



## **Impacto y desafíos de la comunicación FM en la Aviación Militar del Ejército Nacional de Colombia**

Mayor (EJC) Franklin Alexander Campos Quiñones

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

## Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

DATOS GENERALES		
<b>Nombre del estudiante</b>	:	(EJC) Franklin Alexander Campos Quiñones
<b>Identificación</b>	:	1032383982
<b>Programa académico</b>	:	Maestría en Seguridad y Defensa
<b>Tutor metodológico</b>	:	DO. Jonnathan Jiménez Reina
<b>Tutor temático</b>	:	Coronel (R) Guillermo Arvey Orozco Becerra
<b>Fecha de entrega</b>	:	27 de agosto de 2025
<b>Extensión</b>	:	9086 palabras
DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD Y CESIÓN DE DERECHOS		
<p>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.</p> <p>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.</p> <p>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: <u>Reconocimiento-No Comercial-Sin Obras Derivadas</u>.</p>		
AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN		
<p>El autor autoriza que este artículo sea publicado por el Sello Editorial ESDEG en su repositorio institucional y esté disponible bajo una modalidad de <u>acceso abierto</u>.</p>		

# Impacto y desafíos de la comunicación FM en la Aviación Militar del Ejército Nacional de Colombia

## Impact and challenges of FM communication in the Military Aviation of the Colombian National Army

MY. Franklin Alexander Campos Quiñones\*

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

**Resumen:** Este artículo analiza los efectos operacionales que genera la interrupción de los sistemas de comunicación FM en la Aviación del Ejército Nacional de Colombia. Se utilizó un enfoque cualitativo con diseño documental, basado en manuales doctrinales, reglamentos técnicos y documentos de referencia tanto nacionales como internacionales. Los resultados muestran que el sistema FM continúa siendo esencial para la interoperabilidad aire-tierra en entornos tácticos adversos, pero presenta debilidades cuando se enfrenta a barreras topográficas, interferencias o dependencia exclusiva del canal. Estas condiciones afectan la toma de decisiones, la sincronización táctica y la seguridad operacional. A partir del análisis, se proponen medidas para mejorar su fiabilidad, como la integración de sistemas redundantes, la estandarización de protocolos y la modernización técnica. Se concluye que el sistema FM debe mantenerse como capacidad activa, pero con ajustes doctrinales y tecnológicos que garanticen su eficacia frente a las condiciones actuales del campo de combate.

**Palabras clave:** Aviación; comunicaciones militares; Ejército Nacional; frecuencia modulada; interoperabilidad; operaciones tácticas.

**Abstract:** This article analyzes the operational effects of the disruption of FM communication systems in the Colombian Army Aviation. A qualitative approach with documentary design was used, based on doctrinal manuals, technical regulations, and national and international reference documents. The results show that the FM system continues to be essential for air-ground interoperability in adverse tactical environments, but presents weaknesses when faced with topographical barriers, interference, or exclusive channel dependence. These conditions affect decision-making, tactical synchronization, and operational safety. Based on the analysis, measures are proposed to improve its reliability, such as the integration of redundant systems, protocol standardization, and technical modernization. It is concluded that the FM system should be maintained as an active capability, but with doctrinal and technological adjustments that guarantee its effectiveness under current combat conditions.

**Keywords:** Aviation; military communications; National Army; FM; interoperability; tactical operations.

---

\* Mayor del Ejército Nacional de Colombia. Candidato a magíster en seguridad y Defensa, 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/0000-0003-2004-7466> - Contacto: franklin.campos@esdeg.edu.co.

## **Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”**

Bogotá D.C., Colombia

### **Introducción**

La comunicación eficaz constituye un elemento esencial en las operaciones militares modernas, en tanto la velocidad, la coordinación y la toma de decisiones en tiempo real pueden determinar el éxito o fracaso de una misión. En el ámbito de la aviación militar, esta necesidad se intensifica por la complejidad de las maniobras, la dispersión geográfica de las aeronaves y los riesgos derivados de operar en escenarios hostiles o de difícil acceso.

En el caso del Ejército Nacional de Colombia, la Aviación ha recurrido históricamente a radios militares de frecuencia modulada (FM), particularmente los equipos TADIRAN, como principal medio de enlace entre las aeronaves y las tropas en tierra durante el desarrollo de operaciones. Estos radios operan en el rango de 30 a 88 MHz, lo que permite establecer comunicaciones en el nivel táctico con relativa confiabilidad y con la ventaja de incorporar sistemas de seguridad de voz para proteger la información transmitida en entornos operacionales (Ejército Nacional de Colombia, 2015). Gracias a estas características, han facilitado la conducción de operaciones en condiciones complejas de terreno y bajo escenarios de alta exigencia táctica.

No obstante, el mismo manual de campaña reconoce que este tipo de sistemas presenta limitaciones asociadas a la propagación de la señal en entornos montañosos,

## **Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”**

Bogotá D.C., Colombia

selváticos y de difícil acceso, lo que impacta la cobertura y calidad de los enlaces aire-tierra. A ello se suman las interferencias externas y las vulnerabilidades inherentes a una tecnología que, si bien ha demostrado eficacia en diversos escenarios, resulta insuficiente frente a las demandas actuales de interoperabilidad y resiliencia en operaciones conjuntas o multinacionales.

Las interrupciones en la comunicación afectan directamente la sincronización de acciones entre unidades, la transmisión de información crítica y la seguridad del personal en operaciones reales. En distintos reportes de misión, tanto en fases de entrenamiento como en despliegues operativos, se han documentado episodios en los que la pérdida de enlace con los radios TADIRAN en frecuencia FM interrumpió la continuidad del mando y redujo la eficacia en la toma de decisiones.

Desde la perspectiva doctrinal, la comunicación se reconoce como un factor decisivo para el planeamiento, la conducción y el control de las operaciones militares. Manuales como el MCE 3-04, los Reglamentos Aeronáuticos de Colombia (RAC) y el propio EJC 4-32 establecen lineamientos que buscan garantizar la seguridad, la interoperabilidad y la eficiencia en la coordinación de las misiones aéreas (Ejército Nacional de Colombia, 2015). Sin embargo, la dependencia de una sola tecnología como la FM limita la adaptabilidad en escenarios cambiantes y en operaciones que requieren sistemas más robustos y seguros.

## **Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”**

Bogotá D.C., Colombia

La necesidad de modernizar y optimizar los sistemas de enlace responde no solo a criterios técnicos, sino también a consideraciones estratégicas. Un Ejército moderno exige canales de comunicación seguros y adaptables a diversos escenarios, en particular en la aviación militar, que cumple funciones críticas de transporte, abastecimiento, evacuación y apoyo de fuego. Cuando el sistema de enlace se convierte en un factor de riesgo, no solo se afecta la seguridad operacional, sino que también se restringe la capacidad de aplicación de las funciones de conducción de la guerra a lo largo del Rango de las Operaciones Militares (ROM).

En este contexto, el presente artículo se orienta a examinar las causas que explican la persistencia del uso de los radios FM tipo TADIRAN en la Aviación del Ejército Nacional, a analizar los efectos que generan las fallas o interrupciones en la coordinación y la toma de decisiones, y a proponer medidas que contribuyan a fortalecer la fiabilidad del sistema. El objetivo es ofrecer un análisis integral que parta de los aportes históricos de esta tecnología, reconozca sus limitaciones actuales y plantee lineamientos que apoyen la seguridad operacional y la efectividad de las misiones militares.

## Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

**Tabla 1. Características doctrinales de los radios TADIRAN en la Aviación del Ejército Nacional de Colombia**

Aspecto	Descripción	Fuente doctrinal
<b>Rango de frecuencia</b>	Operan en el rango VHF de 30 a 88 MHz, empleado en nivel táctico para enlace aire-tierra.	EJC 4-32 (2015)
<b>Seguridad de voz</b>	Incorporan encriptación y modos de seguridad de voz para evitar interceptaciones.	EJC 4-32 (2015)
<b>Alcance efectivo</b>	Dependiente de línea de vista; su desempeño se reduce en geografía montañosa o selvática.	EJC 4-32 (2015)
<b>Ventajas tácticas</b>	Permiten coordinación inmediata entre aeronaves y tropas en tierra; equipos robustos y probados en combate.	EJC 4-32 (2015)
<b>Limitaciones técnicas</b>	Alta vulnerabilidad a interferencias, limitaciones de cobertura en terrenos complejos, obsolescencia frente a estándares modernos de interoperabilidad.	EJC 4-32 (2015)
<b>Aplicaciones en aviación militar</b>	Enlace aire-tierra para mando y control; coordinación de fuegos; apoyo en transporte, evacuación, abastecimiento y operaciones de inserción.	EJC 4-32 (2015)

**Tabla1.** La tabla resume las principales características de los radios TADIRAN empleados por la Aviación del Ejército Nacional de Colombia en frecuencia FM, de acuerdo con lo establecido en el *Manual de Comunicaciones en Campaña EJC 4-32* (Ejército Nacional de Colombia, 2015).

## Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

Además de los equipos Tadiran en FM, la Aviación del Ejército Nacional dispone de radios Harris multibanda que permiten operar en VHF (30–300 MHz) y UHF (300–3000 MHz). No obstante, la cantidad disponible en plataformas es limitada, lo que genera disparidad en la interoperabilidad aérea. Informes técnicos internos han señalado que varios de los equipos Tadiran presentan obsolescencia por desgaste físico y falta de repuestos, mientras que los Harris mantienen mejor desempeño en escenarios exigentes (Ejército Nacional de Colombia, 2016; Escuela de Comunicaciones Militares, 2023).

