

# CIENCIA Y PODER AÉREO

Revista Científica de la Escuela de Postgrados Fuerza Aérea Colombiana  
ISSN 1909-7050 / E-ISSN 2389-9468 VOL. 17 N.º 1 | ENERO-JUNIO 2022 | Pp. 1-161



ADASTRA

01

Vol. 17

Institución Universitaria, Resolución 1906 MEN, agosto del 2002

Enero-junio del 2022 | pp. 1-161



[www.publicacionesfac.com](http://www.publicacionesfac.com)





# CIENCIA Y PODER AÉREO

Revista Científica de la Escuela de Postgrados Fuerza Aérea Colombiana

ISSN 1909-7050 / E-ISSN 2389-9468

VOL. 17 N.º 1 | ENERO-JUNIO 2022 | Pp. 1-161

## **Escuela de Postgrados Fuerza Aérea Colombiana**

Director

CR. Ervin Gaitán Serrano

Comandante Grupo Académico

TC. Andrés Felipe Maya Pineda

Comandante Escuadrón de Investigación

MY. Germán Wedge Rodríguez Pirateque



## Ciencia y Poder Aéreo

Director | Director | Diretor  
MY. Germán Wedge Rodríguez Pirateque

Editora | Editor | Editor  
Mg. Erika Juliana Estrada Villa

Editor adjunto | Assitant editor | Associative editor  
Phd. David Enrique López Cortes  
Docente, Maestría en Dirección  
y Gestión de la Seguridad Integral - EPFAC

## Equipo editorial | Editorial team | Equipe editorial

Coordinación editorial | Editorial coordination | Coordenação editorial  
Mag. María Carolina Suárez Sandoval

Asistencia editorial | Editorial assistance | Assistência editorial  
Mag. Jenny Marcela Rodríguez

Corrección de texto | Copyediting | Revisor de textos  
Español: María Carolina Ochoa García

Traducción de contenidos | Content translation | Tradução de conteúdo  
Inglés: Sandra Alarcón  
Portugués: Gedma Alejandra Salamanca Rodríguez

Diseño y maquetación | Desing and layout | Design e layout  
Angélica Ramos Vargas

Corrección de sintaxis | Proofreading | Revisor de textos  
Karen Grisales

Foto de cubierta | Cover photo | Foto de capa  
Cortesía de la Revista Aeronáutica - Fuerza Aérea Colombiana

## Información técnica | Technical information | Informações técnicas

Volumen 17, n.º 1 | Enero-junio 2022  
Periodicidad semestral  
ISSN 1909-7050  
E-ISSN 2389-9468  
DOI: <https://doi.org/10.18667/issn.1909-7050>  
Bogotá, Colombia 2022

## Comité editorial | Editorial Board | Comitê editorial

Cesar Nieto Londoño  
Ph. D. en Ingeniería  
Universidad Pontificia Bolivariana, Colombia

José M. García-Bravo  
Ph. D. en Ingeniería  
Purdue University, EE. UU.

Jesús Alfredo Guemes Gordo  
Ph. D. en Ingeniería Aeronáutico  
Universidad Politécnica de Madrid, España

Sergio Tobón Tobón  
Ph. D. en Modelos Educativos y Políticas Culturales  
Centro Universitario CIFE, México

Juan Pablo Casas Rodríguez  
Ph. D. en Ingeniería Mecánica  
Universidad de los Andes, Colombia

Julián Sierra Pérez  
Ph. D. en Ingeniería Aeroespacial  
Universidad Pontificia Bolivariana, Colombia

César Augusto Niño González  
Ph. D. en Cuestiones actuales del Derecho Español e Internacional  
Universidad de La Salle, Colombia

Juan Sebastián López López  
Ph. D. en Comunicación y Ciencias Sociales  
Universidad Santo Tomás, Colombia

## Comité científico | Scientific Board | Comitê científico

Cristina Cuerno Rejado  
Ph. D. en Ingeniería Aeronáutica  
Universidad Politécnica de Madrid, España

Javier Alberto Pérez-Castán  
Ph. D. en Ingeniería Aeronáutica  
Universidad Politécnica de Madrid, España

Hernán Paz Penagos  
Ph. D. en Educación  
Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Colombia

Héctor Enrique Jaramillo Suárez  
Ph. D. en Mecánica de Sólidos  
Universidad Autónoma de Occidente, Colombia

Jerónimo Ríos Sierra  
Ph. D. en Ciencias Políticas  
Universidad Complutense de Madrid, España

Zakia Shiraz  
Ph. D. en Política y Estudios Internacionales  
Universidad de Leiden, Países Bajos

Paulo Pascuini  
Mag. en Economía  
Universidad de Buenos Aires, Argentina

## **Pares académicos | Academic peers | Pares académicos**

**Alex Fernando Jiménez Vélez**

Ph. D. en Ingeniería de Proyectos y Sistemas  
Centro de Investigación y Desarrollo  
de la Fuerza Aérea Ecuatoriana, Ecuador

**Carmen Astrid Romero**

Ph. D. en Historia e Instituciones Económicas  
Universidad Sergio Arboleda, Colombia

**César Núñez**

Ph. D. en Psicología  
Universidad de Medellín, Colombia

**Conrado Augusto Serna Urán**

Ph. D. en Ingeniería Industria y Organizaciones  
Instituto Tecnológico Metropolitano, Colombia

**Daniel Agudelo Noreña**

Mag. en Ingeniería Aeroespacial  
Universidad de San Buenaventura, Colombia

**Delvis Muñoz Rojas**

Ph. D. en Ciencias, mención Gerencia  
Universidad de La Guajira, Colombia

**Elías Francisco Amórtegui Cedeño**

Ph. D. en Didácticas Específicas:  
Línea Didáctica de las Ciencias Experimentales  
Universidad Surcolombiana, Colombia

**Hernán Dario Cerón Muñoz**

Ph. D. en Ingeniería Mecánica  
Escola de Engenharia de São Carlos (EESC) -  
Universidade de São Paulo (USP), Brasil

**John Cristhian Fernández Lizarazo**

Ph. D. en Ciencias Agrarias  
Universidad de La Salle, Colombia

**Jonnathan Jiménez Reina**

Ph. D. en Seguridad Internacional  
Escuela Superior de Guerra, Colombia

**José Luis Trisancho Reyes**

Ph. D. en Ciencia de Materiales  
Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia

**Lilia Edith Aparicio Pico**

Ph. D. en Ciencias Técnicas  
Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia

**Luini Leonardo Hurtado Cortés**

Ph. D. en Ingeniería Automática  
Universidad Distrital Francisco José De Caldas, Colombia

**Luis Eduardo Sandoval Garrido**

Ph. D. en Economía  
Universidad Militar Nueva Granada, Colombia

**Magda Gabriela Sánchez Trujillo**

Ph. D. en Administración  
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México

**Marianela Luzardo Briceño**

Ph. D. en Estadística  
Universidad Pontificia Bolivariana, Colombia

**Rodolfo Rodríguez Baracaldo**

Ph. D. en Ciencia de Materiales  
Universidad Nacional de Colombia

**Rubén Javier Medina Daza**

Ph. D. en informática con énfasis en Sistemas de Información Geográfica  
Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia

**Sergio Gabriel Eissa**

Ph. D. en Ciencia Política  
Universidad de Buenos Aires, Argentina

**Vicente Nadal Mora**

Ph. D. en ingeniería  
Universidad Nacional de La Plata, Argentina

**Vladimir Balza Franco**

Ph. D. en Administración  
Universidad del Magdalena, Colombia

**Revista avalada por Publindex**

**Indexada en:** Latindex, DOAJ, EbscoHost,  
Redib, Dialnet, Rebiun, ErihPlus, Periódica,  
Sherpa Romeo, Google Scholar

---

**Para suscripciones o canjes, diríjase a:**

**Ciencia y Poder Aéreo**

✉ [cienciaypoderaaereo@epfac.edu.co](mailto:cienciaypoderaaereo@epfac.edu.co)  
(601) 620 6518 Ext. 1700, 1722  
Biblioteca Escuela de Postgrados Fuerza Aérea Colombiana

**Para mayores informes:**

Dirección postal | Mailing Address | Endereço postal  
Cra. 11 n.º 102-50 Edificio ESDEG, Escuadrón de Investigación  
Oficina 411. A.A.110111. Bogotá D.C., Colombia  
(601) 620 6518. Ext. 1700, 1722  
[www.publicacionesfac.com](http://www.publicacionesfac.com)

---

# Contenido

## Desarrollo Espacial, AD Astra

6-21

### Selección de un sistema de separación de etapas para cohetes multietapa

Selection of a stage separation system for multistage rockets

Seleção de um sistema de separação de estágios para foguetes multiestágio

Luisa Fernanda Mónico Muñoz, Juan David Blanco Camargo

## Seguridad Operacional y Logística Aeronáutica

22-36

### Atenuación estimada del ruido en actividades de mantenimiento aeronáutico militar

Estimated noise reduction in military aeronautical maintenance activities

Atenuação estimada de ruído em atividades de manutenção aeronáutica militar

Alvaro Guillermo Ortiz Rodríguez

37-54

### Impacto de los riesgos psicosociales, estrés y toma de decisiones en la seguridad operacional

Impact of psychosocial risks, stress and decision making on operational safety

Impacto dos riscos psicossociais, estresse e tomada de decisão na segurança operacional

Juan Esteban Lozano Plazas, Nindre Pico Quintero

55-66

### Aproximación teórica a la definición del concepto de sitio atractivo de avifauna fuera del aeropuerto

Theoretical approach to defining the concept of an attractant birdlife site off-airport

Aproximação teórica à definição do conceito de local atrativo de avifauna fora do aeroporto

Holman Enrique Durán-Márquez

## Tecnología e Innovación

67-80

### Modelo de toma de decisión para materiales de mantenimiento, reparación y operaciones (MRO)

Decision-making model for maintenance, repair and operations materials (MRO)

Modelo de tomada de decisão para materiais de manutenção, reparo e operações (MRO)

Tercia Emanuelle Ribeiro Alves, Ciro Alberto Amaya Guío

81-97

**Diseño y construcción de un sistema portátil para curado automático de materiales compuestos**

Design and construction of a portable system for automatic curing of composite materials

Projeto e construção de um sistema portátil para cura automática de materiais compostos

Andrés Marcelo Carranco Herrera

**Seguridad Integral**

---

98-115

**Integración de capacidades de la vigilancia aérea urbana aplicadas a la seguridad ciudadana en Bogotá**

Integration of urban aerial surveillance capabilities applied to citizen security in Bogotá

Integração de capacidades da vigilância aérea urbana aplicada à segurança cidadã em Bogotá

Diego Alejandro Arellano Muñoz, Carlos Andrés Cárdenas Ayala, Douglas Eduardo Molina Orjuela

116-127

**Nuevos roles militares y otras medidas asociadas a la gestión del riesgo en relación con la pandemia de la COVID-19 en Colombia**

New military roles and other risk management measures associated with the COVID-19 pandemic in Colombia

Novas funções militares e outras medidas associadas à gestão de risco em relação à pandemia de COVID-19 na Colômbia

Alejandra Cerón Rincón, Yuber Rico Venegas

128-136

**Modelo de administración para optimizar recursos del sistema de seguridad y defensa de bases aéreas**

Administration model to optimize resources of the security and defense system of air bases

Modelo de administração para otimizar recursos do sistema de segurança e defesa de bases aéreas

Giovanna Estefanía Ramírez Ruiz, Raúl Orlando Antolinez Díaz

**Educación y TIC**

---

137-149

**Comportamiento del uso de datos abiertos en Colombia (2016-2021)**

Behavior of the use of open data in Colombia (2016-2021)

Comportamento do uso de dados abertos na Colômbia (2016-2021)

Jenny Paola Cervera Quintero

150-161

**Instrucciones para autores | Guidelines for Authors | Diretrizes para autores**

# Selección de un sistema de separación de etapas para cohetes multietapa

| Fecha de recibido: 04 de agosto del 2021 | Fecha de aprobación: 12 de octubre del 2021 |

## Luisa Fernanda Mónico Muñoz

Doctora en Sistemas Propulsivos  
en Medios de Transporte

Docente, Fundación Universitaria Los Libertadores  
Colombia

Grupo de investigación en Diseño, Análisis y  
Desarrollo de Sistemas de Ingeniería – GIDAD

Rol de investigador: teórico, experimental y escritura  
<https://orcid.org/0000-0002-3597-6332>

✉ [luisa.monico@libertadores.edu.co](mailto:luisa.monico@libertadores.edu.co)

## Juan David Blanco Camargo

Estudiante de Ingeniería Aeronáutica

Fundación Universitaria Los Libertadores  
Colombia

Grupo de investigación en Diseño, Análisis y  
Desarrollo de Sistemas de Ingeniería – GIDAD

Rol de investigador: teórico, experimental y escritura  
✉ [jdblancoc@libertadores.edu.co](mailto:jdblancoc@libertadores.edu.co)

**Cómo citar este artículo:** Mónico Muñoz, L. F., & Blanco Camargo, J. D. (2022). Selección de un sistema de separación de etapas para cohetes multietapa. *Ciencia y Poder Aéreo*, 17(1), 6-21. <https://doi.org/10.18667/cienciaypoderareo.728>



## Selección de un sistema de separación de etapas para cohetes multietapa

**Resumen :** El objetivo general de esta investigación es el análisis para la selección de un sistema de separación de etapas que use como actuadores dispositivos no explosivos en el evento de liberación para un cohete multietapa, con el fin de disminuir tanto riesgos como fallas durante la misión y también en el manejo y ensamble de estos sistemas en tierra. Por otro lado, la investigación busca contribuir al desarrollo de la industria aeroespacial en el país, y ayudar al aumento de la escasa documentación disponible en estas tecnologías para una futura implementación de estos sistemas en Colombia, que permitirán el uso del espacio ultraterrestre, llevando cargas a diferentes órbitas desde el territorio colombiano. La metodología desarrollada se dividió en varias partes: la revisión de la literatura, la redacción de los requisitos que debe cumplir el sistema y, por medio de una matriz de tamizaje de tres sistemas previamente elegidos, se logró la selección de un sistema que se destaca por sus características descritas y por el cumplimiento de la gran mayoría de requisitos establecidos.

**Palabras clave:** aeroespacial; cohete multietapa; dispositivos no explosivos; etapas; requisitos; sistema de separación.

## Selection of a stage separation system for multistage rockets

**Abstract:** The main goal of this research is the analysis for the selection of a stage separation system that uses non explosive devices as actuators in the liberation event of a multistage rocket, in order to reduce both risks and failures during the mission and also in the handling and assembly of these systems on the ground. On the other hand, the research seeks to contribute with the development of the aerospace industry in the country, helping increase the scarce documentation available in these technologies for a future implementation of these systems in Colombia. This, in turn, will allow the use of outer space, for carrying payloads to the different orbits from Colombian territory. The methodology developed was divided into several parts that allowed for the review of the literature in this topic, the wording of the requirements to be met by the system and by means of a screening matrix of three previously selected systems. A system was selected that stands out from others due to its described characteristics and compliance with most of the established requirements.

**Keywords:** Aerospace; multistage rocket; non-explosive devices; stages; requirements; separation systems.

## Seleção de um sistema de separação de estágios para foguetes multiestágio

**Resumo:** O objetivo geral desta pesquisa é a análise para a seleção de um sistema de separação de estágios que utilize dispositivos não explosivos como atuadores, no evento de lançamento de um foguete multiestágio, a fim de reduzir riscos e falhas durante a missão e também no gerenciamento e montagem desses sistemas em terra. Por outro lado, a pesquisa busca contribuir para o desenvolvimento da indústria aeroespacial no país, ajudando a aumentar a escassa documentação disponível sobre essas tecnologias, para uma futura implementação desses sistemas na Colômbia, que permitirão o uso do espaço sideral, transportando cargas para diferentes órbitas do território colombiano. A metodologia desenvolvida foi dividida em várias partes que permitiram a revisão da literatura sobre este tema, a elaboração dos requisitos que o sistema deve cumprir e, através de uma matriz de triagem de três sistemas previamente escolhidos, conseguiu-se a seleção de um sistema que se destacasse das demais pelas características descritas e pelo atendimento da grande maioria dos requisitos estabelecidos.

**Palavras-chave:** Aeroespacial; foguete multiestágio; dispositivos não explosivos; estágios; requisitos; sistema de separação.

