDI Based Acquisition Strategy. *2021 Integrated Communications Navigation and Surveillance Conference (ICNS)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICNS52807.2021.9441647>
- Skrypnik, O. N. (2019). Radio Navigation Systems for Airports and Airways (Vol. 239). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-981-13-7201-8>

- Stroe, G. L., Costea, M. L., Costache, F., Semenescu, A., & Andrei, I. C. (2022). New air traffic surveillance systems. *AIP Conference Proceedings*, 2425(1).
<https://doi.org/10.1063/5.0081555>
- Szenczuk, J. B., & Oliveira, A. V. (2019). Econometric Analysis of Flight Times and the Effects of Performance Based Navigation. *Center for Airline Economics*.
https://www.academia.edu/download/88394001/wp19_szenczukj_oliveira.pdf
- Tarelho Szenczuk, J. B., Marques de Oliveira, A. V., de Arantes Gomes Eller, R., Xavier Guterres, M., & Müller, C. (2020). Econometric Analysis of Flight Times and the Effects of Performance Based Navigation. *AIAA AVIATION 2020 FORUM*.
<https://doi.org/10.2514/6.2020-2853>
- Torres-Pomales, W. (2020). Conformance Monitoring in Air Traffic Control (No. NF1676L-35625). NASA. <https://ntrs.nasa.gov/citations/20200002943>
- Videmsek, A. R. (2020). Aircraft Based GPS Augmentation Using an On-Board RADAR Altimeter for Precision Approach and Landing of Unmanned Aircraft Systems [*Tesis de maestría*]. *Ohio University*.
https://rave.ohiolink.edu/etdc/view?acc_num=ohiou1587149575910194
- Videmsek, A., & de Haag, M. U. (2020). Terrain referenced integrity monitor for an unmanned aircraft systems precision approach. *2020 AIAA/IEEE 39th Digital Avionics Systems Conference (DASC)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/DASC50938.2020.9256636>
- Vitzilaiou, N. I. (2010). *Ευσταθεια πτησης μη επανδρωμενων ελικοπτερων: τεχνικες ελεγχου & επιλογη βελτιστων χαρακτηριστικων (Estabilidad de vuelo de helicópteros no tripulados: técnicas de control y selección de características óptimas)* (Order No. 31977925). Available from ProQuest Dissertations & Theses Global. (3188690154).

<https://www.proquest.com/dissertations-theses/ευσταθεια-πτησης-μη-επανδρωμενων-ελικοπτερων/docview/3188690154/se-2>

Wang, C. J., Ng, E. M., & Low, K. H. (2021). Investigation and modeling of flight technical error (FTE) associated with UAS operating with and without pilot guidance. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 70(12), 12389-12401.

<https://doi.org/10.1109/TVT.2021.3110203>

Will, A. (2022). Aviation Organization Strategy Development in National Airspace Modernization. [Tesis doctoral]. Oklahoma State University.

<https://search.proquest.com/openview/aecc3a5f17250e7985cb340adcaab1bc/>

Xiao, H. (2021). Performance Analysis of Beidou Precision Landing Technology for Runway Airport. *International Conference on Frontier Computing* (pp. 1046-1050). Springer.

https://doi.org/10.1007/978-981-16-8052-6_141

Xue, D. (2023). Evaluating space weather effects of communication blackouts, GNSS-based navigation and surveillance failure, and cosmic radiation on air traffic management [Tesis doctoral]. The Hong Kong Polytechnic University.

<https://theses.lib.polyu.edu.hk/handle/200/12718>

Zapata Duarte, F. A. (2020). *Propuesta para optimizar la administración de la cadena de suministros (SCM) en las funciones logísticas de abastecimiento y transporte para la Aviación del Ejército Nacional de Colombia desde el exterior* [Monografía de maestría, Escuela Superior de Guerra]. <https://hdl.handle.net/20.500.14205/4456>