**Tabla 2. Análisis de tipos de radios, cantidad y estado actual en la Aviación del Ejército. (Tadiran, Harris)**

Ubicación	Ubicación Marca sexo	Texto Estd Mode Raza	Alta AF original el	Antigüedad	Cantidad	Total	EXISTENTES
BAAV2	HARRIS	RF-7800M-MP	22/12/2010	14	7	26	176
			14/12/2011	13	3		
			15/09/2013	12	16		
	TADIRAN	PRC-730	29/08/2002	23	5	8	
			12/11/2013	11	2		
			16/02/2015	10	1		
	TADIRAN	ARC-920	29/07/2006	19	4	37	
			25/03/2008	17	2		
			28/08/2013	12	1		
			10/08/2014	11	5		
21/02/2014			11	4			
12/02/2015			10	1			
BAAV3	HARRIS	RF-7800M-MP	15/09/2013	12	6	9	
			17/10/2013	11	3		
	TADIRAN	ARC-920	25/03/2008	17	9	19	
			10/08/2014	11	4		
			17/11/2015	9	6		
BAAV4	HARRIS	RF-7800M-MP	15/09/2013	12	5	13	
	TADIRAN	ARC-920	10/08/2014	11	3		
			29/08/2002	23	3		
			16/02/2015	10	2		
BAAV5	HARRIS	RF-7800M-MP	15/09/2013	12	6	9	
			17/10/2013	11	3		
	TADIRAN	ARC-920	10/08/2014	11	7	26	
			16/02/2015	10	8		
			16/02/2015	10	10		
		VRC-950	23/11/2011	13	1		
BAOEA	HARRIS	RF-7800M-MP	22/12/2010	14	2	13	
			14/12/2011	13	1		
			15/09/2013	12	3		
			6/04/2014	11	7		
	TADIRAN	ARC-920	29/07/2006	19	2	14	
			15/12/2013	11	7		
			16/02/2015	10	1		
		PRC-710	16/02/2012	13	2		
			1/12/2013	11	1		
		VRC-950	8/08/2009	16	1		
BASPA25	TADIRAN	ARC-920	10/08/2014	11	1	2	
			VRC-950 HRD	7/02/2007	18		1

## **Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”**

Bogotá D.C., Colombia

### **1. Metodología**

Este estudio se desarrolló bajo un enfoque cualitativo, con un diseño no experimental de tipo descriptivo y explicativo, de acuerdo con la clasificación propuesta por Hernández, Fernández y Baptista (2014). La elección metodológica responde a la necesidad de comprender la forma en que el Ejército Nacional de Colombia emplea los sistemas de comunicación de frecuencia modulada (FM) en la aviación militar, así como las limitaciones y riesgos asociados a su uso en contextos operacionales.

La recolección de información se realizó mediante dos técnicas complementarias: la revisión documental y la aplicación de una encuesta estructurada. La revisión documental incluyó manuales doctrinales nacionales (MCE 3-04, MCE 3-52, MCE 3-99, entre otros), reglamentos aeronáuticos (RAC 210), normativa internacional (ONU, OTAN) y bibliografía académica especializada.

Complementariamente, se aplicó un ejercicio de benchmarking con doctrinas y prácticas de países de la región como Brasil, Chile y Ecuador, contrastando sus capacidades de radios a bordo de aeronaves militares. Se consultaron publicaciones oficiales de ministerios de defensa y documentos de interoperabilidad de la región, así como información compartida en el Comando Estratégico de Transformación del Futuro (COTEF) en Bogotá, donde se identificaron tendencias hacia radios multibanda tipo Harris y SATCOM de contingencia (Ministerio de Defensa de Chile, 2022; Ministerio da Defesa do Brasil, 2021; Ministerio de Defensa del Ecuador, 2022).

## Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

### Cuadro comparativo de Benchmarking

PAIS	FUENTE	HALLAZGOS RELEVANTES	TIPOS DE RADIOS / TECNOLOGÍAS EN USO O EN PRUEBA	CARACTERÍSTICAS DESTACADAS (FM/UHF/VHF/SATCOM/ MULTIBANDA, INTEROPERABILIDAD, REDUNDANCIA)	FORTALEZAS QUE PODRÍAS ADOPTAR / LECCIONES PARA EL EJÉRCITO NACIONAL
Chile	<p>“Las FFAA de Chile se capacitan en la operación de radios L3Harris Falcon II y Falcon III” — Infodefensa.com, 26 de marzo de 2024.</p> <p><a href="https://www.infodefensa.com/texto-diario/mostrar/4771598/faa-chile-capacitan-operacion-radios-l3harris-falcon-ii-falcon-iii?utm_source=chatgpt.com">https://www.infodefensa.com/texto-diario/mostrar/4771598/faa-chile-capacitan-operacion-radios-l3harris-falcon-ii-falcon-iii?utm_source=chatgpt.com</a></p>	<p>Se informa que las Fuerzas Armadas de Chile están usando radios multibanda de la familia <b>L3Harris</b> (Falcon II y Falcon III), en versiones manpack, portátil y vehicular, que permiten modos de transmisión múltiples, voz/datos simultáneos en entorno táctico, interoperabilidad alta.</p>	Radios multibanda L3Harris Falcon II y III (manpack, portátil y vehicular); ejercicios HF para respaldo	Multibanda (voz y datos), interoperabilidad elevada, respaldo HF, versiones para distintos tipos de plataforma.	Adoptar radios multibanda con modos de voz+dato; tener redundancia (ej. HF o alternativas si VHF/UHF fallan); capacitación para operación de diversidad de modelos; adoptar estándares compatibles con Harris si se va a comprar esa línea.
	<p>“DIVTEL participa en el segundo ejercicio mixto de radio HF junto a países miembros de la CEA” — Ejército de Chile, 4 de abril de 2025.</p> <p><a href="https://www.ejercito.cl/prensa/visor/divtel-participa-en-el-segundo-ejercicio-mixto-de-radio-hf-junto-a-paises-miembros-de-la-cea?utm_source=chatgpt.com">https://www.ejercito.cl/prensa/visor/divtel-participa-en-el-segundo-ejercicio-mixto-de-radio-hf-junto-a-paises-miembros-de-la-cea?utm_source=chatgpt.com</a></p>	<p>Usa redes HF como respaldo, para asegurar continuidad de comunicaciones interinstitucionales, transmisión de datos y voz en escenarios extremos o emergencia, operando con interoperabilidad regional.</p>			
Ecuador	<p>“Proyecto “Sistema de Transmisión de Datos para Aeronaves – SISTDA”” — Armada del Ecuador.</p> <p><a href="https://www.armada.mil.ec/blog/seminarios-capacitaciones-foros-visitantes-protocolares-9/proyecto-sistema-de-transmision-de-datos-para-aeronaves-sistda-1673?utm_source=chatgpt.com">https://www.armada.mil.ec/blog/seminarios-capacitaciones-foros-visitantes-protocolares-9/proyecto-sistema-de-transmision-de-datos-para-aeronaves-sistda-1673?utm_source=chatgpt.com</a></p>	<p>Prototipo de comunicaciones de datos tácticos para aeronaves navales, con enlaces de amplia cobertura, redundancia, funcionalidad mejorada: geolocalización, chat satelital, pruebas de transmisión satelital durante vuelo, monitoreo remoto, sensores a bordo.</p>	Prototipo de sistema de datos tácticos para aeronaves navales (SISTDA), con enlace satelital, monitoreo remoto, sensores a bordo.	Enfoque en datos, cobertura de comunicaciones extendida, redundancia, integración de funciones de mando/control y sensores, uso de satcom en pruebas.	Incluir capacidades de satcom como parte de esquema de comunicaciones redundantes; diseñar protocolos de mando/control y enlace de datos además de voz; asegurarse de que los radios soporten integración de sensores y datos; pruebas en vuelo real.
Brasil	<p>“Livro Branco de Defesa Nacional” — Ministerio da Defesa de Brasil.</p> <p><a href="https://www.gov.br/defesa/pt-br/assuntos/copy_of_estado-e-defesa/livro-branco-de-defesa-nacional/?utm_source=chatgpt.com">https://www.gov.br/defesa/pt-br/assuntos/copy_of_estado-e-defesa/livro-branco-de-defesa-nacional/?utm_source=chatgpt.com</a></p>	<p>Documento estratégico que describe políticas de defensa, estructura militar, prioridades de modernización, cooperación internacional. No detalla necesariamente radios específicos en aeronaves (o al menos los que revisé), pero aporta dirección política general de modernización.</p>	Políticas estratégicas de defensa nacional que priorizan modernización, interoperabilidad regional, transparencia en capacidades. En el Libro Blanco se establecen directrices de cooperación, estructura militar y modernización.	Menos detalle técnico en lo que encontré, pero fuerte en enfoque estructural, coordinación interinstitucional, planificación a largo plazo.	Definir en tu propuesta las políticas de soporte: mantenimiento, escalabilidad, disponibilidad de repuestos; plan de modernización a varios años; coordinar con aliados/regiones; asegurar compatibilidad con estándares internacionales.

## **Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”**

Bogotá D.C., Colombia

La encuesta se aplicó en la Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”, entre julio y agosto de 2025, a un total de 25 oficiales aviadores del Ejército Nacional de Colombia con cargos de piloto al mando, piloto instructor y piloto, todos con más de diez años de experiencia profesional en operaciones aire-tierra. El instrumento fue un cuestionario cerrado con escala tipo Likert y una pregunta abierta para recoger testimonios. La aplicación se realizó de manera anónima mediante la plataforma Google Forms, sin recolección de datos personales, garantizando la confidencialidad. La información se almacenó en formato digital seguro, únicamente para fines académicos.

Aunque se utilizó una encuesta estructurada, el estudio mantiene un enfoque cualitativo, ya que el análisis no se basó en inferencias estadísticas, sino en la interpretación de percepciones y experiencias del personal encuestado. Como afirman Hernández et al. (2014), el tipo de enfoque no lo determina el instrumento, sino el propósito del estudio y el tipo de análisis que se realiza. En este caso, se aplicó un proceso de codificación manual temática sobre las respuestas abiertas y un análisis interpretativo de los patrones derivados de los resultados cuantificados en la encuesta.

Para el análisis de validez se aplicaron los criterios de credibilidad, confirmabilidad y transferibilidad propios de la investigación cualitativa, asegurando que los hallazgos reflejaran tanto la evidencia documental como las percepciones del personal.