## Introducción

En Colombia, el sector aeroespacial ha sido impulsado durante los últimos años debido a la necesidad de dejar de ser consumidores de esta industria para empezar a producir y proveer productos, dispositivos, servicios del sector, etc. En el año 2020, el Gobierno de Colombia presentó el documento Conpes 3983 (Departamento Nacional de Planeación [DNP], 2020), que propone una política de desarrollo espacial en el país y cuyo su resumen ejecutivo menciona la falta de información en el sector como una de las causas de por qué no se ha desarrollado esta industria en el país. Por otro lado, una de las estrategias mencionadas en su política es la identificación de las bases del sector aeroespacial, y es por esto que, con base en un futuro desarrollo de la industria aeroespacial, se encuentra la necesidad de empezar a investigar sobre los sistemas ingenieriles necesarios para la fabricación de cohetes espaciales.

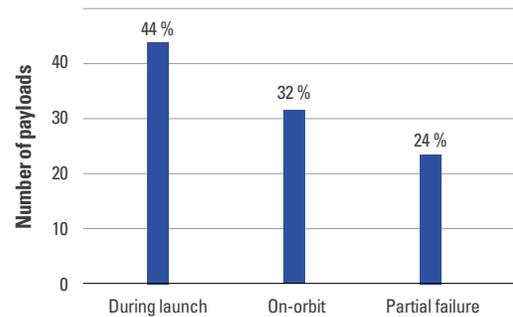
La clasificación de los cohetes espaciales se puede dar según el número de etapas: cohetes de una sola etapa o cohetes multietapa. La principal razón de uso de los cohetes multietapa es que una vez se agota el combustible de las etapas inferiores, estas pueden ser separadas de la estructura para disminuir el peso total y así no afectar su aceleración.

La separación de las etapas es uno de los sistemas críticos del cohete, ya que el sistema tiene que ser capaz de tener juntas las etapas y permitir su separación en el momento indicado. Existen varias maneras de realizar el proceso de separación; el más frecuente ha sido la utilización de sistemas explosivos; sin embargo, este tipo de dispositivos ha representado accidentes y fallas a lo largo de la historia espacial, como los mostrados en las figuras 1 y 2.

La figura 1 muestra las estadísticas de falla de cien cargas útiles a bordo de 91 misiones espaciales de la última década (2009-2019), analizadas en Katttakuri (2019); el 44 % de las cargas fue perdido antes de alcanzar la órbita, es decir, en las fases de lanzamiento y separación, cuando todos los sistemas de separación que utilizaban estas misiones fallidas utilizaban mecanismos pirotécnicos. La figura 2 representa fallas

históricas en el evento de separación mediante puntos rojos que representan los fallos de este sistema en los lanzamientos de varias familias de cohetes.

Figura 1. Estadística de fallas en la carga útil (2009-2019)



Fuente: Katttakuri (2019).

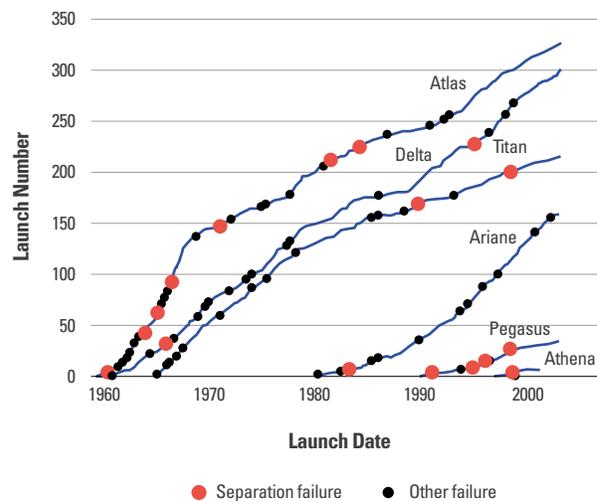


Figura 2. Fallas históricas en los sistemas de separación

Fuente: Mayers *et al.* (2009).

De igual manera, un estudio de The Aerospace Corporation (Chang, 2001) mostró que los sistemas de separación fueron la tercera causa con más fallas en los lanzamientos de la últimas dos décadas. Algunos accidentes y errores más recientes causados por el sistema de separación de etapas han sido el del Soyuz MS-10 (Europa Press, 2 de noviembre de 2018) o el de Rocket Lab, fallido posiblemente por este sistema (Foust, 4 de julio de 2020), entre otros. Este tipo

de sistemas explosivos representa riesgos para la estructura como fallas de sistemas cercanos, cambios de trayectoria y explosiones no deseadas, además de ser costosos (Systima Technologies Inc., 2013) y aumentar la huella ecológica de residuos espaciales. Por ello, el objetivo de este trabajo es analizar la literatura y seleccionar un sistema de separación de etapas que utilice dispositivos no-explosivos y que pueda ser implementado en el futuro de la industria aeroespacial del país.

## Metodología

La investigación está centrada en encontrar un mecanismo específico cuyo objetivo será permitir la separación de etapas en cohetes multietapa; y la estrategia que se plantea para lograr el objetivo propuesto se basa en el análisis de la literatura de dichos sistemas. Para la búsqueda y revisión de la información respecto a los sistemas de separación de etapas, se hizo una investigación a fondo sobre los antecedentes de este tipo de dispositivos (específicamente no-explosivos) en investigaciones a nivel internacional y en Colombia.

El trabajo está dividido en cuatro partes. La primera parte es la ingeniería de requisitos, es decir, el planteamiento de los requisitos que se busca que tenga el sistema de separación; dichos requisitos están redactados y estructurados según la metodología de Halligan (2014) y también están caracterizados por una importancia según lo que se busca del sistema; la metodología de medición de estos requisitos es el análisis de la literatura de los sistemas que se escogieron para ser evaluados por su uso comercial o porque están siendo actualmente desarrollados.

La segunda parte de la investigación es la búsqueda y selección de los sistemas de separación que se van a considerar para evaluarlos según los requisitos planteados. Las consideraciones que se tuvieron en cuenta para esta selección fueron, entre otras, la utilización del sistema en algún proyecto anterior y su frecuencia de uso, que el sistema no utilizara dispositivos explosivos, y que fueran o estén siendo diseñados por instituciones de investigación reconocidas

internacionalmente; otro de los parámetros que se tuvieron en cuenta para la selección fue la búsqueda de información del desarrollo de este tipo de sistemas en Colombia, con el fin de reconocer los proyectos desarrollados en este campo. Por otro lado, se definen los sistemas de separación de etapas y su clasificación, y luego se describe cada uno de los sistemas que se han seleccionado para evaluar.

La última parte de la investigación fue el análisis de los sistemas considerados. Se utilizó la metodología de tamizaje de conceptos o evaluación QFD; los requisitos planteados se evaluaron en cada uno de los sistemas considerados por medio de la matriz de tamizaje de conceptos mostrada en la tabla 3, que permite evaluar y comparar cada uno de los sistemas. En esta matriz, el signo “+” representa que el sistema es mejor que los demás en el requisito correspondiente, el signo “-” representa que el sistema es peor que los otros, el número “0” simboliza que el sistema es igual a los demás en dicho requisito y “/” representa que no se encontró información sobre el requisito respectivo. Junto a esta matriz de tamizaje, se realizó una descripción de algunas especificaciones para los requisitos de cada sistema. Finalmente, para concluir cuál es el sistema de separación de etapas que mejor cumple con los requisitos establecidos, se restan las calificaciones positivas de las negativas y se ordenan ascendente según su calificación final.

## Requisitos del sistema

Para tener una mejor decisión a la hora de seleccionar un sistema apropiado, se elaboró una lista de parámetros o requisitos que el sistema debería cumplir. La escogencia de estos es un proceso clave porque, según estos parámetros, los futuros *stakeholders* o interesados en este tipo de proyectos podrán hacer uso del sistema de separación; y, por otro lado, se piensa que los requisitos son la clave para un proyecto o sistema exitoso. Los requisitos planteados tienen una importancia que va de 5 a 1, siendo 5 la más importante y 1 la menos importante, mostrados en la tabla 1.

Tabla 1.  
Requisitos del sistema de separación de etapas

ID	Requisito	Importancia
R.1	La separación de etapas se debe hacer mediante el uso de un sistema no explosivo, es decir que no tenga carga pirotécnica.	5
R.2	En la separación de etapas, el sistema no debe afectar la trayectoria del cohete.	5
R.3	El sistema debe tener un nivel de madurez tecnológica o TRL mayor o igual a 7 de acuerdo con Colombia Científica (2017).	3
R.4	El manual de uso del sistema debe estar disponible.	3
R.5	En tierra, el sistema tiene que ser testeable.	5
R.6	En la separación de etapas, el sistema debe proveer una liberación con una latencia baja.	4
R.7	En la separación de etapas, el sistema no debe generar residuos o basura espacial.	4
R.8	El choque y la vibración que produzca el sistema debe ser de nivel bajo.	3

Fuente: elaboración propia.

La selección de los requisitos se debió a los siguientes factores:

**R.1:** Como ya se explicó, los sistemas de separación de etapas que han usado dispositivos explosivos han tenido fallas y accidentes que se quieren evitar usando mecanismos que no utilicen cargas pirotécnicas, pues también permiten mejor manejo de los sistemas de separación. A su vez, este tipo de mecanismos podría permitir la reutilización de alguna de las etapas.

**R.2:** Debido a las vibraciones y los posibles choques del sistema, al momento de la separación se pueden generar alteraciones en la trayectoria de la estructura general, por lo que se debe garantizar una separación lineal.

**R.3:** Se requiere un nivel de madurez tecnológica nivel 7, porque en este nivel el sistema ya debe estar desarrollado en un entorno real y también se le han hecho varias pruebas que demuestran su funcionamiento.

**R.4:** Se busca que el manual de uso del sistema esté disponible para poder entender de una correcta manera el sistema; sin embargo, se le da una importancia de 3, debido a que muchos sistemas son clasificados o de uso privado para las compañías que los utilizan.

**R.5:** Algunos sistemas de separación o componentes aeroespaciales a menudo no son probados o testeados debido al alto precio de ciertas pruebas o a la falta de recursos de laboratorio. Por otro lado, el uso de dispositivos explosivos en los sistemas de separación de etapas no permitía siempre el ensayo del sistema debido a las cargas pirotécnicas. Se busca que el sistema sea testeable o probado en tierra antes de ser colocado en algún cohete por factores de seguridad de las posibles misiones.

**R.6:** El tiempo de latencia es el tiempo que tardan en separarse las etapas, el sistema debe proveer una liberación rápida, es decir que al enviar la señal de la separación o activar el actuador, no se debe presentar un retraso grande para la separación.

**R.7:** Actualmente, la basura espacial es uno de los grandes problemas por los que está atravesando la industria aeroespacial, y debido a esto se busca que el sistema de separación no contribuya a los desechos que se están generando en el espacio ultraterrestre.

**R.8:** Las cargas y vibraciones del sistema al momento deben ser bajas para ayudar a reducir las cargas inducidas y las posibles fallas causadas por fatiga o pérdidas del control del vehículo.

## Sistemas de separación de etapas

Los sistemas de separación de etapas son los encargados de la liberación de las múltiples fases o etapas agrupadas al cohete, ya sea con una configuración en tándem o en paralelo. Este sistema es uno de los más complejos y críticos en el desarrollo de cohetes, debido a que tiene que cumplir con dos objetivos: mantener juntas las etapas soportando grandes cantidades de fuerzas o aceleraciones y ser capaz de separar las etapas en su respectivo momento (Cárdenas y Moncayo, 2008).

Generalmente, un evento de separación de etapas consta de dos partes. En la primera parte, se busca eliminar las uniones entre las etapas respectivas; y en la segunda, se da la expulsión física de la etapa y el resto de la estructura del cohete. Por otro lado, el sistema

de separación siempre debe tener unas características para evitar cualquier riesgo de la misión, como que en el momento de la separación no exista contacto físico entre las etapas, que no se cambie la trayectoria del cohete o el mal funcionamiento de este.

En la presente investigación, los sistemas de separación se clasificaron en dos: con dispositivos explosivos y con dispositivos no-explosivos (que son los de interés).

## Sistemas de separación con dispositivos explosivos

Son aquellos que en el sistema de separación utilizan cargas pirotécnicas, y han sido los más usados en la historia. Algunos cohetes en los que se han implementado son las naves Apollo y Saturn v (National Aeronautics and Space Administration [NASA], 2009). Estos dispositivos suelen tener varias formas, entre ellas pernos, tuercas, collares, anillos, etc., y se destaca el uso de pernos explosivos. Estos dispositivos es necesario manejarlos con precaución, debido a los riesgos operativos de las cargas explosivas. Por otro lado,

como se ha mencionado, estos mecanismos representan grandes riesgos para el cohete, a saber:

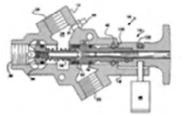
- Al momento de activarse, la carga puede llegar a afectar la integridad estructural o algún otro subsistema del vehículo (Torres, 2018).
- Debido a las vibraciones causadas por las explosiones, al momento de la separación se puede ver afectada la trayectoria del vehículo.
- Si no se opera con precaución, se puede causar daños a las personas que lo están operando.
- En el momento de la separación, se pueden producir desechos o residuos espaciales.

Junto a estos factores, en la tabla 2 se pueden observar otras cuatro fallas comunes de los sistemas de separación con uso de mecanismos pirotécnicos, junto con el número de fallas repetidas, el número de programas espaciales afectados, su tipo de misión y otras características importantes de las fallas. Por otro lado, estos dispositivos no son reutilizables, debido a que después de su activación quedan inoperables por las cargas explosivas y esto también les da una desventaja

Tabla 2.  
Fallas y anomalías producidas por dispositivos pirotécnicos

Tipo de falla	Número de fallas confirmadas o sospechadas (1960 a 1970)	Pico estimado de g (100-10000 Hz)	Sistemas espaciales involucrados	Número de programas afectados	Causa raíz / acción correctiva
 Transmisores e interruptores	4 en total  (Lleva a la pérdida de la misión)	600 hasta 4000 g	Vehículos de lanzamiento (cohetes)	4	1. Pruebas a nivel de sistema para definir los entornos 2. Componente de aislamiento de choque 3. Rediseñar/recalificar los componentes vulnerables 4. Relocalizar componentes a regiones de choque más bajo
 Fractura de materiales frágiles	30 en total  (17 pérdidas de misión; 14 pérdidas de rendimiento)	≥3000 g	Vehículos de lanzamiento (cohetes)	6	1. Pruebas a nivel de sistema para definir los entornos 2. Rediseño de la ordenanza para reducir el impacto 3. Componente de aislamiento de choque 4. Rediseñar/recalificar los componentes vulnerables 5. Mejorar las pruebas de aceptación, incluyendo choque

Continúa

Tipo de falla	Número de fallas confirmadas o sospechadas (1960 a 1970)	Pico estimado de g (100-10 000 Hz)	Sistemas espaciales involucrados	Número de programas afectados	Causa raíz / acción correctiva
 Cortocircuitos	29 en total (24 pérdidas de misión; 4 pérdidas de rendimiento; 1 desconocida)	230 hasta > 3000 g	Vehículos de lanzamiento (cohetes)	8	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Pruebas de detección de ruido por impacto de partículas</li> <li>2. Piezas internas pasivas con superficies conductoras</li> <li>3. Pruebas de detección de componentes de choque y vibración</li> </ol>
 Deformación de estructuras delicadas (tapas de válvula)	1 en total	Desconocido	Cápsula espacial del Soyuz II	1	La válvula de liberación de la presión de la cabina se abrió debido al choque de los pernos explosivos (dispositivo de seguridad de la tapa de la válvula aflojado)

Fuente: Mayers *et al.* (2009).

al momento de hacer pruebas del sistema (Torres, 2018). Por este tipo de fallas y accidentes que se han causado (como los mostrados en la figura 2), se busca que el sistema que se está seleccionando haga uso de dispositivos no-explosivos para que asegure la liberación y no comprometa el desarrollo de la misión.

## Sistemas de separación con dispositivos no explosivos

En muchas investigaciones, estos sistemas son llamados actuadores no explosivos (non-explosive actuators - NEA), los cuales pueden utilizar mecanismos como resortes, pistones, actuadores neumáticos, conectores de tensión, pernos separables, imanes (Torres, 2018), etc.

El uso de dispositivos no explosivos trae ventajas como la reducción de las vibraciones y el choque producidos por la fatiga en los sistemas explosivos; existen algunos actuadores (COOPER Interconnect, 2012) que tienen como características destacadas tiempos de latencia bajos y capacidad de operar a un amplio rango de altitudes, y la principal ventaja de este tipo de sistemas es la seguridad operacional tanto en tierra como en vuelo.