Este estudio se desarrolló bajo un enfoque cualitativo, con un diseño no experimental de tipo descriptivo y explicativo, de acuerdo con la clasificación propuesta por Hernández, Fernández y Baptista (2014). La elección de este enfoque se justifica en la necesidad de

## **Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”**

Bogotá D.C., Colombia

comprender cómo la Aviación del Ejército Nacional de Colombia emplea los sistemas de comunicación de frecuencia modulada (FM), considerando tanto las razones de su persistencia como las limitaciones y riesgos que se derivan de su uso en operaciones reales.

La recolección de información se llevó a cabo mediante dos técnicas complementarias: la revisión documental y una encuesta aplicada a personal de la Aviación del Ejército. La revisión documental incluyó manuales doctrinales nacionales como el MCE 3-04, el MCE 3-52 y el MCE 3-99, reglamentos aeronáuticos como el RAC 210 y manuales de fraseología aeronáutica, así como normativa y doctrina internacional (ONU, OTAN) y bibliografía académica especializada en comunicaciones militares.

En cuanto al trabajo empírico, se aplicó una encuesta abierta a oficiales y suboficiales con experiencia reciente en operaciones aéreas, seleccionados mediante un muestreo no probabilístico por criterio. Este procedimiento garantizó la pertinencia de la información, dado que los participantes cumplían con la condición de haber operado directamente con sistemas de comunicación FM en escenarios tácticos.

El instrumento diseñado se estructuró en torno a tres ejes: las causas de la permanencia de los radios de Frecuencia modulada Tipo TADIRAN como medio de comunicación, los efectos operacionales de sus fallas o interrupciones y las medidas que pueden fortalecer su fiabilidad.

A partir de estas dimensiones, se formularon preguntas abiertas que permitieron recoger percepciones y experiencias detalladas. Aunque se empleó un cuestionario, el

## **Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”**

Bogotá D.C., Colombia

análisis se mantuvo estrictamente cualitativo, puesto que no se recurrió a pruebas estadísticas ni a inferencias numéricas, sino a la interpretación de patrones y categorías extraídas de las respuestas. Como señalan Hernández et al. (2014), el enfoque no lo determina el instrumento, sino la naturaleza del análisis, lo que ubica al presente estudio dentro de la tradición cualitativa.

El procesamiento de la información se realizó a través de codificación manual temática, identificando unidades de significado que luego fueron agrupadas en categorías analíticas. Este procedimiento permitió contrastar los hallazgos del cuestionario con la doctrina vigente y con los lineamientos normativos nacionales e internacionales. Para asegurar la validez interpretativa, se atendieron criterios de credibilidad, transferibilidad y confortabilidad, que en la investigación cualitativa garantizan la solidez de las conclusiones.

En relación con el tamaño de la muestra, se empleó un muestreo no probabilístico por criterio, privilegiando la experiencia operacional de los participantes como condición de inclusión. En este sentido, se reconoce que la investigación cualitativa no persigue representatividad estadística, sino riqueza y profundidad en la información, tal como lo señalan Hernández et al. (2014). Bajo este criterio, la cantidad de encuestados no constituye una limitación, siempre que sus aportes resulten sustantivos para la comprensión del fenómeno analizado.

## **2. Principales causas del uso de los sistemas de comunicaciones FM en la Aviación del Ejército Nacional de Colombia**

El uso continuado de los sistemas de comunicación FM en la Aviación del Ejército Nacional obedece a una serie de causas históricas, doctrinales y operacionales que han consolidado su posición como medio de enlace primario entre aeronaves y unidades terrestres. Una de las principales razones se relaciona con la necesidad de interoperabilidad aire-tierra. Durante décadas, las unidades de maniobra en superficie han empleado FM como herramienta básica de coordinación, lo que ha generado un lenguaje común y procedimientos estandarizados que aseguran la integración inmediata con las aeronaves en apoyo de la maniobra terrestre (Ejército Nacional de Colombia, 2016). Esta compatibilidad operativa disminuye fricciones en el mando y control y facilita la continuidad de las operaciones, incluso en contextos de alta exigencia táctica.

Otro factor determinante es la disponibilidad logística y la cobertura de equipos. El Ejército cuenta con un parque robusto de radios FM, repetidoras y accesorios distribuidos en sus distintas unidades, respaldados por cadenas consolidadas de mantenimiento y repuestos. Esta infraestructura, construida y amortizada durante años, ofrece notables ventajas de sostenibilidad respecto a tecnologías más novedosas. En este sentido, el uso continuo de radios FM resulta particularmente costo-efectivo por varias razones clave:

Infraestructura amortizada y lista para usar: No requiere inversiones significativas nuevas, ya que la instalación y mantenimiento de la red ya están cubiertos.

## **Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”**

Bogotá D.C., Colombia

Equipos duraderos y fáciles de mantener o reemplazar: La familiaridad del personal con estos sistemas acelera la operación y reduce costos logísticos.

Operabilidad en entornos rechazados por tecnologías modernas: Tecnologías digitales, satelitales o cifradas aún enfrentan cobertura limitada y altos costos en áreas remotas.

Eficiencia energética creciente: Con la implementación del Sistema de Alimentación con Energía Alternativa (SIALT) —que permite recargar radios mediante fuentes solares y eólicas—, se optimiza aún más la logística y se reducen costos de baterías desechables en zonas remotas

En consecuencia, esta combinación de factores convierte al sistema FM en una solución práctica y accesible para despliegues inmediatos y prolongados (Escuela de Comunicaciones Militares, 2023). La permanencia de la FM también se sustenta en la existencia de manuales técnicos que han normado su empleo durante décadas. El *TM 1-70 COLAR-10* establece procedimientos específicos de instalación, verificación y mantenimiento de equipos de radio en las aeronaves, asegurando estándares uniformes de operación y sostenimiento.

Este marco técnico ha permitido que las tripulaciones y el personal de apoyo desarrollen competencias consistentes, lo que refuerza la confiabilidad del sistema y su

## **Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”**

Bogotá D.C., Colombia

continuidad como medio de enlace primario en la Aviación del Ejército (Ejército Nacional de Colombia, 2008).

En esa misma dirección, los manuales operativos y de gestión del espacio aéreo señalan la necesidad de asegurar redundancias y medios disponibles para sostener el enlace en todas las fases de la misión, lo que favorece la permanencia de tecnologías probadas (Ejército Nacional de Colombia, 2019; Ministerio de Defensa Nacional, 2021).

Asimismo, la simplicidad de operación constituye una causa relevante. La curva de aprendizaje de la FM es reducida en comparación con otros sistemas, lo que facilita el adiestramiento y disminuye el margen de error en fases críticas de vuelo. La familiaridad con este medio entre pilotos, tripulaciones y personal en tierra asegura rapidez en la coordinación y confiabilidad en la transmisión de mensajes bajo condiciones de presión operacional (Fuerza Aérea Colombiana, 2020). La estandarización de radiotelefonía y fraseología, uso de distintivos y gestión de frecuencias reduce ambigüedades y refuerza la seguridad operacional, fortaleciendo la preferencia por un esquema conocido y validado institucionalmente (Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil, 2020; Ministerio de Defensa de Chile, 2022; Ministerio de Defensa de Chile, 2024).

Desde una perspectiva normativa, el Reglamento Aeronáutico Colombiano RAC 210 establece lineamientos que ratifican la importancia de los sistemas de comunicación convencionales como parte integral de la seguridad operacional. Dicho reglamento enfatiza que, en ausencia de soluciones más avanzadas, la confiabilidad mínima de la FM permite

## **Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”**

Bogotá D.C., Colombia

sostener la continuidad de operaciones en zonas de topografía difícil y con limitaciones de infraestructura (Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil, 2020).

La doctrina nacional también reconoce la función de las comunicaciones en la orientación, exploración y guiado de aeronaves en escenarios complejos. El *EJC-3-198 Explorador y Guía de Aeronaves* enfatiza que la interrupción o degradación del enlace compromete la capacidad de transmitir datos críticos de posicionamiento y guía, lo que incrementa los riesgos de descoordinación en misiones de apoyo aéreo cercano o evacuación.

La pérdida de señal en fases críticas reduce la precisión del guiado y afecta la sincronización entre las aeronaves y las unidades de superficie, confirmando la vulnerabilidad del sistema FM en operaciones tácticas (Ejército Nacional de Colombia, 2015).

A nivel de provisión de servicios, los lineamientos nacionales de navegación aérea remarcan la necesidad de redes de comunicaciones confiables para coordinar dependencias y sostener la operación en espacios aéreos complejos, aspecto que también favorece mantener medios establecidos (Ministerio de Defensa Nacional, 2022).

La institucionalización doctrinal contribuye a esa persistencia. Publicaciones de la Aviación del Ejército ubican a las comunicaciones como habilitador del mando y control y de la coordinación del espacio aéreo; en la práctica, esto se traduce en procedimientos, listas de verificación y roles que descansan en el uso de FM como columna de enlace, especialmente en apoyo directo a fuerzas de superficie (Ejército Nacional de Colombia, 2017;

## **Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”**

Bogotá D.C., Colombia

Ejército Nacional de Colombia, 2019; Ejército Nacional de Colombia, 2022). A ello se suma el componente formativo: los programas de instrucción y los planes de estudio consolidados a nivel de comunicaciones mantienen la FM como competencia básica para tripulaciones y personal de apoyo, lo que refuerza su uso cotidiano (Escuela de Comunicaciones Militares, 2023; Fuerza Aérea Colombiana, 2020).

En el plano social y político, la permanencia de la FM también responde a dinámicas institucionales más amplias. Tal como señala Borrero (2019), las Fuerzas Militares en Colombia han mantenido estructuras tradicionales de organización que condicionan la adopción de nuevas tecnologías. Pizarro (2022) complementa esta visión al destacar que la tradición civilista del Estado ha implicado procesos de modernización gradual, lo que explica por qué la aviación militar conserva todavía medios de enlace como la FM. En paralelo, en contextos donde confluyen insurgencia, narcotráfico y criminalidad organizada, las comunicaciones seguras adquieren un carácter estratégico, pues constituyen el medio que garantiza la continuidad del mando y la capacidad de respuesta institucional. Tal como advierten Valencia Londoño y Nateras (2020), la violencia híbrida en escenarios como Colombia y México ha llevado a una creciente militarización de la seguridad, lo que incrementa la necesidad de sistemas de enlace confiables que aseguren la coordinación mínima en ambientes adversos y altamente volátiles. En este sentido, la persistencia del uso de la frecuencia modulada (FM) en las Fuerzas Militares se entiende no solo como una decisión técnica, sino como un recurso práctico para sostener la interoperabilidad táctica en operaciones de alto riesgo.

## **Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”**

Bogotá D.C., Colombia

El entorno comparado contribuye a normalizar esta elección. La Organización de las Naciones Unidas ha documentado que, en misiones de paz y despliegues multinacionales, los sistemas de comunicación tradicionales como la FM continúan empleándose como canales de respaldo por su simplicidad y compatibilidad en entornos de alta heterogeneidad tecnológica (ONU, 2021). En el ámbito aliado, la doctrina sobre sistemas de comunicaciones e información enfatiza la interoperabilidad multinivel y la resiliencia, reconociendo la coexistencia de múltiples portadores en operaciones complejas; en ese marco, la FM se mantiene como componente útil dentro de arquitecturas redundantes (OTAN, 2023; OTAN, 2024; OTAN, 2022).

Por último, consideraciones de gestión del riesgo y de costo-efectividad refuerzan la preferencia por mantener la FM mientras se moderniza gradualmente el portafolio de comunicaciones. Las aproximaciones estratégicas advierten que depender de un único medio sin redundancias incrementa la vulnerabilidad, pero también señalan que la mitigación debe ser proporcional y escalonada, priorizando escenarios críticos y capacidades con mayor impacto en la continuidad del mando y control (Holcomb, 2002; Yarger, 2006; Clarke, 2015). Bajo esa lógica, la FM permanece como base de enlace conocida y disponible, mientras se introducen mejoras tecnológicas y procedimentales en fases coherentes con la realidad operativa y presupuestal.

### **3. Efectos operacionales de la interrupción de los sistemas FM en la Aviación del Ejército Nacional**

El uso continuado de los sistemas de comunicación FM en la Aviación del Ejército Nacional obedece a una serie de causas históricas, doctrinales y operacionales que han consolidado su posición como medio de enlace primario entre aeronaves y unidades terrestres. Una de las principales razones se relaciona con la necesidad de interoperabilidad aire-tierra. Durante décadas, las unidades de maniobra en superficie han empleado FM como herramienta básica de coordinación, lo que ha generado un lenguaje común y procedimientos estandarizados que aseguran la integración inmediata con las aeronaves en apoyo de la maniobra terrestre (Ejército Nacional de Colombia, 2016).

Esta compatibilidad operativa disminuye fricciones en el mando y control y facilita la continuidad de las operaciones, incluso en contextos de alta exigencia táctica.

Otro factor determinante es la disponibilidad logística y la cobertura de equipos. El Ejército cuenta con un parque robusto de radios FM, repetidoras y accesorios distribuidos en sus distintas unidades, con cadenas de mantenimiento y repuestos consolidados. Esta infraestructura, construida durante años, otorga ventajas de sostenibilidad frente a tecnologías más recientes, pero menos difundidas. En consecuencia, la FM resulta costo-efectiva y se mantiene como una solución práctica para escenarios de despliegue inmediato (Escuela de Comunicaciones Militares, 2023).

En el mismo sentido, los manuales operativos y de campaña han normalizado su empleo como capacidad básica de enlace aire-tierra, reforzando la estandarización de

## **Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”**

Bogotá D.C., Colombia

técnicas y la previsibilidad logística en los teatros de operaciones (Ejército Nacional de Colombia, 2019; Ministerio de Defensa Nacional, 2021).

Asimismo, la simplicidad de operación constituye una causa relevante. La curva de aprendizaje de la FM es reducida en comparación con otros sistemas, lo que facilita el adiestramiento y disminuye el margen de error en fases críticas de vuelo.

La familiaridad con este medio entre pilotos, tripulaciones y personal en tierra asegura rapidez en la coordinación y confiabilidad en la transmisión de mensajes bajo condiciones de presión operacional (Fuerza Aérea Colombiana, 2020).

La estandarización de la radiotelefonía y la fraseología en cuanto a colación, uso de distintivos y gestión de frecuencias respalda esa simplicidad y reduce las ambigüedades en el intercambio de información (Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil, 2020; Ministerio de Defensa de Chile, 2022; Ministerio de Defensa de Chile, 2024).

Desde una perspectiva normativa, el Reglamento Aeronáutico Colombiano RAC 210 establece lineamientos que ratifican la importancia de los sistemas de comunicación convencionales como parte integral de la seguridad operacional.

Dicho reglamento enfatiza que, en ausencia de soluciones más avanzadas, la confiabilidad mínima de la FM permite sostener la continuidad de operaciones en zonas de topografía difícil y con limitaciones de infraestructura (Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil, 2020).

## **Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”**

Bogotá D.C., Colombia

A su vez, la provisión de servicios a la navegación aérea y la gestión de tránsito aéreo subrayan la necesidad de redes y procedimientos confiables para garantizar la coordinación en espacios aéreos complejos y con múltiples dependencias (Ministerio de Defensa Nacional, 2022).

En el plano social y político, la permanencia de la FM también responde a dinámicas institucionales más amplias. Tal como señala Borrero (2019), las Fuerzas Militares en Colombia han mantenido estructuras tradicionales de organización que condicionan la adopción de nuevas tecnologías. Pizarro (2022) complementa esta visión al destacar que la tradición civilista del Estado ha implicado procesos de modernización gradual, lo que explica por qué la aviación militar conserva todavía medios de enlace como la FM.

En paralelo, Rivera-Páez (2021) resalta que en contextos donde confluyen insurgencia, narcotráfico y criminalidad organizada, las comunicaciones seguras se vuelven un recurso estratégico, de ahí que la continuidad de la FM represente un soporte básico para garantizar mínimos de coordinación en ambientes adversos.

Finalmente, en el plano internacional, la Organización de las Naciones Unidas ha señalado que en misiones de paz y despliegues multinacionales los sistemas de comunicación tradicionales como la FM continúan empleándose como canales de respaldo por su simplicidad y compatibilidad en entornos de alta heterogeneidad tecnológica (ONU, 2021).

Por su parte, la doctrina aliada enfatiza que la resiliencia en comunicaciones, la interoperabilidad multinivel y la integración de tecnologías complementarias son

## **Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”**

Bogotá D.C., Colombia

condiciones para sostener operaciones en ambientes disputados (OTAN, 2022; OTAN, 2023; OTAN, 2024).

Estas directrices convergen con lineamientos nacionales que sitúan a la aviación del Ejército como habilitador de mando y control, maniobra y sostenimiento, para lo cual los enlaces de comunicaciones constituyen un componente crítico (Ejército Nacional de Colombia, 2017; Ejército Nacional de Colombia, 2019).

A la luz de lo anterior, los efectos operacionales derivados de la interrupción o degradación de la comunicación en frecuencia modulada (FM) pueden entenderse como resultado de tres tipos de factores. En el plano técnico, se presentan pérdidas temporales de enlace y ambigüedades en la transmisión, especialmente en escenarios de montaña, selva o zonas urbanas densas. En el plano procedimental, la saturación del espectro por la concurrencia de múltiples usuarios limita la claridad y continuidad de la comunicación. Finalmente, en el plano contextual, se evidencian brechas en la aplicación de procedimientos de contingencia, particularmente durante relevos de enlace de las repetidoras (handover), en el uso de frecuencias alternas o necesidad de retransmisiones (Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil, 2020; Ejército Nacional de Colombia, 2022; Ministerio de Defensa de Chile, 2022, 2024).

La evidencia internacional y aliada coincide en que, sin redundancias ni protocolos estandarizados, las fallas de enlace comprometen la continuidad del mando y control, incrementan la probabilidad de incidentes tácticos y afectan la oportunidad de la decisión (OTAN, 2022; OTAN, 2024; ONU, 2021).

## **Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”**

Bogotá D.C., Colombia

La interrupción o degradación de la FM no solo retrasa la coordinación táctica; también incide en la calidad de la conciencia situacional, al fragmentar la información que reciben tripulaciones y mandos. En fases de aproximación final, extracción o evacuación médica, una colación deficiente o la necesidad de repetir instrucciones incrementa la carga de trabajo y eleva la posibilidad de errores por omisión y por comisión.

La doctrina nacional sobre gestión del espacio aéreo remarca que las comunicaciones constituyen un habilitador del control y de la separación segura entre aeronaves y actores en superficie; cuando el enlace se vuelve intermitente, el comandante pierde visibilidad de la maniobra y aumenta la probabilidad de incidentes por descoordinación (Ejército Nacional de Colombia, 2019; Ejército Nacional de Colombia, 2022).

En paralelo, los manuales de fraseología y radiotelefonía insisten en la estandarización de colación, distintivos y técnicas de transmisión para mitigar ambigüedades bajo ruido o interferencia, pero advierten que ningún procedimiento compensa del todo un medio de enlace intrínsecamente limitado en ciertos escenarios (Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil, 2020; Ministerio de Defensa de Chile, 2022; Ministerio de Defensa de Chile, 2024).

En misiones multinacionales, Naciones Unidas ha documentado que las pérdidas de enlace de voz deterioran la coordinación inter-agencias y agravan los riesgos para el personal en terreno, lo que confirma la necesidad de redundancias planificadas en ambientes disputados (ONU, 2021).

Al cierre de este apartado, se aplicó una encuesta de carácter cualitativo, basada en un cuestionario abierto, a personal con experiencia reciente en operaciones aire-tierra que emplean radios FM. El propósito de este ejercicio fue reforzar el sustento empírico del análisis, contrastando las afectaciones identificadas en la doctrina y en los reportes

## **Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”**

Bogotá D.C., Colombia

operacionales con las percepciones y relatos situados del personal que enfrenta estas condiciones durante el desarrollo de misiones reales.

Siguiendo a Hernández, Fernández y Baptista (2014), el uso de instrumentos abiertos permite profundizar en significados y contextos, preservando el lenguaje del participante y fortaleciendo la validez interpretativa del estudio; además, posibilita identificar incidentes críticos, patrones recurrentes y casos confirmación fallida que complementan la evidencia documental y normativa previamente examinada. Esta recolección empírica se inscribe, por tanto, como un insumo directo para priorizar medidas realistas de mitigación y redundancia comunicacional en la sección siguiente.