Dichos dispositivos están siendo más desarrollados actualmente que los sistemas explosivos, debido a que las compañías están buscando cada vez más seguridad y confiabilidad con sus naves espaciales a causa del objetivo de volver los cohetes un medio de transporte más habitual y hacer la vida interplanetaria.

## Sistemas a evaluar

En esta sección, se describen tres sistemas que se seleccionaron según el estado del arte. Cabe resaltar que la literatura pública disponible en este tipo de sistemas es escasa, muchas veces debido a la confidencialidad de las compañías que los fabrican. Los sistemas que se seleccionaron utilizan dispositivos no pirotécnicos para el evento de la separación y han sido ya utilizados en misiones espaciales.

### MK II-MLB Lightband

La mayoría de la información sobre este sistema está basada en el manual de uso del dispositivo (Planetary Systems Corporation, 2014). Este sistema de separación de etapas fue desarrollado y patentado por la compañía estadounidense Planetary Systems Corp.,

y es un sistema que permite tanto la separación de cuerpos desde el cohete (como en los satélites), como la separación de las etapas del cohete, siendo utilizado principalmente para la separación de la etapa de “payload” o carga del vehículo (cohetes como Atlas v, Vega, Delta IV, etc.). En la figura 3, se puede ver una representación del sistema de separación.

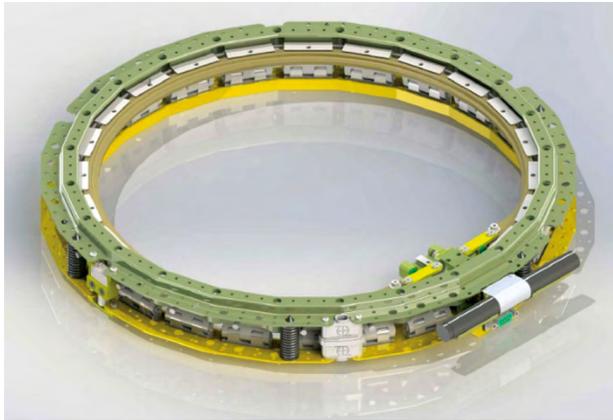


Figura 3. Sistema de separación *lightband*  
Fuente: Planetary Systems Corporation (2014).

El sistema *lightband* está compuesto por varios anillos, un motor eléctrico para la activación del sistema, resortes, pasadores, eslabones y tubos deslizantes, entre otros. El funcionamiento del dispositivo se divide en dos estados. En el primer estado (figura 4.a), el sistema está recogido y allí el anillo de retención ejerce una compresión, presionando los sujetadores de los anillos hacia afuera del anillo superior. En el segundo estado (figura 4.b), el sistema se ha iniciado

por medio del accionamiento de los motores eléctricos para que el mecanismo encaje hacia adentro y el anillo de retención se retraiga.

La retracción del anillo de retención permite que los émbolos de resorte, fijados en el anillo superior, se desprendan de este después de que el tubo deslizante haya sido desplegado, como se ilustra en la figura 5. A estos anillos van unidas y ensambladas las respectivas etapas del cohete a separar.

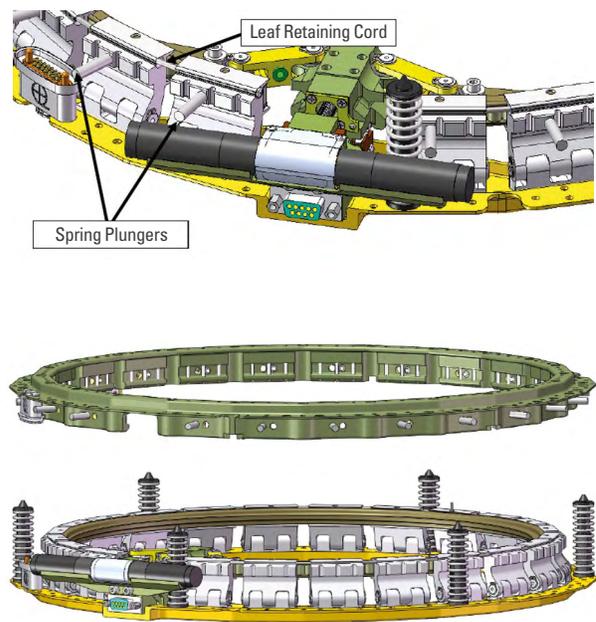
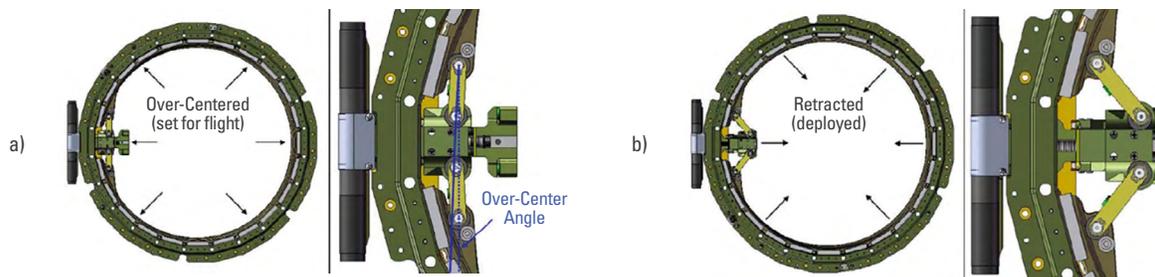


Figura 5. Separación de los anillos por medio de los resortes  
Fuente: Planetary Systems Corporation (2014).

Figura 4. Funcionamiento del sistema MK II-MLB Lightband. a) Estado recogido y b) Estado iniciado



Fuente: Planetary Systems Corporation (2014)

Las características que más resaltan de este sistema son:

- Tiene un nivel de madurez tecnológica o TRL (*technology readiness level*) de grado 9.
- Es un sistema que es testeable; según el manual, cada *lightband* es probado en tierra de doce a diecisiete veces para verificar la operatividad antes del vuelo. Entre las pruebas que se realizan al sistema se encuentran tests de vibraciones, prueba térmica al vacío, pruebas de confiabilidad de separación, pruebas de choque y pruebas de resistencia. Por otro lado, en el manual se incluye un formulario para la inspección del sistema que se debe realizar en tres momentos: después del ensamble, en cada test y antes del envío.
- De acuerdo con el manual, la velocidad de separación es en función de las masas de las etapas a separar y también del número de resortes de separación utilizados en el sistema, siendo seis el número mínimo de resortes que garantizan una separación confiable. En el manual, hay fórmulas que ayudan a determinar la cantidad de resortes requeridos para una velocidad dada, o viceversa. La relación velocidad-cantidad de resortes es mostrada en la figura 6.
- Debido a que el sistema no utiliza dispositivos pirotécnicos, no se generan residuos o desechos espaciales.
- El sistema cuenta con un subsistema llamado SoftRide Isolation System, cuya función es aislar las vibraciones y los choques del vehículo espacial para reducir las cargas inducidas que se generan. Por otro lado, ayuda a aumentar la relación de amortiguación en el evento de separación, que también disminuye la respuesta del sistema a la resonancia vibratoria (Planetary Systems Corporation, 2014). Finalmente, el manual concluye mostrando evidencias de las pruebas de choque y vibraciones al sistema, que tiene estas propiedades a un nivel bajo comparado con otros sistemas de separación.
- El sistema puede ser usado sesenta veces antes de ser inspeccionado, incluyendo las veces que el sistema se activa para las pruebas.
- Según el manual, el sistema de separación puede operar a temperaturas desde -68 °C hasta 145 °C, siendo 35 °C la temperatura de operación ideal, debido a que es en estas condiciones que se le hacen todas las pruebas.
- Cuando los interesados en utilizar este sistema de separación desean adquirirlo para sus productos, los usuarios deben completar un curso de entrenamiento ofrecido por la compañía Planetary Systems Corp., incluido en el costo total del sistema. Además de esto, la compañía en su manual incluye una serie de pasos que ayudan a encontrar o configurar el sistema de separación adecuado según los requisitos del usuario.

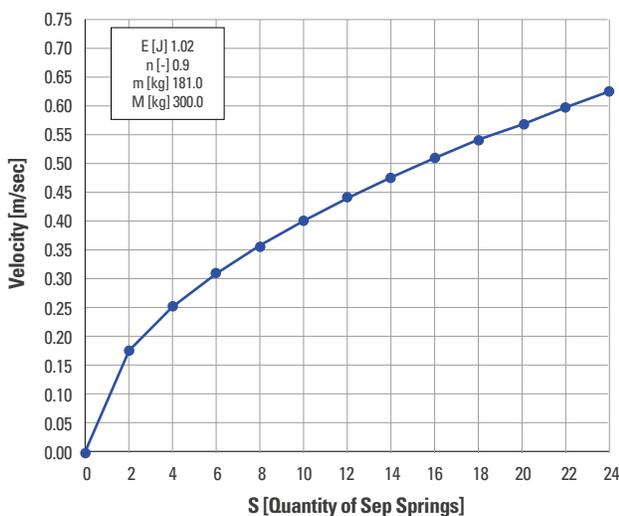


Figura 6. Velocidad de separación vs. cantidad de resortes  
Fuente: Planetary Systems Corporation (2014).

### SpaceX - Stage Separation System

El sistema de separación que se va a evaluar es el usado en la familia de cohetes Falcon. Todos los sistemas empleados en estos cohetes son desarrollados teniendo en cuenta siempre la seguridad operacional; están pensados para el transporte de personas a locaciones como la Estación Espacial Internacional y son cohetes pensados para ser totalmente reutilizables. SpaceX (2020a) considera que el sistema de separación de etapas es uno de los más seguros del cohete Falcon.

En las figuras 7 y 8, se pueden ver imágenes del sistema de separación de etapas real montado en los cohetes Falcon. En la figura 8 se observa cómo es el sistema activado con la etapa que se separó.



Figura 7. Sistema de separación de etapas montado en un cohete Falcon  
Fuente: Brown (2019).



Figura 8. Sistema de separación liberando una de las etapas del cohete Falcon  
Fuente: SpaceX (2017).

Este sistema es el encargado de separar dos etapas en el caso del Falcon 9, las cuales están unidas mediante pasadores o cierres mecánicos en tres puntos entre la parte superior de la interetapa y la base del depósito de combustible de la segunda etapa. El proceso de operación empieza cuando los motores de la primera etapa se han apagado; en este momento, un circuito a alta presión que utiliza helio como gas neumático

permite la liberación de pestillos mediante actuadores excesivos o redundantes. Este sistema de helio también precarga cuatro empujadores neumáticos que realizan una fuerza positiva para la separación de la etapa después de la liberación de los pestillos (SpaceX, 2020a). El sistema también incluye un separador central, mostrado en las figuras 6 y 7, que ayuda a disminuir el riesgo de contacto entre las etapas tras la separación.

El sistema de separación no utiliza dispositivos explosivos, sino un liberador neumático. Algunas características fundamentales del sistema obtenidas mediante el manual de uso del Falcon (SpaceX, 2020a) son las siguientes:

- Produce cero emisiones de desechos espaciales.
- Puede ser testeado repetidamente en el proceso de manufactura.
- El tiempo de latencia del sistema de separación no se encuentra en el estado del arte; sin embargo, según la cronología de vuelo del Falcon 9, el tiempo que transcurre tras la separación de etapas para activar el motor de la segunda etapa son ocho segundos para misiones a órbita terrestre baja y siete segundos para órbita de transferencia geostacionaria.
- Este sistema de separación se espera que también sea el usado para la nave de SpaceX, llamada Starship. Por lo tanto, según su guía para el usuario (SpaceX, 2020b), la separación de las etapas y la apertura de la puerta de los carenados de la carga están diseñados para generar ambientes de choque insignificantes asociados a la carga útil. Por otro lado, el ambiente de choque máximo será generado por el sistema de separación de la carga escogido para la misión.
- El nivel de madurez tecnológica o TRL se consideró de nivel 9, debido a que el sistema ya ha sido probado en vuelos y las operaciones de las misiones han sido exitosas.
- El uso de mecanismos neumáticos permite que el desarrollo y la manipulación de este tipo de sistemas sean más seguros. Un ejemplo de esto es el proyecto ARES14Bi “Hydra”, patrocinado por la

Agencia Espacial Francesa, en el cual estudiantes universitarios desarrollaron un sistema de separación de etapas neumático, mostrado en la figura 9, que puede ser utilizado en cohetes de pequeño y gran tamaño, cuya velocidad de separación es de 0,11 segundos (Guinet y Gauthier, 2017).

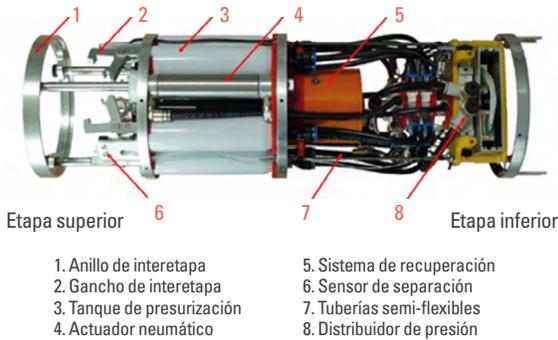


Figura 9. Sistema de separación de etapas proyecto ARES14BI "Hydra"  
Fuente: Guinet y Gauthier (2017).

### Systima Technologies - Low Shock Rocket Body Separation

El sistema Low Shock Rocket Body Separation, desarrollado por Systima Technologies Inc. (2013), es una patente estadounidense que ofrece información sobre el funcionamiento del sistema y describe cómo es la unión de las etapas y cómo se ensambla el dispositivo. Este sistema de separación de etapas combina una junta radax (radial-axial), muy usada en cohetaría para unir las etapas del cohete. Este tipo de juntas permite que cualquier carga que experimente el cohete se distribuya axialmente a lo largo de los pernos, así tiene mejor resistencia y menor choque o impacto (Martens *et al.*, 2018); un ejemplo de estas juntas son las mostradas en la figura 10.

Por otro lado, las juntas radax están unidas por tornillos pasadores o sujetadores y por un sistema tipo vejiga aplanada acoplado con su respectivo sistema de inflado. Una vez activado el sistema de inflado, la vejiga se presuriza y ejerce una fuerza de separación entre los miembros de la junta radax, superando la capacidad de carga de los sujetadores y rompiendo la junta radax (Systima Technologies Inc., 2013).



Figura 10. Ilustración de juntas radax  
Fuente: Yoon (2015)

En la figura 11, el diagrama ilustra el sistema de separación de etapas: los componentes 2 y 3 son las dos juntas radax que van acopladas a las etapas del cohete. Según la patente, las juntas radax pueden ser unidas o acopladas mediante varios mecanismos como sujetadores, arandelas e insertos roscados, mostrados como los componentes 7, 5 y 8, respectivamente. Por otra parte, el dispositivo tipo vejiga aplanada 1 estará situado entre los miembros radax 2 y 3, acoplada a su sistema de inflado 9, así al activarse se aplicará la fuerza de separación de bajo choque o impacto que permitirá la separación de las juntas radax. Por último, los componentes 6 y 4 solo son implementados cuando el cliente necesita que el sistema tenga dispositivos pirotécnicos, siendo el componente 6 un actuador tipo pistón pirotécnico y el componente 4 una arandela que ayuda a mantener el pistón en su lugar de carcasa.

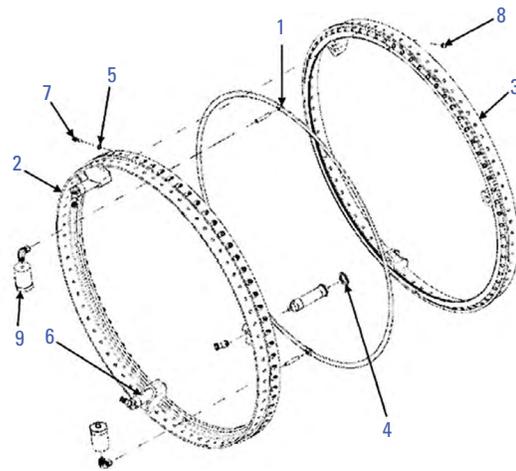


Figura 11. Diagrama del sistema de separación de Systima Technologies  
Fuente: Systima Technologies Inc. (2013).