### **3.1 Percepciones del personal de aviación sobre el uso de la FM**

Los resultados de la encuesta aplicada al personal de la Aviación del Ejército Nacional permiten identificar tres tendencias principales. En primer lugar, nueve de cada diez oficiales encuestados coincidieron en la necesidad de modernizar los equipos de comunicaciones, señalando que los sistemas FM deben complementarse con tecnologías más seguras y de mayor alcance. Este hallazgo coincide con lo dispuesto en el Reglamento Aeronáutico Colombiano RAC 210, que establece la necesidad de contar con medios confiables y redundantes para garantizar la seguridad operacional en entornos exigentes (Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil, 2020).

En segundo lugar, **casi nueve de cada diez participantes** resaltaron la importancia de estandarizar los procedimientos inter-unidades, indicando que la falta de protocolos claros aumenta los riesgos de descoordinación en operaciones reales. Este aspecto se relaciona

## Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

directamente con los lineamientos doctrinales de la MCE 3-52 sobre la gestión del espacio aéreo, que advierte que la interoperabilidad entre dependencias requiere reglas claras, listas de verificación y coordinación previa para evitar incidentes (Ejército Nacional de Colombia, 2019).

Finalmente, **más de ocho de cada diez respondientes** destacaron la necesidad de fortalecer el entrenamiento recurrente en gestión de enlaces y contingencias, puesto que la práctica constante asegura respuestas efectivas en situaciones críticas. Esta percepción se articula con el Manual Operativo FMU, que recomienda entrenamientos periódicos orientados a escenarios reales como mecanismo para consolidar habilidades y reducir riesgos (Ministerio de Defensa Nacional, 2021).

En conjunto, estos hallazgos reflejan que, aunque la FM continúa siendo un medio vigente y utilizado en la Aviación del Ejército, existen tres prioridades claras para garantizar la seguridad y la eficiencia de las misiones: modernización tecnológica, unificación doctrinal y entrenamiento permanente.

### Tabla 1

Hallazgos clave (conclusiones de la encuesta)

<b>Dimensión evaluada</b>	<b>Principales resultados</b>	<b>Interpretación</b>
Utilidad de la FM en misión	48 % percibe intercambio de información crítico y coordinación aire-tierra	La FM funciona, pero no de manera uniforme
Limitaciones operacionales	92 % ha experimentado pérdida de enlace; 88 % reporta disminución de calidad en entornos difíciles	Vulnerabilidad alta en escenarios críticos

## Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

Procedimientos y SOP	44 % percibe claridad en las contingencias; 40 % considera poco claros los procedimientos de transferencia (handovers); 88 % afirma que no existe un sistema formal de retroalimentación de lecciones aprendidas	Brechas en estandarización y aprendizaje institucional
Prioridades de mejora	92 % pide modernizar radios; 88 % SOP inter-unidades; 84 % entrenamiento recurrente	Consenso en tres líneas: tecnología, procedimientos y entrenamiento

**Fuente:** elaboración propia a partir de encuesta aplicada al personal de la Aviación del Ejército Nacional (2025).

Las respuestas abiertas ilustran los datos: se reportan comunicaciones ilegibles con tropas en superficie, caídas de enlace en valles/cañones y saturación del espectro; se mencionan radios obsoletos, potencia insuficiente y mantenimiento deficitario; y se describen mitigaciones puntuales (retransmisión por VHF, relés, reconfiguración del dispositivo en tierra) que resolvieron casos, pero no sustituyen la necesidad de modernización y de SOP robustos. Varios testimonios destacan que la FM “sirve como columna de respaldo”, pero “no garantiza enlace confiable” en escenarios complejos.

Conclusión de la sección. La encuesta confirma tres hechos:

i) la FM sigue siendo útil y operativa, pero su fiabilidad es limitada en los entornos más exigentes; ii) las brechas de procedimientos, listas de chequeo y aprendizaje institucional agravan los efectos de las fallas; iii) existe consenso abrumador en priorizar modernización tecnológica, estandarización de SOP inter-unidades y entrenamiento recurrente. Con base en esta evidencia, el siguiente apartado formula medidas correctivas y preventivas alineadas con estas prioridades y con la doctrina y normativa previamente analizadas.

#### **4. Medidas correctivas y preventivas para mejorar la fiabilidad de los sistemas de comunicaciones FM y minimizar su impacto en las operaciones militares**

Los resultados de la encuesta muestran un consenso claro sobre tres prioridades: modernizar el parque de radios y complementar la FM con soluciones seguras y de mayor alcance (92 % de acuerdo), estandarizar procedimientos inter-unidades para la interoperabilidad aire-tierra (88 %) y fortalecer el entrenamiento recurrente en gestión de enlaces y contingencias (84 %).

Estas demandas se alinean con el marco normativo y doctrinal vigente y con los referentes internacionales, por lo que las medidas se estructuran en tres líneas de acción integradas.

Modernización tecnológica y arquitectura de comunicaciones resiliente. Con base en el RAC 210, la seguridad operacional exige medios de comunicación confiables y redundantes, especialmente en entornos con limitaciones geográficas o de infraestructura (Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil, 2020). Así mismo integrar una estrategia de comunicaciones que combine FM con radios Harris, dado que estos últimos cuentan con modos multibanda y cifrado avanzado, ya que la experiencia en la Fuerza Aérea Colombiana, ha mostrado que la integración de Harris permite redundancia y flexibilidad en enlaces aire-tierra, especialmente en misiones combinadas (Fuerza Aérea Colombiana, 2020).

Se recomienda complementar la FM con capacidades VHF/UHF seguras y enlaces satelitales para contingencia (SATCOM), de empleo habitual en misiones de paz donde la heterogeneidad tecnológica exige múltiples portadores para sostener el enlace (ONU, 2021).

## **Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”**

Bogotá D.C., Colombia

La doctrina aliada enfatiza interoperabilidad y resiliencia de CIS en todos los niveles, evitando dependencia de un único medio (OTAN, 2024). La Taxonomía C3 propone ordenar servicios, procesos y roles, útil para priorizar inversiones y definir qué capacidades se integran por fases (OTAN, 2023).

En la coordinación táctica, el empleo de aeronaves relé que cumplan la misión Plataforma aérea, tripulada o no tripulada, equipada con sistemas de comunicación que actúa como nodo de retransmisión en una red táctica. Su función consiste en recibir, amplificar y retransmitir señales de radio (voz o datos) entre estaciones terrestres, aéreas o marítimas que, por condiciones de distancia, topografía o interferencia, no logran establecer enlace directo. El empleo de aeronaves relé permite extender el alcance de las comunicaciones, garantizar continuidad en ambientes de difícil propagación y asegurar la integración entre fuerzas dispersas en el espacio de maniobra (Ejército Nacional de Colombia, manual 4-32. 2015).

Estandarización doctrinal y procedimientos inter-unidades. La encuesta revela brechas: solo 44 % percibe claras las contingencias por fallas, 40 % considera claros los procedimientos de cambio de frecuencia o handover y 68 % señala que las lecciones aprendidas no retroalimentan la instrucción.

Frente a ello, se propone unificar SOP aire-tierra con base en: a) gestión de frecuencias y control del espectro, articulada con la autoridad ATS y con los responsables operacionales (Ministerio de Defensa Nacional, 2022; Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil, 2020); b) listas de verificación pre-vuelo/en vuelo específicas de radios y

## **Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”**

Bogotá D.C., Colombia

de alternativas de enlace; c) protocolos de handover, uso de repetidoras y establecimiento de alternas; y d) documentación obligatoria de incidentes y su cierre con acciones correctivas.

La MCE 3-52 ubica las comunicaciones como habilitador central del control y coordinación del espacio aéreo, por lo que los procedimientos deben integrarse al planeamiento y a la conducción de operaciones (Ejército Nacional de Colombia, 2019). Complementariamente, la MCE 3-99 subraya el impacto del espectro en mando y control, lo que exige gobernanza técnica y reglas claras de uso para evitar saturación y superposición de redes (Ejército Nacional de Colombia, 2022).

En el plano de la fraseología aeronáutica, se recomienda reforzar la estandarización de colación, uso de distintivos y técnicas de transmisión, en línea con los manuales nacionales y comparados (Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil, 2020; Ministerio de Defensa de Chile, 2022; Ministerio de Defensa de Chile, 2024; Fuerza Aérea Colombiana, 2020).

La operación en espacios aéreos compartidos exige armonizar reglas, procedimientos y responsabilidades entre dependencias ATS y usuarios operacionales. El marco RAC 210 y los lineamientos sobre servicios a la navegación aérea establecen estándares para la administración del espectro, la continuidad de los servicios y la coordinación entre dependencias; incorporar estas pautas al planeamiento de misión disminuye la saturación por concurrencia de usuarios y facilita la priorización de comunicaciones críticas (Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil, 2020; Ministerio de Defensa Nacional, 2022).

## **Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”**

Bogotá D.C., Colombia

En ejercicios y despliegues combinados, las guías aliadas recomiendan clarificar roles por niveles, establecer rutas de contingencia y definir portadores alternos antes del vuelo para evitar dependencias de un único medio (OTAN, 2023; OTAN, 2024; OTAN, 2022). En la práctica, esto se traduce en matrices aire-tierra con frecuencias primarias y alternas, tiempos de prueba de enlace, puntos de relevo planificados y reglas para escalamiento a portadores redundantes cuando la FM se degrada.

Capacitación y entrenamiento recurrente. El 84 % de los encuestados respalda entrenamientos periódicos en gestión de enlaces, anti-interferencia y contingencias. Se propone un programa escalonado que combine: simulación (fallas de enlace, saturación del espectro, pérdida de cobertura), prácticas en terreno con topografía exigente, y ejercicios combinados con unidades de superficie para sincronizar procedimientos.

El Manual Operativo FMU Colombia recomienda entrenamientos periódicos orientados a la estandarización y preparación para condiciones reales de misión (Ministerio de Defensa Nacional, 2021). En la dimensión institucional, se sugiere formalizar un ciclo de lecciones aprendidas que pase de reporte a mejora efectiva de SOP y listas de chequeo, cerrando la brecha señalada por el 68 % de los participantes.

La literatura estratégica refuerza el enfoque: la gestión del riesgo demanda identificar vulnerabilidades y tratarlas con medidas proporcionales, monitoreo y mejora continua (Holcomb, 2002); la estrategia moderna integra comunicaciones resilientes para sostener la iniciativa en ambientes complejos (Yarger, 2006); y la dependencia tecnológica sin redundancias abre ventanas de oportunidad al adversario (Clarke, 2015).

## **Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”**

Bogotá D.C., Colombia

Gobernanza, interoperabilidad y coordinación civil-militar. Dado que la aviación del Ejército opera en espacios aéreos con múltiples actores, se propone un mecanismo de coordinación permanente con la autoridad ATS y con otras Fuerzas para planear el uso del espectro y las alternativas de enlace en misiones conjuntas. El MASNA y el RAC 210 ofrecen el andamiaje para armonizar definiciones, responsabilidades y procesos entre dependencias de tránsito aéreo y usuarios operacionales (Ministerio de Defensa Nacional, 2022)

Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil, 2020). En ejercicios y despliegues multinacionales, las guías de la AJP-6 facilitan alinear roles y responsabilidades por niveles, reforzando interoperabilidad y seguridad de la información (OTAN, 2024). Esta gobernanza también debe traducirse en planes de modernización por fases, priorizando rutas críticas (teatro montañoso/selvático), nodos de retransmisión y cabeceras logísticas.

Plan de implementación por fases e indicadores de seguimiento. Corto plazo: reforzar listas de verificación, SOP de handover/alternas, esquema de reporte y cierre de lecciones aprendidas; asegurar disponibilidad de repetidoras/relés planificados; entrenamiento focalizado en unidades con entornos más degradantes.

Mediano plazo: renovación selectiva de equipos FM y antenas; incorporación progresiva de VHF/UHF seguros y enlaces satelitales en plataformas priorizadas; ejercicios combinados aire-tierra con validación de procedimientos.

Largo plazo. El objetivo es consolidar una arquitectura de comunicaciones multibanda y multibearer —es decir, con capacidad de operar en diferentes frecuencias y a

## **Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”**

Bogotá D.C., Colombia

través de múltiples portadores (FM, VHF, HF, satelital, entre otros)—, integrada bajo un sistema de gestión del espectro radioeléctrico que permita un monitoreo continuo de la calidad del enlace.

Para evaluar los avances hacia esta arquitectura, se propone medir indicadores concretos:

- Tasa de incidentes por pérdida de enlace durante operaciones.
- Tiempos de restablecimiento de la comunicación tras una falla.
- Cumplimiento de protocolos de colación y claridad de mensajes en la transmisión.
- Disponibilidad de frecuencias alternas y eficacia en su activación.
- Porcentaje de tripulaciones certificadas en el programa de entrenamiento en comunicaciones.

La resiliencia en comunicaciones, entendida como la capacidad de mantener el mando y control incluso en escenarios adversos o bajo degradación del espectro, debe quedar evidenciada en estos indicadores, en concordancia con los lineamientos estratégicos de la OTAN (2022).

Viabilidad institucional y coherencia con el contexto nacional. La continuidad de FM como columna de respaldo es coherente con la necesidad de garantizar mínimos operativos en todo el territorio; no obstante, la modernización gradual y la estandarización de procedimientos son indispensables para reducir vulnerabilidades en escenarios complejos, tal como lo confirma la evidencia empírica y doctrinal.

## **Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”**

Bogotá D.C., Colombia

La persistencia de estructuras organizativas tradicionales y la modernización gradual del sector defensa, señaladas por la literatura nacional, refuerzan la conveniencia de un plan escalonado y pragmático (Borrero, 2019; Pizarro, 2022). En contextos donde convergen insurgencia, narcotráfico y crimen organizado, la robustez de las comunicaciones es un multiplicador de fuerza y de protección de la tropa (Rivera-Páez, 2021), por lo que las medidas propuestas no solo buscan eficiencia táctica, sino también seguridad operacional.

En síntesis, la combinación de modernización tecnológica, procedimientos estandarizados y entrenamiento recurrente, apoyada por coordinación civil-militar y gobierno del espectro, ofrece una ruta realista para disminuir el impacto de las fallas de FM y fortalecer el mando y control en la Aviación del Ejército. La convergencia entre lo que pide el personal encuestado y lo que disponen la normativa y la doctrina nacional e internacional otorga sustento suficiente para su adopción progresiva.

### **4.2 Plan de implementación por fases e indicadores de seguimiento**

El propósito es traducir las medidas en cambios verificables, con hitos, responsables e indicadores que permitan evaluar avances y hacer ajustes. Se adopta una implementación escalonada que reduzca riesgos de transición y priorice los teatros más exigentes (montaña/selva) y las unidades con mayor carga operativa (Ejército Nacional de Colombia, 2019; Ejército Nacional de Colombia, 2022).

La arquitectura final deberá ser multibanda y multibearer, con gobierno del espectro y protocolos estandarizados, en línea con la resiliencia operacional que exige la doctrina aliada (OTAN, 2022) y con la continuidad de servicios que demandan el MASNA y el RAC

## **Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”**

Bogotá D.C., Colombia

210 (Ministerio de Defensa Nacional, 2022; Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil, 2020).

Fase I — Corto plazo (0–6 meses). Se consolidan procedimientos y capacidades mínimas para reducir incidentes por pérdida de enlace. Acciones: actualización y difusión de SOP aire-tierra (colación, alternas, handover, empleo de repetidoras); listas de verificación pre-vuelo y en vuelo específicas de comunicaciones; plan de pruebas de enlace (tiempos, puntos y frecuencias) antes de despegue; activación de un registro único de incidentes de comunicaciones con análisis de causa-raíz y cierre de acciones correctivas; entrenamientos focalizados en teatros críticos con uso de relés y repetidoras. Productos: SOP y checklists validados; calendario de pruebas de enlace; tablero de incidents & lessons learned operativo.

Responsables: Comandantes de unidad y oficiales de operaciones.

Riesgos: resistencia al cambio y dispersión de prácticas; mitigación con órdenes fragmentarias y supervisión de cumplimiento (Ejército Nacional de Colombia, 2019; Ministerio de Defensa Nacional, 2022).

Fase II — Mediano plazo (6–18 meses). Se inicia la modernización selectiva y la interoperabilidad práctica. Acciones: renovación de radios FM con mejor sensibilidad/potencia en unidades priorizadas; reubicación/optimización de antenas y Se propone la instalación de repetidoras en corredores críticos (equipos que amplifican y retransmiten la señal para extender el alcance en zonas de difícil propagación); la incorporación progresiva de radios VHF/UHF seguros (Very High Frequency/Ultra High

## Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

Frequency, frecuencias empleadas para comunicaciones tácticas con mayor resistencia a interferencias) en plataformas seleccionadas; la ejecución de pilotos de SATCOM de contingencia (Satellite Communications, enlaces satelitales de respaldo) en misiones tipo **MEDEVAC** (*Medical Evacuation*, evacuación médica), **inserciones** (despliegue de tropas en área de operaciones) y **reabastecimiento** (suministro logístico en vuelo o en zona de combate), aplicando reglas claras de escalamiento. Asimismo, se recomienda realizar **ejercicios combinados aire-tierra** para validar los **SOP** (*Standard Operating Procedures*, procedimientos operativos estandarizados) y medir el desempeño de los sistemas.

Responsables: Direcciones de material y mantenimiento, operaciones aéreas, comunicaciones- JEMPP, JEMGF, CEDE6, CEDE5. Riesgos: limitaciones presupuestales y de soporte; mitigación con compras escalonadas y priorización por riesgo operacional (ONU, 2021; OTAN, 2023).

Fase III — Largo plazo (18–36 meses). Se consolida la arquitectura integrada y la gobernanza del espectro. Acciones: despliegue de radios multibanda y multibearer; integración de monitoreo de calidad de enlace en tiempo casi real; acuerdos de coordinación civil-militar para administración dinámica del espectro y portadores alternos; institucionalización del ciclo de lecciones aprendidas con retroalimentación a instrucción. Productos: red operacional con redundancias planificadas; centro de monitoreo/alertas; convenios ATS-operaciones; repositorio institucional de SOP y lecciones aprendida (RDA).

Responsables: JEMPP, JEMGF, CEDE6, CEDE5, enlaces con la autoridad ATS. Riesgos: complejidad de interoperabilidad multinivel; mitigación con roles y

## Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

responsabilidades claros por niveles, tal como recomienda AJP-6 (OTAN, 2024; Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil, 2020). Aseguramiento y control: indicadores operativos. Para verificar avances y orientar decisiones, se emplearán indicadores centrados en la continuidad del mando y control, la calidad del enlace y la madurez procedural, consistentes con el enfoque de resiliencia y mejora continua (OTAN, 2022; Ejército Nacional de Colombia, 2022).

**Tabla 3**

Indicadores operativos para el seguimiento del plan por fases

<b>Indicador</b>	<b>Definición</b>	<b>Meta Fase I</b>	<b>Meta Fase II</b>	<b>Meta Fase III</b>
Incidentes por pérdida/degradación de enlace por 100 salidas	Número de eventos reportados/100 salidas (misma tipología de misión)	-20 % vs. línea base	-40 %	-60 %
Tiempo medio de restablecimiento (MMTR)	Minutos desde la falla hasta restablecer enlace (primario o alterno)	≤ 3 min	≤ 2 min	≤ 1 min
Claridad de mensaje (colación correcta en primera transmisión)	% de mensajes críticos con colación correcta al primer intento	≥ 85 %	≥ 92 %	≥ 96 %
Disponibilidad de alternas planificadas	% de misiones con alternas y handover verificados en prevuelo	≥ 90 %	≥ 95 %	≥ 98 %
Cobertura efectiva en corredores críticos	% de tramos priorizados con enlace sostenido (pruebas en teatro)	+10 p.p.	+25 p.p.	+40 p.p.
Certificación de tripulaciones en SOP-Comms	% de tripulaciones certificadas en SOP/contingencias	≥ 70 %	≥ 85 %	≥ 95 %
Cierre de lecciones aprendidas	% de incidentes con acción correctiva implementada y verificada	≥ 70 %	≥ 85 %	≥ 95 %

## Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

*Nota.* p.p. = puntos porcentuales. Metas referidas a una línea base medida en los 3 meses previos a la Fase I.