La figura 12 muestra un diagrama de la sección transversal del sistema de separación de etapas. Aquí se aprecia mejor el dispositivo tipo vejiga aplanada mostrada en la figura como una forma ovalada dentro del colector 301; está localizada entre las juntas radax 200-201, que a su vez tienen unas plataformas específicas para la vejiga aplanada que al momento de inflarse aplica una fuerza que separa las juntas acopladas a las etapas del cohete 250-251. Este mecanismo, según la patente, puede ser fabricado con cualquier metal (como el acero). La figura 12 también presenta el sistema de inflado de la vejiga 400, la interfaz del sistema 310 y el colector o tubo 301 hacia la vejiga. El sistema de inflación de la vejiga, según la patente, puede ser cualquiera que permita su inflado, por ejemplo, los generadores de gas caliente que pueden ser activados eléctricamente.

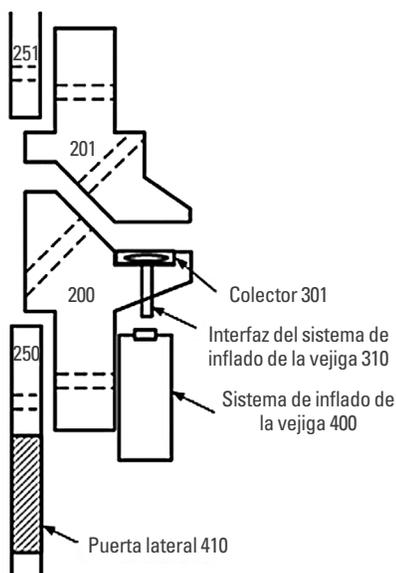


Figura 12. Sección transversal del sistema de separación de etapas  
Fuente: Systima Technologies Inc. (2013).

Otras características fundamentales del sistema son:

- Es un sistema de alta resistencia y, como el nombre de la patente lo indica, tiene baja relación de choque o impacto (Systima Technologies Inc., 2013).
- El sistema reduce los riesgos del montaje y de su logística, debido a que no utiliza sistemas explosivos que produzcan ambientes de trabajo peligrosos, y aumenta la relación de impacto o choque que es perjudicial para el cohete, entre otras. Sin embargo, si el cliente quiere utilizar sistemas explosivos en el sistema de separación, según la patente del sistema, estos podrán ser configurados en el montaje (Systima Technologies Inc., 2013).
- De acuerdo con la patente, el sistema de separación no solo puede ser utilizado en cuerpos del cohete que sean redondos, pues puede modificarse para realizar la separación de formas ovales, cuadradas u otras formas irregulares.
- El sistema es de bajo peso debido a que no requiere una interetapa.
- El sistema puede ser configurado para ayudar a la reducción de desechos espaciales (Systima Technologies Inc., 2013).
- En la documentación del sistema de separación, no se define el TRL o nivel de madurez tecnológica del dispositivo. Sin embargo, de acuerdo con Systima Technologies Inc. (s. f.), después del año 2015 la compañía aumentó en todos sus productos el TRL. Por otro lado, para el sistema de separación de etapas en 2017 la compañía ganó un contrato con la NASA en el que va a suministrar y desarrollar este sistema de separación de 27,6 pies de ancho para el cohete Space Launch System (SLS), que permitirá separar el adaptador de la etapa universal del cohete de su etapa superior (Boyle, 2017). Así mismo, en 2019 la compañía publicó un avance del sistema de separación de etapas fabricado para el cohete Alpha de la empresa Firefly Aerospace (Systima Technologies Inc., 2019). En la figura 13, se muestra una parte del sistema que publicaron, es por esto que se le consideró un nivel TRL de 8.
- La velocidad de separación de etapas o latencia es de 1 ft/s. Esta velocidad fue obtenida de la guía de usuario del cohete Alpha de Firefly Aerospace, debido a que el cohete utiliza este sistema de separación para las etapas (Firefly Aerospace, 2019).



Figura 13. Sistema de separación de etapas para Firefly Aerospace  
Fuente: Systima Technologies Inc. (2019).

## Otros

Uno de los métodos más empleados es “*fire in the hole*”, que consiste en que el motor de la etapa siguiente a la que se va a separar se pone a funcionar mientras las dos etapas siguen conectadas (Duque, 2011), y el impulso generado por los gases de escapes de la tobera del motor hace que las etapas se separen. Sin embargo, no se consideró debido a que la concentración de presión de los gases puede tener un efecto no deseado en la trayectoria del cohete, y en algunos casos se recomienda añadir protección térmica debido a que puede afectar algunos mecanismos (Torres, 2018). Por otra parte, en comparación con los sistemas evaluados, tiene una velocidad de separación alta en un rango de 5 a 10 ft/s (NASA, 1970).

De igual modo, algunos sistemas que no cumplen con el requerimiento del nivel de madurez tecnológica, pero que cabe la pena resaltar por ser desarrollados o investigados en Colombia, son los referenciados en las siguientes publicaciones: *Diseño de un sistema de liberación de un pico satélite de peso un kilogramo, instalado sobre la lanzadera FAC 1* (Pajoy y Larrarte, 2008); *Diseño del sistema de separación de dos etapas de un cohete para colocar satélites a baja órbita* (Cárdenas y Moncayo, 2008); *Diseño y construcción de un prototipo de segunda generación para separación de*

*etapas en vehículos aeroespaciales* (Torres, 2018); y por último, *Diseño conceptual y preliminar de la segunda etapa “Atlas” para el cohete Sonda Libertador 1* (Moreno et al., 2016).

## Evaluación de sistemas

La evaluación de los sistemas se realiza mediante la metodología de evaluación de conceptos o QFD, cuyo primer paso fue elaborar la matriz de tamizaje de los sistemas que se evaluaron (mostrados en la tabla 3).

Tabla 3.  
Matriz de tamizaje de sistemas

ID Requisito	Importancia	Sistemas de separación		
		MK II	SPX	SYST
R.1	5	0	0	0
R.2	5	/	+	/
R.3	3	0	0	-
R.4	3	+	-	-
R.5	5	+	-	-
R.6	4	-	+	-
R.7	4	0	0	-
R.8	3	-	-	+
<b>Positivos</b>		2	2	1
<b>Iguales</b>		3	3	1
<b>Negativos</b>		2	3	5
<b>No información</b>		1	0	1
<b>Total</b>		0	-1	-4
<b>Orden</b>		1	2	3

Fuente: elaboración propia.

Las calificaciones se dieron teniendo en cuenta las características descritas de cada sistema; sin embargo, algunas justificaciones que no se describieron anteriormente son:

Para **R.2** se le otorgó “+”, o *mejor que*, al sistema de SpaceX aun sin tener la información en su documentación, debido a que la compañía ocupa el primer lugar en frecuencia de lanzamientos, por encima de Rocket Lab (Patel, 2021) y no se ha presentado ningún problema en cuanto a la trayectoria de sus cohetes.

Para **R.4** se le otorgó “+”, o *mejor que*, al sistema MK II-MLB Lightband, porque es el único sistema que tiene su manual de uso disponible; el sistema de SpaceX tiene la descripción y el funcionamiento de su sistema de separación en la guía de usuario del cohete Falcon 9 (SpaceX, 2020a), y la información del sistema de Systima Technologies fue obtenida por medio de la publicación de su patente, pero no de un manual de uso del sistema.

Para **R.5** todos los sistemas de separación de etapas cumplen con el requisito de ser completamente testeables en tierra antes de los vuelos. Sin embargo, se le dio la calificación de “+”, o *mejor que*, al sistema MK II-MLB Lightband, debido a que hay más información disponible (Planetary Systems Corporation, 2014) sobre cómo se hacen estas pruebas, cuántas pruebas se hacen y qué tipo de pruebas le realizan al sistema.

Para **R.6** se le otorgó “+”, o *mejor que*, al sistema de SpaceX debido a que, en comparación con los otros dos sistemas, la compañía desarrolla pruebas específicas para el sistema de separación de etapas en casos fuera de lo normal, en los que se presenten tiempos de sincronización de las señales de activación inusuales y de secuenciación (SpaceX, 2020a), tratando de ofrecer un tiempo de latencia de 0 s.

Para **R.8** se le otorgó “+”, o *mejor que*, al sistema de la compañía Systima Technologies Inc., debido a que fue un sistema desarrollado con el fin de tener un nivel de impacto muy bajo, como el nombre de la patente lo indica, y debido a que puede ser acoplado a etapas de mayor tamaño que los dos otros sistemas, generando niveles más bajos de choque y de vibración. Sin embargo, los tres sistemas de separación cuentan con configuraciones que ayudan a que el choque y la vibración no afecten la separación, la carga, o trayectoria del cohete.

## Conclusiones

- El sistema de separación de etapas para un cohete multietapa que cumple con los requisitos planteados es el desarrollado por la compañía Planetary

Systems Corp., llamado MK II-MLB Lightband; se destaca de los demás por la disponibilidad de su manual que incluye todas las especificaciones, la capacidad que tiene el sistema para hacerle pruebas en tierra y la generación de cero desechos o residuos espaciales luego de su activación.

- Según el análisis que se les hizo a los sistemas evaluados, y a otros que se analizaron para la investigación, las compañías o instituciones que desarrollan sistemas de separación de etapas se caracterizan por una tendencia a diseñar y crear este tipo de sistemas teniendo muy en cuenta sus niveles de impacto y vibraciones, debido a que si el sistema es montado para separar la etapa de la carga del cohete, se verían afectados varios parámetros, como su trayectoria, y algunos sistemas externos se podrían ver perjudicados, entre otros.
- Para la implementación del sistema seleccionado en un futuro de la industria aeroespacial del país, se requiere capacitación técnica y teórica en este tipo de sistemas aeroespaciales. Por ello, el sistema seleccionado presenta otra ventaja en comparación con los demás, puesto que ofrece el entrenamiento para su ensamble y funcionamiento, y ofrece su amplio manual de uso con acceso libre. Sin embargo, para la implementación del sistema en un proyecto a futuro es necesario evaluar el sistema de acuerdo con los requisitos establecidos del proyecto.
- La información en sistemas de separación de etapas en Colombia es escasa. Sin embargo, se encontraron pocas investigaciones que han propuesto, por medio de diseños conceptuales, algunos sistemas que con financiación podrían ayudar al desarrollo de este tipo de sistemas aeroespaciales, los cuales permitirán en un futuro llevar cargas (como satélites) a las diferentes órbitas y hacer uso del espacio ultraterrestre colombiano.
- La documentación sobre sistemas de separación de etapas que utilicen dispositivos no explosivos es todavía muy baja, debido a que es un tipo de tecnología que aún está siendo desarrollada para poder determinar el uso de dispositivos

explosivos que aumentan los residuos espaciales, las vibraciones y el riesgo de falla de los cohetes multietapa.

- La disponibilidad del manual de uso del sistema de separación de etapas fue un requisito importante para la selección del sistema, debido a que proporcionó bastante información que ayudó a evaluar los requisitos planteados. Es por esto que las calificaciones dadas en la tabla 3 habrían sido distintas si los manuales de uso de todos los sistemas hubieran estado disponibles.

## Referencias

Firefly Aerospace. (2019). *Alpha Payload User's Guide*. Disponible en: [https://firefly.com/wp-content/themes/firefly\\_aerospace/files/Alpha\\_PUG\\_2019-08-30\\_v2.pdf](https://firefly.com/wp-content/themes/firefly_aerospace/files/Alpha_PUG_2019-08-30_v2.pdf)

Colombia Científica. (2017). *Anexo 13 - Niveles de madurez tecnológica*. <https://minciencias.gov.co/sites/default/files/upload/convocatoria/anexo-13-niveles-madurez-tecnologica-conv.pdf>

Boyle, A. (2017). *Systema gets a piece of the action for NASA's Space Launch System Rocket*. GeekWire. Disponible en: <https://www.geekwire.com/2017/systema-sls-space-launch-system-nasa/>

Brown, B. (2019). *Why do SpaceX Falcon 9 first-stage boosters have a tripod mounted on top?* Quora. <https://www.quora.com/Why-do-SpaceX-Falcon-9-first-stage-boosters-have-a-tripod-mounted-on-top>

Cárdenas Córdoba, H. F. y Moncayo Moncayo, F. A. (2008). *Diseño del sistema de separación de dos etapas de un cohete para colocar satélites a baja órbita* [trabajo de grado, Universidad Autónoma de Occidente]. Repositorio institucional UAO. <https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/6319/T04331.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Chang, I.-S. (2001). *Space Launch Vehicle Reliability*. Tech-Insider. <https://tech-insider.org/related/research/2001/0301.html>

COOPER Interconnect. (2012). *Non-explosive actuators*. <http://www.conexionlider.com/jdownloads/COOPER/cooper%20interconnect%20non-explosive%20actuators.pdf>

Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2020). *CONPES 3983-Política de Desarrollo Espacial: condiciones habilitantes para el impulso de la competitividad nacional*. DNP.

Duque Peláez, M. (2011). *Construcción y lanzamiento de un cohete de dos etapas con alcance sub-estratosférico, misión Séneca III. Proyecto uniandino aeroespacial*. <https://pua.uniandes.edu.co/doku.php?id=misiones:mision3>

Europa Press. (2018, 2 de noviembre). El fallo de un detector provocó el accidente de la Soyuz MS-10. *El Tiempo*. <https://www.eltiempo.com/vida/ciencia/revelan-la-causa-de-la-falla-en-el-cohete-soyuz-288984>

Foust, J. (2020, 4 de julio). *Rocket Lab Electron launch fails*. Space News. <https://spacenews.com/rocket-lab-electron-launch-fails/>

Guinet, V. y Gauthier, B., 2017. *RES14BI "Hydra" - a two-stage experimental rocket project within the PERSEUS program*. <https://eucass.eu/conferences-and-publications/archives/archives-eucass/eucass-2017-milan/eucass-2017-fois-of-full-papers, DOI: 10.13009/EUCASS2017-96>

Halligan, R. J. (2014). *Requirements quality metrics: The basis of informed requirements engineering management*. <https://www.ppi-int.com/wp-content/uploads/2019/05/Requirements-Quality-Metrics-Paper-with-Addendum-PPA-005330-9-140710.pdf>

Kattakuri, V. (2019). *Failures in spacecraft systems: An analysis from the perspective of decision making*. Purdue University. <https://doi.org/10.25394/PGS.9037379.v1>

Martens, J., Cui, X., Alacoque, L., Messenger, T., Hamilton, A., Van der Meulen, W. y Deshpande, A. (2018). *Student organization for aerospace research Atlantis II*. Sounding Rocket. [http://www.soundingrocket.org/uploads/9/0/6/4/9064598/43\\_project\\_report.pdf](http://www.soundingrocket.org/uploads/9/0/6/4/9064598/43_project_report.pdf)

Mayers, S., Beard, B., Smith, K. y Patterson, A. (2009). *Ares I Stage Separation System Design Certification Testing*. <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20090025949/downloads/20090025949.pdf>

Moreno Barón, J. S., Salek Chaves, D. Z. y Peña Cedeño, H. (2016). *Diseño conceptual y preliminar de la segunda etapa "Atlas" para el cohete Sonda Libertador I* [trabajo de grado, Fundación Universitaria Los Libertadores]. Repositorio institucional Fundación Universitaria Los Libertadores. <https://repository.libertadores.edu.co/bitstream/handle/11371/600/MorenoBar%C3%B3nJuanSebasti%C3%A1n.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

National Aeronautics and Space Administration (NASA). (2009). *Apollo Spacecraft & Saturn V Launch Vehicle Pyrotechnics/ Explosive Devices*. <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20090015395.pdf>

- National Aeronautics and Space Administration (NASA) (1970). NASA Space Vehicle Design Criteria, Flight Separation Mechanisms (NASA SP-8056). <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19710019510.pdf>
- Pajoy Ruiz, P. A. y Larrarte Navia, Á. J. (2008). *Diseño de un sistema de liberación de un pico satélite de peso un kilogramo, instalado sobre la lanzadera FAC I* [trabajo de grado, Universidad Autónoma de Occidente]. Repositorio institucional UAO. <https://red.uao.edu.co/handle/10614/6322>
- Patel, N., 2021. Rocket Lab could be SpaceX's biggest rival. MIT Technology Review. <https://www.technologyreview.com/2021/03/02/1020212/rocket-lab-could-be-space-x-biggest-rival-neutron-falcon-9>.
- Planetary Systems Corporation. (2014). *2000785F MK II MLB User Manual*. <https://planetarysystemscorp.com/mark-ii-motorized-lightband/>
- SpaceX. (2017). *World's First Reflight of an Orbital Class Rocket | SES-10 Hosted Webcast* [video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=xsZSXav4wI8&t=1829s>
- SpaceX. (2020a). *Falcon User's Guide*. [https://www.spacex.com/media/Falcon\\_Users\\_Guide\\_082020.pdf](https://www.spacex.com/media/Falcon_Users_Guide_082020.pdf)
- SpaceX. (2020b). *Starship Users Guide*. [https://www.spacex.com/media/starship\\_users\\_guide\\_v1.pdf](https://www.spacex.com/media/starship_users_guide_v1.pdf)
- Systema Technologies Inc. (2013). *Low shock rocket body separation*. <https://patentimages.storage.googleapis.com/9e/08/ea/feb2efcb90afee/US8607705.pdf>
- Systema Technologies Inc. (2019). *Systema Recognized by Firefly Aerospace for Stage Separation System*. <https://www.systema.com/blog/systema-recognized-by-firefly-aerospace-for-stage-separation-system/>
- Systema Technologies Inc. (s. f.). *Systema Technologies Inc.* Disponible en: [https://www.sbir.gov/sites/default/files/SBAsuccess\\_Systema.pdf](https://www.sbir.gov/sites/default/files/SBAsuccess_Systema.pdf)
- Torres Amézquita, J. D. (2018). *Diseño y construcción de un prototipo de segunda generación para separación de etapas en vehículos aeroespaciales* [trabajo de grado, Universidad de los Andes]. Repositorio institucional Uniandes. <https://repositorio.uniandes.edu.co/handle/1992/40438>
- Yoon, D. [@DavidKYoon]. (2015, 15 de enero). *The radial axial (RADAX) joints for the sounding rocket came out sexy* [imagen] [tuit]. Twitter. <https://twitter.com/DavidKYoon/status/555148470843998209/photo/1>

# Atenuación estimada del ruido en actividades de mantenimiento aeronáutico militar

| Fecha de recibido: 10 de enero del 2021 | Fecha de aprobación: 25 de abril del 2021 |

**Alvaro Guillermo  
Ortiz Rodríguez**

Magíster en Gestión Ambiental

Fuerza Aérea Ecuatoriana  
Ecuador

Rol de investigador: experimental y escritura

<https://orcid.org/0000-0002-9277-6097>

✉ [alvaroortizr0@gmail.com](mailto:alvaroortizr0@gmail.com)

**Cómo citar este artículo:** Ortiz Rodríguez, A. G. (2022). Atenuación estimada del ruido en actividades de mantenimiento aeronáutico militar. *Ciencia y Poder Aéreo*, 17(1), 22-36. <https://doi.org/10.18667/cienciaypoderareo.686>



## Atenuación estimada del ruido en actividades de mantenimiento aeronáutico militar

**Resumen:** Las actividades dentro del campo de la aviación militar están sujetas a diferentes factores de riesgo, entre ellos el ruido en muchos casos, como en las actividades de mantenimiento o el producido por la propia aeronave, por lo que la única medida de prevención constituye el uso de elementos de protección. Sin embargo, es preciso estimar cuál es la reducción que brindan estos dispositivos y verificar si se enmarca dentro de los límites permitidos. Para ello, en esta investigación, se parte de niveles de presión sonora obtenidos en los talleres de cinco bases aéreas, mediante un sonómetro integrador de banda ancha CASELLA SERIE CEL-620 A; se evaluaron tres diferentes protectores de copa con los métodos NIOSH, HML y SNR para calcular la atenuación teórica, utilizando los parámetros disponibles en los catálogos de los fabricantes para después verificar estadísticamente tanto el tipo de protector más adecuado, como el método más idóneo de aplicación. En cuanto a la reducción de niveles de ruido calculado con los métodos HML y SNR, estos resultaron ser menores a 60 dB, considerado como una protección excesiva, y difieren hasta en 23,95 % de la atenuación con la metodología más conservadora NIOSH, según la cual ciertas actividades requieren el uso de protección auditiva simultánea con tapones de inserción y orejeras. Los resultados con este último método establecieron una reducción adicional de 1 dB con el protector A1 respecto a los otros.

**Palabras clave:** contaminación acústica; mantenimiento de aeronaves; protectores auditivos; ruido aeronáutico; salud ocupacional; seguridad industrial.

## Estimated noise reduction in military aeronautical maintenance activities

**Abstract:** Activities in the field of military aviation are subject to different risk factors, including noise in many cases, such as in maintenance activities or the noise produced by the aircraft itself, so the only preventive measure is the use of protective elements. However, it is necessary to estimate the reduction provided by these devices and verify whether it is within the permitted limits. For this purpose, this research starts from sound pressure levels obtained in the workshops of five air bases, using CASELLA SERIE CEL-620 A broadband integrating sound level meter. Three different cup protectors were evaluated with the NIOSH, HML and SNR methods to calculate the theoretical attenuation, using the parameters available in the manufacturers' catalogs to then statistically verify both the most appropriate type of protector and the most suitable application method. Regarding noise reduction levels calculated with the HML and SNR methods, these turned out to be less than 60 dB, considered as excessive protection, and differed by up to 23.95% from the attenuation with the more conservative NIOSH methodology, according to which certain activities require the use of simultaneous hearing protection with insertion earplugs and earmuffs. The results with the latter method established an additional 1 dB reduction with protector A1 over the others.

**Keywords:** Aeronautical noise; aircraft maintenance; ear protectors; industrial safety; noise pollution; occupational health.

## Atenuação estimada de ruído em atividades de manutenção aeronáutica militar

**Resumo:** As atividades no âmbito da aviação militar estão sujeitas a diversos fatores de risco, incluindo ruído em muitos casos, como durante as atividades de manutenção ou o ruído produzido pela própria aeronave, pelo que a única medida preventiva é o uso de elementos de proteção. No entanto, é necessário estimar a redução proporcionada por esses dispositivos e verificar se está dentro dos limites em cinco bases aéreas, utilizando um sonómetro integrador de banda larga CASELLA SERIE CEL-620 A. Foram avaliados três diferentes protetores de coroa com os métodos NIOSH, HML e SNR para calcular a atenuação teórica, utilizando os parâmetros disponíveis nos catálogos dos fabricantes. Posteriormente verificou-se estatisticamente o tipo de protetor mais adequado e o método de aplicação mais pertinente. No que diz respeito à redução dos níveis de ruído calculados com os métodos HML e SNR, estes revelaram-se inferiores a 60 dB, considerando-se uma proteção excessiva, e diferem em até 23,95 % da atenuação com a metodologia mais conservadora, NIOSH, segundo a qual determinadas atividades exigem o uso simultâneo de proteção auditiva com tampões de inserção e protetores auriculares. Os resultados com este último método estabeleceram uma redução adicional de 1 dB com o protetor A1 em relação aos demais.

**Palavras-chave:** Manutenção de aeronave; poluição sonora; protetores auditivos; ruído aeronáutico; saúde ocupacional; segurança industrial.

## Introducción

La contaminación sonora es uno de los aspectos más preocupantes en las actividades humanas y, de manera especial, en las del sector industrial (como la minería y la construcción) y del sector hidrocarburífero, debido a los ruidos generados por equipos, maquinarias o tránsito de vehículos pesados, que eventualmente pueden afectar la salud de las personas (Retamozo, 2013). Es así como a nivel mundial en los últimos años se han adoptado medidas con el objetivo de reducir las posibles lesiones en el ambiente laboral, con énfasis en la responsabilidad de los empleadores, actualizando la normativa y sobre todo haciendo partícipe al trabajador en las políticas adoptadas (Stolk *et al.*, 2012).

Las actividades dentro del ambiente militar, de igual manera, están sujetas a varios factores de riesgo a los que está expuesto el personal, pues el armamento, los vehículos tácticos, los barcos y los aviones producen ruidos peligrosos debido a la potencia y velocidad requeridas (Hecht y Hammill, 2019). Es así como en el área de mantenimiento aeronáutico se cuenta con diferentes fuentes emisoras de ruido e incluso la propia aeronave, en ciertas circunstancias, se convierte en el elemento generador de niveles importantes de presión sonora, como en el caso de los chequeos prevuelo o en la corrida de motores para el levantamiento de reportajes de los aviones.

Las medidas para la reducción de los niveles de contaminación acústica pueden ser variadas; en unos casos, orientadas a modificaciones en la fuente y, en otros, encaminadas a la protección del receptor, como el uso de elementos de protección auditiva; aunque esta opción debería ser la última y aplicada de manera temporal, sin embargo, muchas veces resulta ser la única alternativa (Instituto de Seguridad Minera, 2016). Dichos protectores pueden ser de diferentes tipos: los denominados “de inserción”, que taponan el canal auditivo; y los que cubren el pabellón auditivo, llamados comúnmente “de copa”, cuyo uso depende de la necesidad y comodidad del trabajador, pero sobre todo del nivel de atenuación requerido (Valero-Pacheco *et al.*, 2014). En ciertos casos, incluso es necesario fabricar

taponos personalizados, mucho más eficientes ante la exposición a ruidos de alta intensidad (Coello *et al.*, 2017).

La salud auditiva del combatiente está en riesgo con frecuencia, pese al uso de elementos de protección, debido a niveles elevados de exposición acústica, como el caso de las armas de fuego que alcanzan los 115 dB (Heupa *et al.*, 2011). Así mismo, el mantenimiento de aeronaves militares tiene ciertas particularidades que lo diferencian de la aviación civil, ya que en la línea de vuelo de la aviación supersónica, por ejemplo, la emisión de ruido puede superar los 130 dB (Corbalán *et al.*, 2019) en este caso, las medidas en la fuente emisora resultan imprácticas, ya que dependen de la propia configuración de la aeronave y su fabricación, por lo que la opción a implementar es el uso adecuado de protectores auditivos.

La reducción de ruido que brindan estos dispositivos puede garantizar una protección eficaz, siempre y cuando no obstaculicen la percepción del habla o de señales de peligro en la actividad laboral (Instituto de Seguridad Pública de Cataluña [ISPC], 2019). Se establece como “atenuación sonora adecuada” aquella en la que el nivel de presión sonora efectivo LA' es menor a 80 dB, pero mayor a 60 dB (Aceituno *et al.*, 2015). El Ejército de Estados Unidos incluso ha ideado dispositivos electrónicos sofisticados que permiten el paso de sonidos de bajo nivel y bloquean aquellos peligrosos, atenuándolos hasta los 30 dB, pero que ayudan a mantener la conciencia situacional del entorno (Tepe *et al.*, 2017).

Los métodos para calcular el grado de disminución de la contaminación acústica a los que está expuesto un operario son diversos; entre ellos destacan los métodos HML, SNR y NRR (Instituto Ecuatoriano de Normalización [INEN], 2014; Upegui-Rincón *et al.*, 2019). Por ello, una vez obtenidos los valores de presión sonora diario equivalente LAeqD y los parámetros especificados por el fabricante, es posible estimar los niveles a los que está sometido el personal y si estos se enmarcan dentro de la normativa, que para el caso de España se establece en 87 dB con un nivel pico en 140 dB (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo [INSHT], 2006). La normativa colombiana y ecuatoriana coinciden en 85 dB como límite en cada

jornada para el desarrollo de actividades que no impliquen labores de concentración o cálculo, en cuyo caso el límite se reduce a 70 dB (Ministerio de Trabajo y Ministerio de Salud y Protección Social, 1990; Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social, 2016).

La atenuación teórica o estimada según los métodos ya descritos puede diferir sustancialmente en sus resultados; incluso, no existe una estandarización internacional de la información a ser proporcionada por el fabricante, situación que podría llevar a errores en perjuicio de la salud del operario (Rodríguez, 2003). Por ello, ciertos estudios se han orientado a realizar comparaciones entre dichos valores teóricos y los valores experimentales, tal como el efectuado por Upegui-Rincón *et al.* (2019), en el que la metodología con base en el nivel de reducción de ruido NRR, planteada por el Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional de Estados Unidos (NIOSH, por sus siglas en inglés), resultó ser la que más se acerca a los niveles de protección experimentales.

En el ámbito de las operaciones aéreas, el estudio realizado en Chile por Upegui-Rincón *et al.* (2019), aplicando el método NRR, obtuvo estimaciones de la atenuación conseguida con la utilización de protección auditiva por parte de la tripulación de aeronaves modelo Cessna 172N, RV-9A y Piper 180; se determinó que tres de los ocho tipos de protectores evaluados resultaron insuficientes, superando los 80 dB establecidos en la normativa chilena. En el caso de tripulaciones de aeronaves, puede ser mucho más óptimo el uso de auriculares de cancelación de ruido activo, que son capaces de filtrar el ruido del motor de un avión (Caputo y Correa, 2018).

Las actividades en el ambiente aeronáutico militar y en especial en el área de mantenimiento de aeronaves tienen ciertas particularidades, debido al tipo de fuente generadora de ruido. Se usan maquinarias y equipos diferentes a otras áreas industriales, y la aeronave se constituye en la fuente principal generadora de ruido, en el caso de despacho, recepción o prueba de motores, procesos en los cuales el personal técnico está expuesto a importantes niveles de contaminación sonora e incluso puede ser preciso la utilización simultánea de protectores tipo orejera y tapones. Para un

cálculo estimado de su atenuación respectiva, se han propuesto fórmulas empíricas que intentan acercarse a la reducción de ruido global que se logra con estos dispositivos (Gwenolé NEXER, 2013)

Aunque en la investigación realizada en el año 2018, en los talleres de mantenimiento aeronáutico en Latacunga, Ecuador, no se superaron los 80 dB para las actividades de reparaciones, análisis de fallas, pintura, etc. (Copara & Morales, 2017), la aviación militar está constituida por aeronaves de combate supersónicas, de combate a turbohélice, de transporte, de entrenamiento y helicópteros que requieren un monitoreo, registro y control constante del factor ruido, con lo que es necesario verificar si los elementos de protección auditivos que se están utilizando son los más idóneos y adecuados.

El cálculo de la atenuación proporcionada por los dispositivos protectores resulta fundamental desde el punto de vista de seguridad operacional y de salud ocupacional, pues la detección oportuna de algún tipo de falencia permite tomar los correctivos necesarios, con el fin de generar un ambiente laboral adecuado para el personal inmiscuido en las actividades de la aviación militar, lo que a su vez permite minimizar el riesgo en las operaciones.

## Metodología

Con un sonómetro integrador de banda ancha CASSELLA SERIE CEL-620 A debidamente calibrado, se hicieron mediciones de ruido en los hangares y las plataformas de las cinco bases aéreas ecuatorianas donde se realiza mantenimiento de primero y segundo escalón, tomando 5 muestras en cada punto de 15 segundos cada una, a fin de obtener un promedio de nivel de presión sonora equivalente LAeqD. La altura del sonómetro se fijó en 1,50 m, se utilizó una pantalla protectora y se evitó captar el ruido en presencia de condiciones atmosféricas adversas como lluvias o viento con velocidad superior a 5 m/s, conforme con el Libro IX del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (2015).

Aplicando la ecuación (1), establecida en la normativa española mediante el Real Decreto 286/2006 de 10 de marzo, se calcularon los niveles de exposición diario equivalente LAeqD, de acuerdo con los tiempos de exposición por cada ubicación, y se redondeó el valor obtenido al entero más próximo (INSHT, 2006).

$$LAeqD = LAeqT + 10 \lg \left( \frac{T}{8} \right) \quad (1)$$

Donde:

LAeqD: Nivel de exposición diario equivalente en ponderación A

LAeqT: Nivel de presión acústica continuo equivalente ponderado A

T: Tiempo de exposición al ruido en horas/día

Luego se seleccionaron tres tipos de dispositivos o protectores auditivos de diferentes marcas, que la Fuerza Aérea entregó como dotación al personal, a fin de comparar la eficiencia y el nivel de atenuación para aquellas actividades que generaron ruidos superiores a los 70 dB, límite establecido para actividades que involucren alto grado de concentración o cálculo, según el Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social y el Seguro General de Riesgos del Trabajo (2016). Dichos valores de ruido fueron tabulados para cada una de las unidades militares; los valores estimados de atenuación se calcularon aplicando las metodologías HML y SNR, establecidas en el INEN (2014), y el procedimiento NIOSH, citado en Upegui-Rincón *et al.* (2019), utilizando las características técnicas obtenidas de los catálogos de los fabricantes y registradas en la tabla 1.

Tabla 1.  
Parámetros para estimación de la atenuación del ruido

Tipo	H (dB)	M (dB)	L (dB)	SNR (dB)	NRR (dB)
A1	40	32	23	35	30
A2	31,3	32,2	25,8	32	29
A3	33	31	25	33	28

Fuente: catálogos de los fabricantes.