**Fuente:** elaboración propia con base en doctrina nacional e internacional.

Mecanismo de revisión y ajuste. Cada trimestre se realizará una revisión de métricas e hitos por parte de Operaciones y Comunicaciones, con actas de decisiones y actualización de SOP y planes de entrenamiento. Semestralmente se validarán pilotos tecnológicos y su costo-beneficio (rendimiento/soporte) para decidir escalamiento o sustitución. Anualmente se actualizará el mapa de cobertura y la priorización de corredores críticos, en coordinación con la autoridad ATS (Ministerio de Defensa Nacional, 2022; Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil, 2020).

Con este esquema por fases, la mejora deja de depender de iniciativas locales y se convierte en un proceso institucional con metas observables, lo que permite reducir progresivamente el impacto de las fallas de FM y sostener la continuidad del mando y control en los teatros más exigentes (Ejército Nacional de Colombia, 2019; OTAN, 2022; ONU, 2021).

## **5. Conclusiones**

El análisis doctrinal y normativo, complementado con la evidencia empírica levantada mediante la encuesta, muestra que la frecuencia modulada (FM) se mantiene en la Aviación del Ejército como columna de enlace aire-tierra por razones de interoperabilidad con las unidades en superficie, disponibilidad logística y simplicidad operativa. Estas ventajas explican su persistencia histórica y su utilidad táctica en escenarios de alta demanda de coordinación.

Sin embargo, las limitaciones de la FM son consistentes y relevantes: pérdida de enlace, interferencias, saturación y disminución de alcance/calidad en entornos montañosos, selváticos y urbanos densos. Tales fallas impactan la sincronización, la oportunidad de la decisión y la seguridad operacional, especialmente durante fases críticas de misión. La encuesta confirma este panorama con altos niveles de acuerdo respecto a la ocurrencia de incidentes y sus efectos en demoras y replanteamientos tácticos.

A partir de los hallazgos, se identifican tres líneas prioritarias y complementarias de mejora. Primero, modernización tecnológica y arquitectura resiliente que complemente la FM con portadores alternos y redundancias planificadas, reduciendo la dependencia de un único medio.

Segundo, estandarización de procedimientos inter-unidades (SOP), listas de verificación y protocolos de handover/alternas, junto con un ciclo formal de lecciones aprendidas que cierre brechas repetitivas. Tercero, capacitación recurrente y específica en

## **Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”**

Bogotá D.C., Colombia

gestión de enlaces, mitigación de interferencias y manejo de contingencias, con validación en ejercicios combinados aire-tierra y en topografías exigentes.

Estas medidas son viables en un esquema de implementación por fases: acciones inmediatas de procedimiento y entrenamiento; renovaciones selectivas de equipos e infraestructura de antenas y repetidoras en el mediano plazo; e integración progresiva de capacidades multibanda/multibearer con gobernanza del espectro y coordinación civil-militar.

El seguimiento deberá apoyarse en indicadores operativos (incidentes por pérdida de enlace, tiempos de restablecimiento, cumplimiento de colación/claridad, disponibilidad de alternas y certificación de tripulaciones), de modo que la mejora sea verificable y sostenida. El estudio presenta dos límites principales: i) la naturaleza cualitativa del instrumento empleado y el tamaño muestral, que privilegian profundidad y experiencia acumulada sobre representatividad estadística; y ii) la ausencia de pruebas controladas comparativas entre medios de comunicación en condiciones idénticas.

Como trabajo futuro, se recomienda realizar evaluaciones operativas con métricas de desempeño (potencia recibida, tasa de paquetes/claridad de mensaje, latencia de coordinación), análisis costo-beneficio de alternativas tecnológicas, y pilotos de interoperabilidad más allá de FM en misiones conjuntas y combinadas.

En síntesis, la FM seguirá cumpliendo un papel importante como capacidad de respaldo y lenguaje común aire-tierra; no obstante, su fiabilidad actual no es suficiente por sí

## Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

sola para las exigencias del teatro de operaciones. La combinación de modernización tecnológica, procedimientos estandarizados, entrenamiento recurrente y coordinación institucional ofrece una ruta realista para fortalecer el mando y control y reducir de manera significativa el impacto de las fallas de comunicación en la efectividad de las misiones.

## Glosario

**Tabla 4, Glosario de siglas y abreviaturas**

Sigla	Significado	Fuente doctrinal / técnica
<b>AJP</b>	<i>Allied Joint Publication</i> – Publicación Conjunta Aliada de la OTAN	OTAN, 2022
<b>ATS</b>	<i>Air Traffic Services</i> – <i>Servicios de Tránsito Aéreo</i>	OACI, 2018

**Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”**

Bogotá D.C., Colombia

<b>CIS</b>	<i>Communications and Information Systems – Sistemas de Comunicaciones e Información</i>	OTAN, 2022
<b>COLAR</b>	<i>Comando del Ejército de Colombia</i>	EJC, 2015
<b>DAN</b>	<i>Dirección de Aeronáutica Nacional (antecedente de Aerocivil en Colombia)</i>	Aerocivil, 2020
<b>EJC</b>	<i>Ejército Nacional de Colombia</i>	EJC, 2015
<b>ESCOM</b>	<i>Escuela de Comunicaciones Militares</i>	EJC, 2023
<b>FM</b>	<i>Frequency Modulation – Frecuencia Modulada</i>	EJC, 2015
<b>FMU</b>	<i>Frequency Management Unit – Unidad de Gestión de Frecuencias</i>	OTAN, 2022
<b>HF</b>	<i>High Frequency – Alta Frecuencia</i>	OACI, 2018
<b>MEDEVAC</b>	<i>(Medical Evacuation)</i> , evacuación médica	OTAN, 2022
<b>JEMGF</b>	<i>Jefe de Estado Mayor General de las Fuerzas</i>	EJC, 2015
<b>JEMPP</b>	<i>Jefe de Estado Mayor de Planeación y Políticas</i>	EJC, 2015
<b>MASNA</b>	<i>Manual de Seguridad Nacional Aérea</i>	Fuerzas Militares de Colombia, 2019
<b>MCE</b>	<i>Manual de Campaña del Ejército</i>	EJC, 2015
<b>NATO</b>	<i>North Atlantic Treaty Organization – Organización del Tratado del Atlántico Norte</i>	OTAN, 2022

## Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

<b>ONU</b>	<i>Organización de las Naciones Unidas</i>	ONU, 2020
<b>OTAN</b>	<i>Organización del Tratado del Atlántico Norte</i>	OTAN, 2022
<b>PEI</b>	<i>Proyecto Educativo Institucional</i>	MEN, 2018
<b>RAC</b>	<i>Reglamentos Aeronáuticos de Colombia</i>	Aerocivil, 2020
<b>RDA</b>	<i>Radio Digital Avanzada (en doctrina OTAN)</i>	OTAN, 2022
<b>SATCOM</b>	<i>Satellite Communications – Comunicaciones Satelitales</i>	OTAN, 2022
<b>SIALT</b>	<i>Sistema de Alimentación con Energía Alternativa</i>	CGFM, 2024
<b>SOP</b>	<i>Standard Operating Procedures – Procedimientos Operativos Estandarizados</i>	OTAN, 2022
<b>TM</b>	<i>Teniente Militar (grado) o Technical Manual según contexto</i>	EJC, 2015
<b>UHF</b>	<i>Ultra High Frequency – Frecuencia Ultra Alta</i>	OACI, 2018
<b>VHF</b>	<i>Very High Frequency – Frecuencia Muy Alta</i>	OACI, 2018

## **Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”**

Bogotá D.C., Colombia

### **Referencias**

Borrero, A. (2019). *Militares, política y sociedad*. Editorial Planeta.

Clarke, R. A. (2015). *Cyber war: The next threat to national security and what to do about it*. HarperCollins.

Escuela de Comunicaciones Militares. (2023). Proyecto Educativo Institucional (PEI).

Ejército Nacional de Colombia. (2016). EJC-4-32: Comunicaciones en campaña. Escuela de Comunicaciones Militares.

Ejército Nacional de Colombia. (2008). *TM 1-70 COLAR-10: Manual técnico de aviación* (C1, 19 de septiembre). Ejército Nacional de Colombia.

Ejército Nacional de Colombia. (2015). *EJC-3-198: Explorador y guía de aeronaves*.  
Ejército Nacional de Colombia.

Ejército Nacional de Colombia. (2016). *EJC-4-32: Comunicaciones en campaña*. Escuela de Comunicaciones Militares.

Ejército Nacional de Colombia. (2017). *MCE 3-04: Aviación*. Dirección de Doctrina.

Ejército Nacional de Colombia. (2019). *MCE 3-52: Actividades de gestión del espacio aéreo*. Dirección de Doctrina.

Ejército Nacional de Colombia. (2022). *MCE 3-99*. Dirección de Doctrina.

**Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”**

Bogotá D.C., Colombia

Escuela de Comunicaciones Militares. (2023). *Proyecto Educativo Institucional – ESCOM (PEI)*. Escuela de Comunicaciones.

Fuerza Aérea Colombiana. (2020). *Manual de términos de la Fuerza Aérea Colombiana*. Fuerza Aérea Colombiana.

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.<sup>a</sup> ed.). McGraw-Hill.

Holcomb, J. F. (2002). *Risk: A strategic assessment tool*. U.S. Army War College.

Ministerio de Defensa de Chile. (2009). *DAN-11: Manual de radiotelefonía aeronáutica*. Fuerza Aérea de Chile.

Ministerio de Defensa de Chile. (2022). *Manual de fraseología aeronáutica*. Fuerza Aérea de Chile.

Ministerio de Defensa de Chile. (2024). *DAN-10: Manual de radiotelefonía aeronáutica*. Fuerza Aérea de Chile.