En los métodos HML y SNR, a partir de los datos L<sub>Ceq</sub>, tomados con el sonómetro, se obtuvieron los niveles de presión sonora diarios equivalentes en ponderación C, L<sub>CeqD</sub>, mediante la ecuación (1), ya que las expresiones para el cálculo de la reducción de ruido PNR dependen de la diferencia entre L<sub>CeqD</sub> y LAeqD. Cuando dicha diferencia resultó ser mayor a 2 dB, se aplicó la fórmula (2), mientras que si la diferencia fue menor o igual a 2 dB, se utilizó la fórmula (3).

$$PNR = M - \left( \frac{H-M}{4} \right) * (LCeqD - LAeqD - 2) \quad (2)$$

$$PNR = M - \left( \frac{M-L}{8} \right) * (LCeqD - LAeqD - 2) \quad (3)$$

Donde:

M: Valor de atenuación a media frecuencia del protector auditivo

H: Valor de atenuación a alta frecuencia del protector auditivo

LCeqD: Nivel de presión sonora efectivo diario ponderado C sin protector

LAeqD: Nivel de presión sonora efectivo diario ponderado A sin protector

L: Valor de atenuación a baja frecuencia del protector auditivo.

Las ecuaciones (4) y (5) fueron utilizadas para estimar la disminución del ruido percibido por el operador, con la metodología SNR y NIOSH (NRR).

$$LA'eqD = LCeqD - SNR \quad (4)$$

$$L^{\wedge} A'eqD = LAeqD - ((NRR - 7) * 0.75) \quad (5)$$

Donde:

LA'eqD: Nivel de presión sonora efectivo diario ponderado utilizando el protector auditivo

LCeqD: Nivel de presión sonora efectivo diario ponderado C sin protector

SNR: Reducción del ruido simplificado del protector auditivo

LAeqD: Nivel de presión sonora efectivo diario ponderado A sin protector

NRR: Nivel de reducción de ruido

A fin de dar a conocer la idoneidad de los dispositivos y precisar su atenuación conforme con lo establecido en Aceituno *et al.* (2015), a los valores calculados y tabulados se les asignó el color magenta si la protección es excesiva, el color verde para una protección adecuada y el color rojo cuando dicha protección es insuficiente. Para complementar, se elaboraron gráficos comparativos de la atenuación de los niveles de ruido, calculada con los distintos métodos, para cada tipo de mantenimiento de aeronave, utilizando el software Microsoft Excel. En vista de que el método NIOSH (NRR) es el que considera mayor cantidad de incertidumbres existentes entre la protección calculada de manera teórica y la protección real, y adicionalmente se aproxima de mejor manera a los resultados experimentales, se tomó como referencia para calcular las diferencias relativas en la atenuación.

Después, considerando un nivel de confianza del 95% ( $\alpha = 0,05$ ), se realizó el análisis estadístico ANOVA en el lenguaje de programación R para los valores de ruido atenuados calculados según el método HML de los tres protectores auditivos, así como diagramas de cajas para verificar la variabilidad y la dispersión existentes en la atenuación calculada con los otros métodos.

## Resultados

### Atenuación del ruido en el mantenimiento de aeronaves de entrenamiento

De los diecisiete puntos evaluados en los hangares de mantenimiento de aeronaves de entrenamiento, ocho arrojaron valores superiores a 70 dB, cuya ubicación y actividad se visualizan en la figura 1 y en la tabla 2. Los niveles de ruido atenuado, estimados con los tres métodos propuestos para los distintos protectores, se muestran en la tabla 3, utilizando el código de colores establecido en la metodología, así como el gráfico comparativo con los límites adecuados y excesivos en la figura 2.

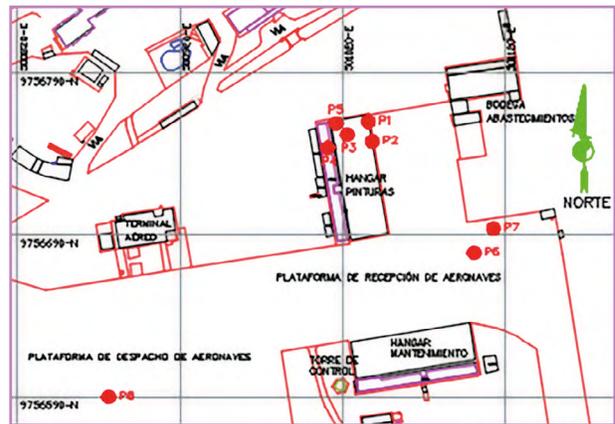


Figura 1. Ubicación de los puntos de medición de ruido superior a 70 dB en el mantenimiento de aeronaves de entrenamiento

Fuente: elaboración propia.

Tabla 2.

Puntos con ruido superior a 70 dB en el mantenimiento de aeronaves de entrenamiento

Punto	Ubicación	Actividad	LAeqD (dB)
1	Pinturas	Soplete en funcionamiento	78
2	Pinturas	Soplete en funcionamiento	78
3	Pinturas	Compresor encendido	82
4	Oficina pinturas	Compresor encendido	81
5	Entrada taller pinturas	Compresor encendido	85
6	Plataforma	Recepción aeronave parte lateral	75
7	Plataforma	Recepción aeronave parte posterior	71
8	Plataforma	Remolque aeronave	72

Fuente: elaboración propia.

Tabla 3.

Ruido atenuado en el mantenimiento de aeronaves de entrenamiento

Método	Puntos Protector	1	2	3	4	5	6	7	8
		Ruido atenuado (dB)							
HML	A1	46	47	50	45	49	46	45	47
	A2	46	47	50	49	53	45	43	45
	A3	47	47	50	45	49	46	45	47
SNR	A1	45	46	49	46	50	45	43	45
	A2	48	49	52	49	53	48	46	48
	A3	47	46	49	46	50	45	43	45
NIOSH	A1	61	61	65	64	68	58	54	55
	A2	62	62	66	65	69	59	55	56
	A3	62	62	66	65	69	59	55	56

Fuente: elaboración propia.

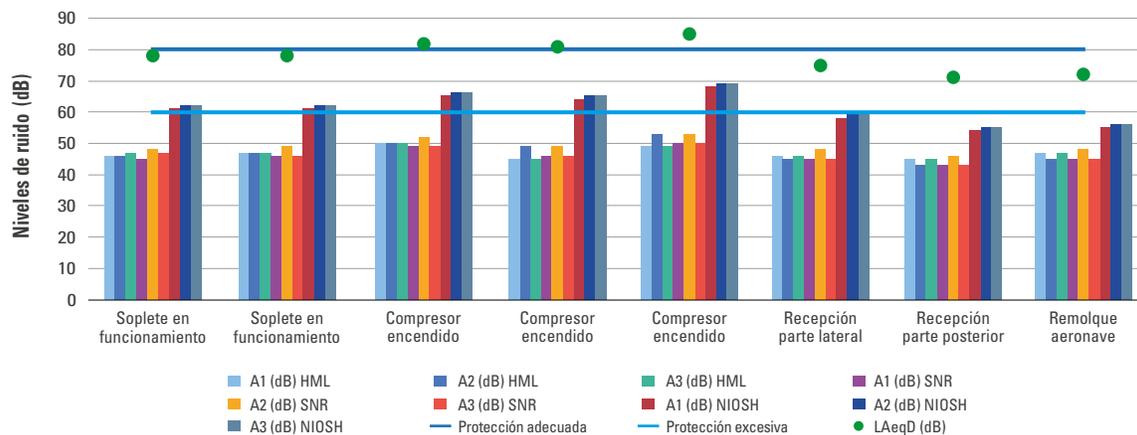


Figura 2. Comparativo de niveles de ruido atenuado en el mantenimiento de aeronaves de entrenamiento en relación con los límites  
Fuente: elaboración propia.

## Atenuación del ruido en el mantenimiento de helicópteros

En las actividades de mantenimiento de aeronaves de ala rotatoria, se evaluaron dieciocho puntos, ocho de los cuales registran ruidos superiores a 70 dB de conformidad con la figura 3 y la tabla 4. En la tabla 5, se verifica el ruido atenuado calculado y su gráfico comparativo en la figura 4.

Tabla 4.  
Puntos con ruido superior a 70 dB en el mantenimiento de aeronaves de ala rotatoria

Punto	Ubicación	Actividad	LAeqD (dB)
1	Hangar 1	Despacho aeronave vigilancia USA	74
2	Hangar 1	Despacho aeronave vigilancia USA	79
3	Pinturas	Soplete en funcionamiento	86
4	Hangar 2	Sin actividad	74
5	Hangar 2	Sin actividad	74
6	Hangar 2	Sin actividad	72
7	Plataforma	Despacho de aeronave helicóptero	72
8	Plataforma	Despacho de aeronave helicóptero	76

Fuente: elaboración propia.



Figura 3. Ubicación de los puntos con ruido superior a 70 dB en el mantenimiento de aeronaves de ala rotatoria

Fuente: elaboración propia.

Tabla 5.  
Ruido atenuado en el mantenimiento de aeronaves de ala rotatoria

Método	Protector	Puntos							
		1	2	3	4	5	6	7	8
HML	A1	40	43	46	53	48	47	40	47
	A2	42	47	55	50	46	45	40	46
	A3	40	43	46	53	48	47	40	47
SNR	A1	40	44	49	51	46	40	44	49
	A2	43	47	52	54	49	43	47	52
	A3	40	44	49	51	46	40	44	49
NIOSH	A1	57	62	69	57	57	55	55	59
	A2	58	63	70	58	58	56	56	60
	A3	58	63	70	58	58	56	56	60

Fuente: elaboración propia.

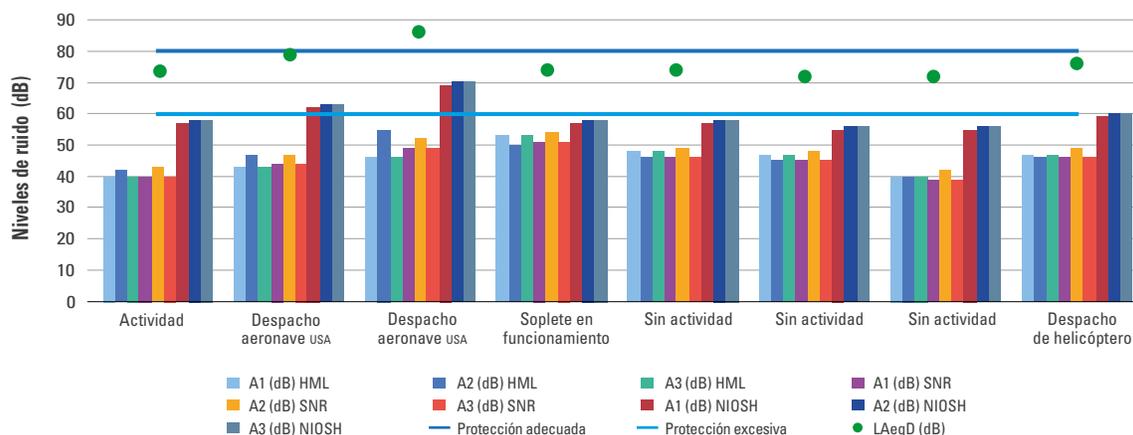


Figura 4. Comparativo del ruido atenuado en el mantenimiento de aeronaves de ala rotatoria en relación con los límites  
Fuente: elaboración propia.

## Ruido en el mantenimiento de aeronaves supersónicas

De los quince puntos monitoreados, nueve resultaron con ruidos superiores a 70 dB, cuya ubicación se visualiza en la figura 5 y sus actividades, en la tabla 10; los valores, considerando su atenuación y su gráfico, se visualizan en la tabla 11 y en la figura 6, respectivamente.

Tabla 10.  
Puntos con ruido superior a 70 dB en el mantenimiento de aeronaves supersónicas

Punto	Ubicación	Actividad	LAeqD (dB)
1	Estructuras	Remachado y extracción de tornillos	84
2	Hangar	Encendida planta enfriado de aeronave	89
3	Hangar	Encendida planta presión hidráulica de aeronave	74
4	Silo sur línea de vuelo	Prevuelo encendido de aeronave	77
5	Silo sur línea de vuelo	Prevuelo encendido de aeronave	96
6	Silo sur línea de vuelo	Prevuelo encendido de aeronave	103
7	Silo sur línea de vuelo	Prevuelo encendido de aeronave	105
8	Silo sur línea de vuelo	Prevuelo encendido de aeronave	97
9	Silo sur línea de vuelo	Inicia carreteo de aeronave	72

Fuente: elaboración propia.



Figura 5. Ubicación de los puntos con ruido superior a 70 dB en el mantenimiento de aeronaves supersónicas

Fuente: elaboración propia.

Tabla 11.  
Ruido atenuado en el mantenimiento de aeronaves supersónicas

Método	Protector	Puntos								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
HML	A1	48	57	43	50	65	71	73	66	42
	A2	52	57	43	48	65	71	73	66	41
	A3	52	57	43	50	65	71	73	66	42
SNR	A1	49	56	42	48	64	70	72	65	41
	A2	52	59	45	51	67	73	75	68	44
	A3	51	56	42	48	64	70	72	65	41
NIOSH	A1	67	72	57	60	79	86	88	80	55
	A2	68	73	58	61	80	87	89	81	56
	A3	68	73	58	61	80	87	89	81	56

Fuente: elaboración propia.

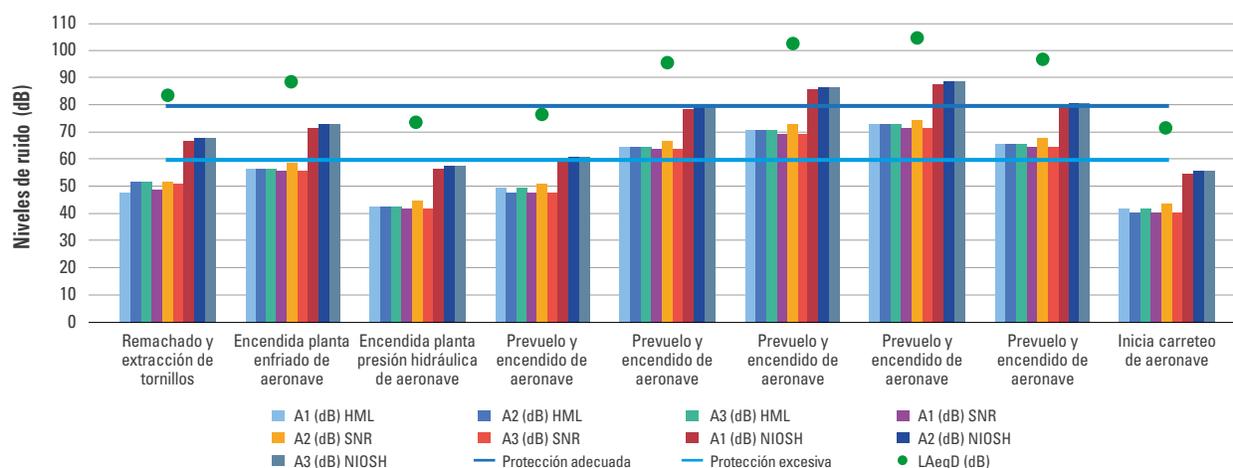


Figura 6. Comparativo del ruido atenuado en el mantenimiento de aeronaves supersónicas en relación con los límites  
Fuente: elaboración propia.

## Ruido en el mantenimiento de aeronaves de combate a turbohélice

En las figuras 7 y 8 y en la tabla 12, se muestran los ocho puntos de los catorce monitoreados que superaron los 70 dB, así como en la tabla 13 se registran los estimados de ruido atenuado con su gráfica correspondiente en la figura 9.

Tabla 12.  
Puntos con ruido superior a 70 dB en el mantenimiento de aeronaves de combate a turbohélice

Punto	Ubicación	Actividad	LAeqD (dB)
1	Línea de vuelo	Encendido aeronave	87
2	Línea de vuelo	Encendido aeronave	90
3	Hangar 1	Encendido compresor lavado	75
4	Estructuras	Remachadora	93
5	Hangar 2	Búsqueda de fuga de combustible	79
6	Exterior del hangar	Compresor para sistema hidroneumático centralizado	75
7	Exterior equipos de apoyo en tierra	7 equipos encendidos	78
8	Exterior equipos de apoyo en tierra	2 equipos encendidos	72

Fuente: elaboración propia.