Ministerio da Defesa do Brasil. (2021). Livro Branco de Defesa Nacional.

Ministerio de Defensa del Ecuador. (2022). Política de Defensa Nacional.

Ministerio de Defensa Nacional. (2021). *Manual operativo FMU Colombia*. Ministerio de Defensa Nacional.

**Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”**

Bogotá D.C., Colombia

Ministerio de Defensa Nacional. (2022). *MASNA: Manual de Servicios a la Navegación Aérea*. Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil.

NATO. (2022). *Strategic concept for the defence and security of the members of the North Atlantic Treaty Organization*. NATO Public Diplomacy Division.

NATO. (2023). *C3 taxonomy baseline*. NATO Communications and Information Agency.

NATO. (2024). *AJP-6: Allied joint doctrine for communications and information systems*. NATO Standardization Office.

Organización de las Naciones Unidas. (2021). *United Nations peacekeeping missions military aviation unit manual*. United Nations.

Pizarro, E. (2022). *Ni golpes militares, ni golpes civiles: La tradición civilista en Colombia*. Editorial Debate.

Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil. (2020). *RAC 210: Telecomunicaciones aeronáuticas*. Aerocivil.

Valencia Londoño, P. A., & Nateras, M. (2020). Riesgos de la militarización de la seguridad como respuesta a la violencia derivada del narcotráfico. El caso de Colombia y México. *Espiral: estudios sobre Estado y sociedad*, 27(78-79), 79-116. <https://doi.org/10.32870/ees.v28i78-79.7069>

## Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

Yarger, H. R. (2006). *Strategic theory for the 21st century: The little book on big strategy*.

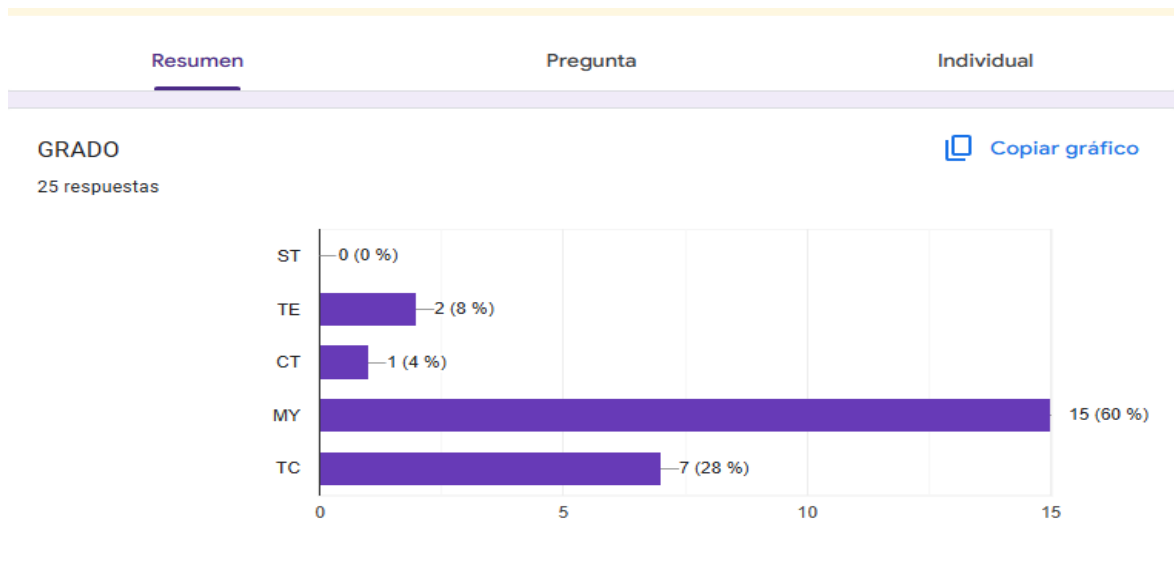
U.S. Army War College.

### Anexo A

Resultados gráficos de la encuesta aplicada al personal de la Aviación del Ejército Nacional

*Figura A1*

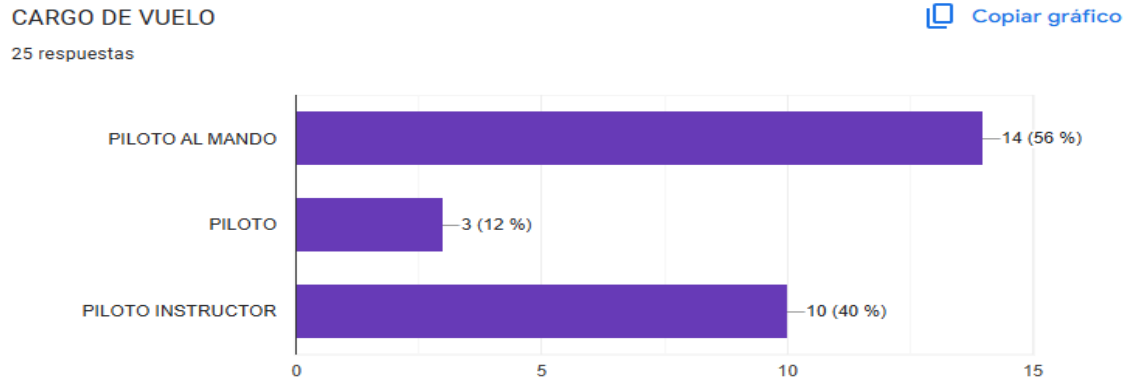
Distribución de los encuestados por grado militar.



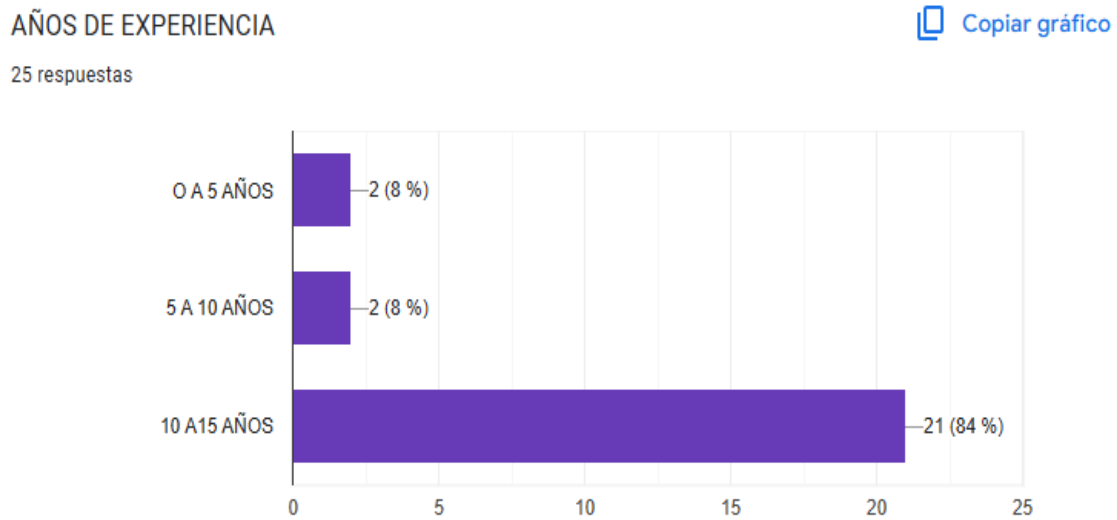
## Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

*Figura A2*  
Distribución de los encuestados por cargo de vuelo.



*Figura A3*  
Distribución de los encuestados por años de experiencia.

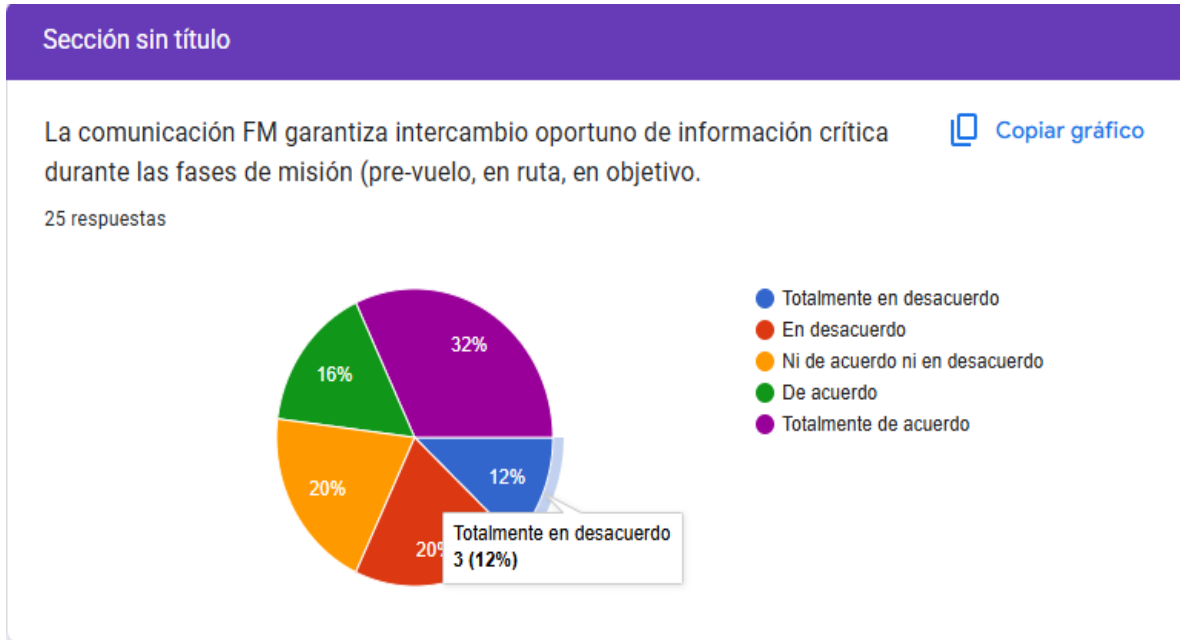


## Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

*Figura A4*

Percepción sobre la utilidad de la comunicación FM en fases de misión.



*Figura A5*

Facilitación de la coordinación aire-tierra mediante FM.