Tabla 13.  
Ruido atenuado en el mantenimiento de aeronaves de combate a turbohélice

	Puntos	1	2	3	4	5	6	7	8
Método	Protector	Ruido atenuado (dB)							
HML	A1	55	58	46	57	43	44	54	50
	A2	55	58	45	61	47	44	51	47
	A3	55	58	46	57	43	44	54	50
SNR	A1	54	57	45	58	44	43	52	48
	A2	57	60	48	61	47	46	55	51
	A3	54	57	45	58	44	43	52	48
NIOSH	A1	70	73	58	76	62	58	61	55
	A2	71	74	59	77	63	59	62	56
	A3	71	74	59	77	63	59	62	56

Fuente: elaboración propia.

## Ruido en el mantenimiento de aeronaves de transporte

Para el caso de aeronaves de transporte, el 50 % de valores, es decir, seis puntos registrados en la tabla 14 y en la figura 10, superaron los 70 dB; los ruidos atenuados estimados se visualizan en la tabla 15 y el gráfico comparativo se muestra en la figura 11.

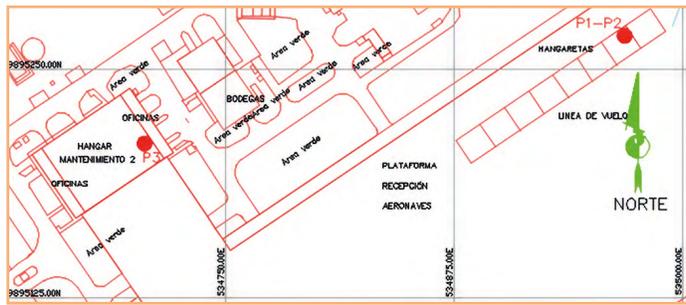


Figura 7. Ubicación de los puntos 1 a 3, con ruido superior a 70 dB en el mantenimiento de aeronaves de combate a turbohélice

Fuente: elaboración propia.



Figura 8. Ubicación de los puntos 4 a 8, con ruido superior a 70 dB en el mantenimiento de aeronaves de combate a turbohélice

Fuente: elaboración propia.

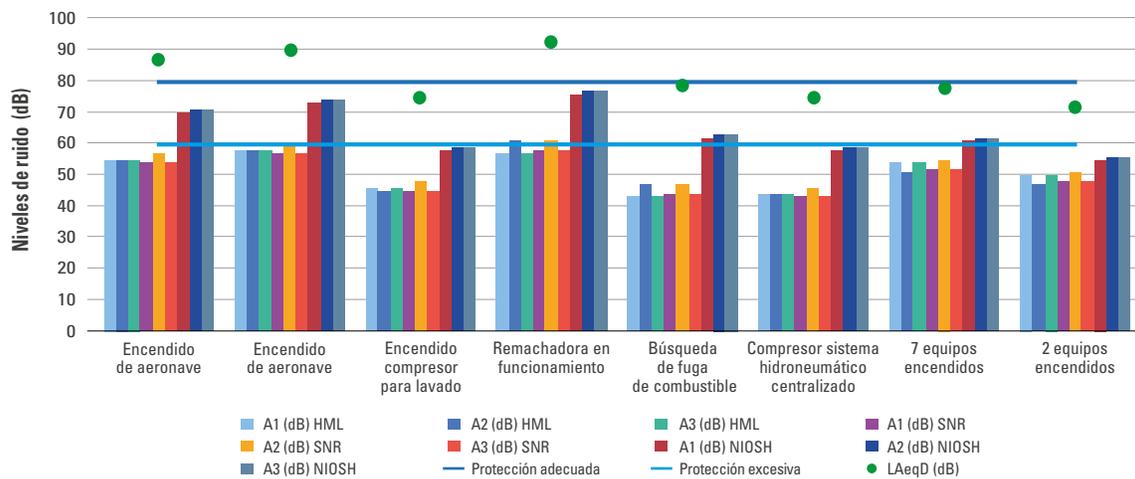


Figura 9. Ruido atenuado en el mantenimiento de aeronaves de combate a turbohélice en relación con los límites

Fuente: elaboración propia.

Tabla 14. Puntos con ruido superior a 70 dB en el mantenimiento de aeronaves de transporte

Punto	Ubicación	Actividad	LAeqD (dB)
1	Estructuras	Remachadora en funcionamiento	91
2	Pinturas	Extractor de partículas en funcionamiento	88
3	Plataforma - parte posterior de aeronave	Prevuelo de aeronave 1 APU encendida	87
4	Plataforma - parte posterior de aeronave	Prevuelo de aeronave 1 APU encendida	91
5	Plataforma - parte delantera	Prevuelo de aeronave 2 APU encendida	84
6	Plataforma - parte delantera	Prevuelo de aeronave 2 APU encendida	90

Fuente: elaboración propia.

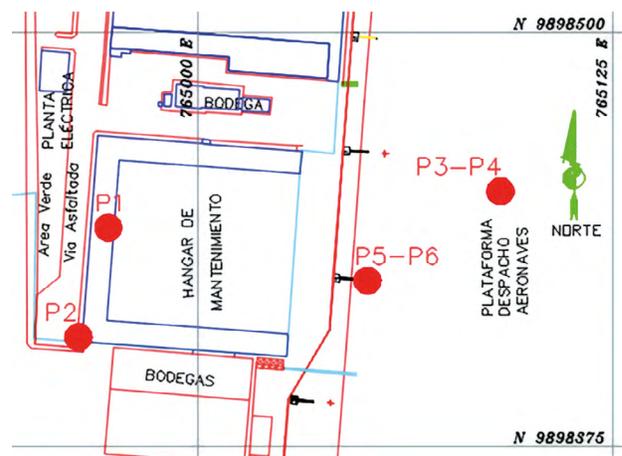


Figura 10. Ubicación de puntos con ruido superior a 70 dB en el mantenimiento de aeronaves de transporte

Fuente: elaboración propia.

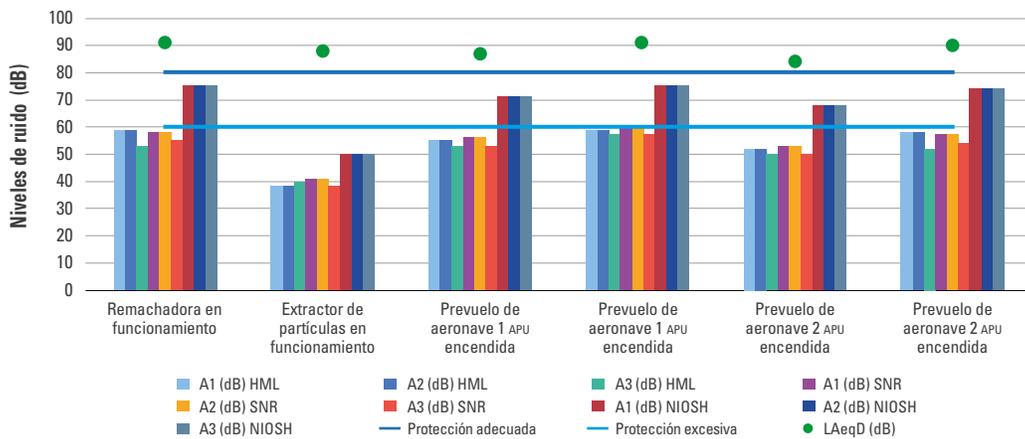


Figura 11. Ruido atenuado en el mantenimiento de aeronaves de transporte en relación con los límites

Fuente: elaboración propia.

Tabla 15. Ruido atenuado en el mantenimiento de aeronaves de transporte

Método	Puntos Protector	Ruido atenuado (dB)					
		1	2	3	4	5	6
hml	A1	59	38	55	59	52	58
	A2	59	38	55	59	52	58
	A3	53	40	53	57	50	52
snr	A1	58	41	56	60	53	57
	A2	58	41	56	60	53	57
	A3	55	38	53	57	50	54
niosh	A1	75	50	71	75	68	74
	A2	75	50	71	75	68	74
	A3	75	50	71	75	68	74

Fuente: elaboración propia.

La diferencia relativa de atenuación NIOSH-MHL y NIOSH-SNR para los tres protectores auditivos se visualiza en las tablas 16 y 17, y de manera gráfica en las figuras 12 y 13.

Tabla 16. Diferencia de atenuación relativa NIOSH-HML

Mtto. Aeronave	Protector A1		Protector A2		Protector A3	
	NIOSH-HML (dB)	%	NIOSH-HML (dB)	%	NIOSH-HML (dB)	%
Entrenamiento	15,00	24,59	16,00	25,81	15,00	24,19
	14,00	22,95	15,00	24,19	15,00	24,19
	15,00	23,08	16,00	24,24	16,00	24,24
	19,00	29,69	16,00	24,62	20,00	30,77
	19,00	27,94	16,00	23,19	20,00	28,99

Continúa

Mtto. Aeronave	Protector A1		Protector A2		Protector A3	
	NIOSH-HML (dB)	%	NIOSH-HML (dB)	%	NIOSH-HML (dB)	%
Ala rotatoria	12,00	20,69	14,00	23,73	13,00	22,03
	9,00	16,67	12,00	21,82	10,00	18,18
	8,00	14,55	11,00	19,64	9,00	16,07
	17,00	29,82	16,00	27,59	18,00	31,03
	19,00	30,65	16,00	25,40	20,00	31,75
	23,00	33,33	15,00	21,43	24,00	34,29
Supersónicos	4,00	7,02	8,00	13,79	5,00	8,62
	9,00	15,79	12,00	20,69	10,00	17,24
	8,00	14,55	11,00	19,64	9,00	16,07
	15,00	27,27	16,00	28,57	16,00	28,57
	12,00	20,34	14,00	23,33	13,00	21,67
	19,00	28,36	16,00	23,53	16,00	23,53
	15,00	20,83	16,00	21,92	16,00	21,92
	14,00	24,56	15,00	25,86	15,00	25,86
	10,00	16,67	13,00	21,31	11,00	18,03
	14,00	17,72	15,00	18,75	15,00	18,75
	15,00	17,44	16,00	18,39	16,00	18,39
	15,00	17,05	16,00	17,98	16,00	17,98
	14,00	17,50	15,00	18,52	15,00	18,52
	13,00	23,64	15,00	26,79	14,00	25,00
Combate turbohélice	15,00	21,43	16,00	22,54	16,00	22,54
	15,00	20,55	16,00	21,62	16,00	21,62
	12,00	20,69	14,00	23,73	13,00	22,03
	19,00	25,00	16,00	20,78	20,00	25,97
	19,00	30,65	16,00	25,40	20,00	31,75
	14,00	24,14	15,00	25,42	15,00	25,42
	7,00	11,48	11,00	17,74	8,00	12,90
5,00	9,09	9,00	16,07	6,00	10,71	
Transporte	16,00	21,33	16,00	21,33	22,00	29,33
	12,00	24,00	12,00	24,00	10,00	20,00
	16,00	22,54	16,00	22,54	18,00	25,35
	16,00	21,33	16,00	21,33	18,00	24,00
	16,00	23,53	16,00	23,53	18,00	26,47
	16,00	21,62	16,00	21,62	22,00	29,73
	<b>Media</b>	<b>21,54</b>	<b>Media</b>	<b>22,27</b>	<b>Media</b>	<b>22,92</b>

Fuente: elaboración propia.

Tabla 17.

Diferencia de atenuación relativa NIOSH-SNR

Aeronave	Protector A1		Protector A2		Protector A3	
	NIOSH-SNR (dB)	%	NIOSH-SNR (dB)	%	NIOSH-SNR (dB)	%
Entrenamiento	16,00	26,2	14,00	22,6	15,00	24,2
	15,00	24,6	13,00	21,0	16,00	25,8
	16,00	24,6	14,00	21,2	17,00	25,8
	18,00	28,1	16,00	24,6	19,00	29,2
	18,00	26,5	16,00	23,2	19,00	27,5
	13,00	22,4	11,00	18,6	14,00	23,7
	11,00	20,4	9,00	16,4	12,00	21,8
	10,00	18,2	8,00	14,3	11,00	19,6
Ala rotatoria	17,00	29,8	15,00	25,9	18,00	31,0
	18,00	29,0	16,00	25,4	19,00	30,2
	20,00	29,0	18,00	25,7	21,00	30,0
	6,00	10,5	4,00	6,9	7,00	12,1
	11,00	19,3	9,00	15,5	12,00	20,7
	10,00	18,2	8,00	14,3	11,00	19,6
	16,00	29,1	14,00	25,0	17,00	30,4
	13,00	22,0	11,00	18,3	14,00	23,3
Supersónicos	18,00	26,9	16,00	23,5	17,00	25,0
	16,00	22,2	14,00	19,2	17,00	23,3
	15,00	26,3	13,00	22,4	16,00	27,6
	12,00	20,0	10,00	16,4	13,00	21,3
	15,00	19,0	13,00	16,3	16,00	20,0
	16,00	18,6	14,00	16,1	17,00	19,5
	16,00	18,2	14,00	15,7	17,00	19,1
	15,00	18,8	13,00	16,0	16,00	19,8
Combate turbohélice	14,00	25,5	12,00	21,4	15,00	26,8
	16,00	22,9	14,00	19,7	17,00	23,9
	16,00	21,9	14,00	18,9	17,00	23,0
	13,00	22,4	11,00	18,6	14,00	23,7
	18,00	23,7	16,00	20,8	19,00	24,7
Combate turbohélice	18,00	29,0	16,00	25,4	19,00	30,2
	15,00	25,9	13,00	22,0	16,00	27,1
	9,00	14,8	7,00	11,3	10,00	16,1
Transporte	7,00	12,7	5,00	8,9	8,00	14,3
	17,00	22,7	17,00	22,7	20,00	26,7
	9,00	18,0	9,00	18,0	12,00	24,0
	15,00	21,1	15,00	21,1	18,00	25,4
	15,00	20,0	15,00	20,0	18,00	24,0
	15,00	22,1	15,00	22,1	18,00	26,5
	17,00	23,0	17,00	23,0	20,00	27,0
	<b>Media</b>	<b>22,40</b>	<b>Media</b>	<b>19,45</b>	<b>Media</b>	<b>23,95</b>

Fuente: Elaboración propia.

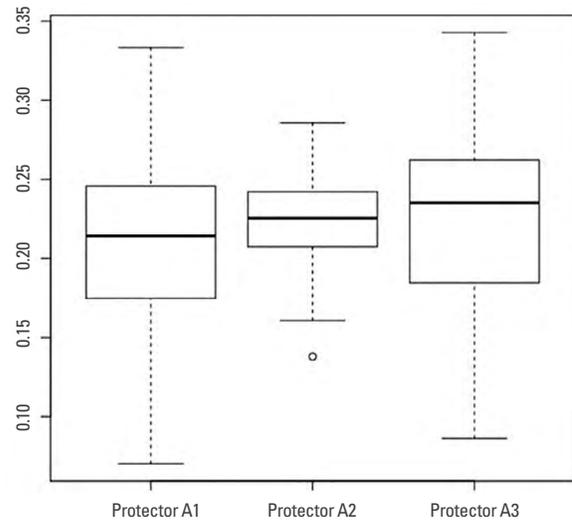


Figura 12. Diagrama de cajas para la diferencia de atenuación relativa método NIOSH y HML para los tres protectores auditivos

Fuente: elaboración propia.

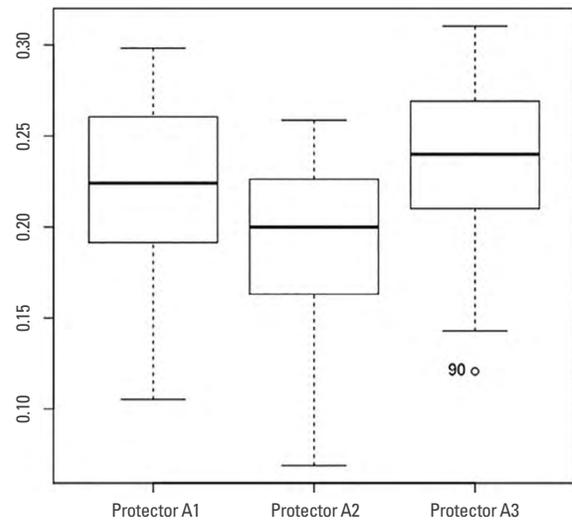


Figura 13. Diagrama de cajas para la diferencia entre el ruido atenuado según método NIOSH y SNR para los tres protectores auditivos

Fuente: elaboración propia.

El análisis estadístico ANOVA, mediante el *software* R, para las atenuaciones con el método HML no arroja diferencias significativas para los tres protectores auditivos, con lo cual se obtiene un *p*-value de 0,505, mayor a  $\alpha$ . Esto es ratificado con el Test de Tukey, conforme se observa en la tabla 18, según el cual los tres dispositivos ofrecen una protección similar.

Tabla 18.  
Parámetros estadísticos ANOVA y Test de Tukey

Parámetro	p-value
ANOVA	0,505
Test de Tukey	Protector A1 = Protector A2 = Protector A3

Fuente: elaboración propia.

## Discusión

Los niveles de ruido más elevados se presentan en el mantenimiento de la aviación supersónica, con un LAeqD de 105 dB, en el prevuelo y encendido de la aeronave; una situación similar ocurre en el prevuelo de la aeronave de combate a turbohélice cuando alcanza un LAeqD de 90 dB. Estos valores dependen de la configuración y fabricación propia del avión, por lo que las medidas de protección no pueden orientarse a la fuente emisora sino al receptor, con el uso de elementos de protección adecuados. Dicho uso, de igual forma, es requerido en actividades en la sección de estructuras y pinturas, donde se alcanzan 93 dB y 88 dB, lo cual las convierte en áreas críticas y comunes en todas las unidades militares evaluadas.

Un total de 39 puntos de los 72 evaluados, que corresponden al 54,17 %, arroja valores de LAeqD mayores a 70 dB; y aunque las actividades inherentes, en su mayoría, no implican un alto grado de concentración o cálculo, en el caso de recepción de aeronaves resulta fundamental atenuar el ruido percibido hasta los 60 dB, considerada como una protección adecuada.

Los valores de atenuación estimados con los métodos HML resultan ser hasta 22,92 % mayores a los calculados con la metodología NIOSH (NRR); así mismo, se alcanza una atenuación hasta 23,95 % mayor con el método SNR, por lo cual los niveles de ruido atenuado reflejan valores menores a los 60 dB para el caso de labores de mantenimiento de aeronaves de entrenamiento, ala rotatoria, combate turbohélice y transporte, cuyo valor es considerado como una protección excesiva.

Para el caso del mantenimiento en la aviación supersónica, las dos actividades cuyo ruido percibido

calculado con el método NIOSH supera los 80 dB, pese al uso de protectores tipo orejera, sugieren la utilización adicional de tapones de inserción, mientras que según los métodos HML y SNR no sería necesario, lo cual estaría en contra de la seguridad del trabajador.

Conforme con los parámetros entregados por el fabricante y según los valores de SNR y NRR, el protector A1 resulta ser el más eficiente, cuyos niveles atenuados con el método NIOSH, en todos los casos, se reducen en 1 dB, en comparación con los protectores A2 y A3. No obstante, según el análisis de varianza, para el método HML los tres protectores auditivos brindan una similar protección, ya que las diferencias de atenuaciones relativas, según la aplicación del estadístico ANOVA, resultan tener medias iguales, con lo que se observa un valor atípico en el protector A2, correspondiente a una diferencia de atenuación relativa del 13,79 %, por debajo de la media del 22,27 %, determinado en la tabla 16.

Con respecto a las diferencias de atenuación entre el método NIOSH y el SNR, en la figura 7 se observa similar variabilidad y dispersión para los tres dispositivos, con un solo valor atípico en el protector A3, en vista de existir una diferencia de atenuación relativa porcentual del 12 %, mucho menor que la media global del 23,95 % mostrada en la tabla 23.

## Conclusiones

Los mayores niveles de ruido diario equivalente al que está expuesto el personal técnico en el campo de la aeronáutica militar se presentan en la línea de vuelo de la aviación de combate supersónica y turbohélice, con 105 dB y 90 dB, respectivamente. Así mismo, se reflejan niveles importantes en el área de estructuras y pinturas con 93 dB y 88 dB, respectivamente, áreas en las cuales el uso de elementos de protección es imprescindible e innegable.

El uso de protectores auditivos brinda una atenuación del ruido que puede ser estimada de manera teórica, a fin de evaluar la idoneidad y eficacia de estos dispositivos; se procura la utilización del método

NIOSH, en vista de que con los métodos HML y SNR los resultados difieren hasta en 23,95%. Esto puede inducir a errores en desmedro de la seguridad del aerotécnico, como en el caso del mantenimiento en la aviación supersónica, en el que el primer método, a diferencia de los otros dos, sugiere que en ciertas actividades se requiera una protección auditiva simultánea de tapones y orejeras.

De acuerdo con lo anotado, es más recomendable el método NIOSH, en vista de que es mucho más conservador e incluye correcciones, debido a la serie de incertidumbres entre la teoría y la realidad. No obstante, puede plantearse la posibilidad de que futuras investigaciones se enmarquen en determinar la atenuación experimental del ruido, con el uso de protectores auditivos en actividades específicas de mantenimiento aeronáutico, tal como los estudios realizados en actividades de vuelo o las efectuadas con el personal de tripulantes.

## Referencias

- Aceituno, A., Cataldo, H., & Chávez, J. (2015). Guía técnica guía para la selección y control de protectores auditivos. *Departamento de Salud Ocupacional*, 1–16. [https://www.achs.cl/portal/centro-de-noticias/Documents/GUIA\\_SELECCION\\_PROTECCION\\_AUDITIVA.pdf](https://www.achs.cl/portal/centro-de-noticias/Documents/GUIA_SELECCION_PROTECCION_AUDITIVA.pdf)
- Caputo, L., & Correa, M. A. (2018). Manejo del ruido en las tripulaciones de la Fuerza Aérea Colombiana en las últimas dos décadas. *Ciencia y Poder Aéreo*, 13(1), 46. <https://doi.org/10.18667/cienciaypoderaereo.585>
- Coello, F., Males, D., Tello, D., & López -Pulles, R. (2017). ¿Son los tapones auditivos eficaces para prevenir los efectos de la contaminación auditiva mediante la atenuación sonora? *Revista de La Facultad de Ciencias Médicas (Quito)*, 42(1), 108–113. [https://doi.org/10.29166/ciencias\\_medicas.v42i1.1541](https://doi.org/10.29166/ciencias_medicas.v42i1.1541)
- Copara, J. E., & Morales, L. A. (2017). Ruido y manifestaciones no otológicas en trabajadores de mantenimiento aeronáutico. *Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería En Sistemas, Electrónica e Industrial*, 1–11. [https://redi.uta.edu.ec/bitstream/123456789/55029/1/Copara\\_Herrera\\_Jefferson\\_Esteban-2018.pdf](https://redi.uta.edu.ec/bitstream/123456789/55029/1/Copara_Herrera_Jefferson_Esteban-2018.pdf)
- Corbalán, E., Trujillo, C., Szajderman, L., & Di Bernardi, A. (2019). *Interacción del aeropuerto de la plata con su entorno a través de mapas estratégicos de ruido y mapas de dispersión gaseosa*. V Jornadas de Investigación, Transferencia y Extensión de la Facultad de Ingeniería, La Plata, Argentina. [http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/74993/Documento\\_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/74993/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Gwenolé NEXER, . (2013). *Double protection auditive*. Dans Quelle Situation l'utilisation d'une Double Protection Auditive Devient-Elle Nécessaire?. *Hearing Protech*. <https://www.hearingprotech.com/fr/publications/double-protection-auditive.html>
- Hecht, Q. A., Hammill, T. L., Calamia, P. T., Smalt, C. J., & Brungart, D. S. (2019). Characterization of acute hearing changes in United States military populations. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 146(5), 3839–3848. <https://doi.org/10.1121/1.5132710>
- Heupa, A. B., Gonçalves, C. G. de O., & Coifman, H. (2011). Effects of impact noise on the hearing of military personnel. *Brazilian Journal of Otorhinolaryngology*, 77(6), 747–753. <https://doi.org/10.1590/s1808-86942011000600011>
- INSHT. (2006). Real Decreto 286/2006 de 10 de marzo, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido. *Boletín Oficial Del Estado*, 1–12. [http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Normativa/TextosLegales/RD/2006/286\\_2006/PDFs/realdecreto2862006de10demarzobrelaprotecciondelasal.pdf](http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Normativa/TextosLegales/RD/2006/286_2006/PDFs/realdecreto2862006de10demarzobrelaprotecciondelasal.pdf)
- Instituto de Seguridad Minera. (2016, November). Seguridad Minera N° 131 - Noviembre 2016. *¿Qué Protectores Auditivos Elegir?*, 14–16. <https://es.calameo.com/books/00262580512e0dcdad3d1>
- Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social, & Seguro General de Riesgos del Trabajo. (2016). Decreto Ejecutivo 2393 Reglamento De Seguridad Y Salud De Los Trabajadores Y Mejoramiento Del Medio Ambiente De Trabajo. *Seguro General De Riesgos Del Trabajo*, 94. <http://www.utm.edu.ec/unidadriesgos/documentos/decreto2393.pdf>
- ISO. (2014). *Ecuatoriana Nte Inen-Iso 7730*. 1–5.
- ISPC, I. de S. P. de C. (2019). *Guía Para La Selección Y Control De*. <https://multimedia.3m.com/mws/media/15718510/other.pdf>
- Ministerio de Trabajo y Seguridad Social y Ministerio de Salud, R. de C. (1990). *Resolución 1792 de 1990*. <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/listados/tematica.2.jsp?subtema=19896&cadena=r>

- Ministerio del Ambiente. (2015). Registro Oficial 387 - AM 140. *Acuerdo Ministerial 097-A, Texto Unificado de Legislación Secundaria Del Ministerio Del Ambiente (TULSMA)*, 1-184. [https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-09/Documento\\_Registro-Oficial-No-387-04-noviembre-2015\\_0.pdf](https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-09/Documento_Registro-Oficial-No-387-04-noviembre-2015_0.pdf)
- Retamozo, S. M. A. (2013). Reducción de los impactos sonoros en la explotación de caliza. *Ciencia y Tecnología*, 67-76. <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/PGM/article/view/271>
- Rodríguez, O. A. (2003). *Determinación de aptitud de protectores auditivos*. <http://www.siafa.com.ar/notisiafa/353/auditivos.pdf>
- Stolk, C. van, Staetsky, L., Hassan, E., & Kim, C. W. (2012). Management of occupational safety and health. In *European Agency for Safety and Health at Work* (Vol. 3). <https://osha.europa.eu/en/tools-and-publications/publications/reports/management-of-occupational-safety-and-health-analysis-of-data-from-the-esener/view>
- Tepe, V., Smalt, C., Nelson, J., Quatieri, T., & Pitts, K. (2017). Hidden hearing injury: The emerging science and military relevance of cochlear synaptopathy. *Military Medicine*, 182(9), e1785-e1795. <https://doi.org/10.7205/MILMED-D-17-00025>
- Upegui-Rincon, S., Araque-Muñoz, L. G., Lizarazo-Salcedo, C. G., Berrio Garcia, S., & Guarguati-Ariza, J. A. (2019). Verificación de niveles de atenuación de protectores auditivos tipo copa en trabajadores del sector Hidrocarburos. *Revista de Salud Pública*, 21(2), 195-201. <https://doi.org/10.15446/rsap.v21n2.70989>
- Valero-Pacheco, I., Riaño-Casallas, M. I., & Rodríguez-Páez, F. (2014). Aproximación a un modelo de costo eficacia de protectores auditivos en el ambiente laboral. *Medicina y Seguridad Del Trabajo*, 60(235), 313-321. <https://doi.org/10.4321/s0465-546x2014000200004>

# Impacto de los riesgos psicosociales, estrés y toma de decisiones en la seguridad operacional\*

| Fecha de recibido: 01 de febrero del 2021 | Fecha de aprobación: 15 de noviembre del 2021 |

## Juan Esteban Lozano Plazas

Magíster en Neuropsicología Clínica

Docente, Fuerza Aérea Colombiana  
Colombia

Rol del investigador: teórico,  
experimental y escritura

<https://orcid.org/0000-0001-5688-5061>

✉ [estebanlozano93@gmail.com](mailto:estebanlozano93@gmail.com)

## Nindre Pico Quintero

Magíster en Trastornos  
Cognoscitivos y del Aprendizaje

Docente, Fuerza Aérea Colombiana  
Colombia

Rol del investigador: teórico y experimental

<https://orcid.org/0000-0002-6311-9274>

✉ [nindre@hotmail.com](mailto:nindre@hotmail.com)

\* Artículo de investigación científica. La investigación no cuenta con financiación. Fue desarrollada en el Comando Aéreo de Transporte Militar de la Fuerza Aérea Colombiana.

**Cómo citar este artículo:** Lozano Plazas, J. E. & Pico Quintero, N. (2022). Impacto de los riesgos psicosociales, estrés y toma de decisiones en la seguridad operacional. *Ciencia y Poder Aéreo*, 17(1), 37-54. <https://doi.org/10.18667/cienciaypoderaaereo.690>



## Impacto de los riesgos psicosociales, estrés y toma de decisiones en la seguridad operacional

### Impact of psychosocial risks, stress and decision making on operational safety

### Impacto dos riscos psicossociais, estresse e tomada de decisão na segurança operacional

**Resumen:** Los riesgos psicosociales, de estrés y toma de decisiones, son parte fundamental de los factores humanos en la aviación, cuya inadecuada gestión podría ocasionar fallas que pondrían en riesgo la seguridad operacional. El objetivo consistió en identificar la relación de los riesgos psicosociales intralaborales, extralaborales, de estrés, autoconfianza y toma de decisiones con el personal de Grupo Técnico (Grute) del Comando Aéreo de Transporte Militar (Catam) de la Fuerza Aérea Colombiana (FAC). De esta manera, a 163 militares activos del Grute del Catam se les administró el Cuestionario de Factores de Riesgo Psicosocial Intralaboral y Extralaboral, el Cuestionario para la Evaluación del Estrés-Tercera Versión, el Cuestionario Melbourne sobre Toma de Decisiones y la Escala de Autoconfianza como Tomador de Decisiones, con el fin de valorar sus indicadores, correlaciones, probabilidades y regresiones. Como resultado, se reportaron niveles de riesgo psicosocial en el 78 % de los participantes, asociado además con el estrés general ( $r = .48 p < .01$ ). La autoconfianza ambivalente estuvo presente en el 37 % y la baja se dio en el 8 % de los participantes. Los peores patrones en toma de decisiones, procrastinación/hipervigilancia y transferencia pueden llegar a ser explicados por el estrés en el 24 % y el 16 %, respectivamente. En conclusión, los riesgos psicosociales, de estrés, autoconfianza y patrones en toma de decisiones están relacionados entre sí, y existen niveles de riesgo altos y muy altos. Por último, hay una alta probabilidad de presentarlos actualmente o a futuro dentro del Grute, lo cual representa un evidente peligro para la seguridad operacional.

**Palabras clave:** estrés; factores humanos en la aviación; riesgos psicosociales; seguridad operacional; toma de decisiones.

**Abstract:** Psychosocial, stress and decision-making risks are a fundamental part of human factors in aviation, whose inadequate management could cause failures that could jeopardize operational safety. The objective was to identify the relationship between intralaboral, extralaboral, stress, self-confidence and decision-making psychosocial risks with the personnel of the Technical Group (GRUTE) of the Military Transport Air Command (CATAM) of the Colombian Air Force (FAC). Thus, 163 active military personnel of the CATAM GRUTE were administered the Intralaboral and Extralaboral Psychosocial Risk Factors Questionnaire, the Questionnaire for the Evaluation of Stress-Third Version, the Melbourne Questionnaire on Decision Making and the Self-Confidence as Decision Maker Scale, in order to assess their indicators, correlations, probabilities and regressions. As a result, psychosocial risk levels were reported in 78 % of the participants, further associated with general stress ( $r = .48 p < .01$ ). Ambivalent self-confidence was present in 37 % and low self-confidence was present in 8 % of the participants. Worse patterns in decision making, procrastination/hypervigilance and transference could be explained by stress in 24 % and 16 %, respectively. In conclusion, psychosocial risks, stress, self-confidence and decision-making patterns are interrelated, and there are high and very high levels of risk. Finally, there is a high probability of presenting them currently or in the future within the GRUTE, which represents an evident danger for the operational safety.

**Keywords:** Stress; human factors in aviation; psychosocial risks; operational safety; decision making.

**Resumo:** Os riscos psicossociais, de estresse e de tomada de decisões são parte fundamental dos fatores humanos na aviação, cuja gestão inadequada poderia causar falhas que poderiam comprometer a segurança operacional. O objetivo era identificar a relação entre intralaboral, extralaboral, estresse, autoconfiança e riscos psicossociais decisórios com o pessoal do Grupo Técnico (GRUTE) do Comando de Transporte Aéreo Militar (CATAM) da Força Aérea Colombiana (FAC). Desta forma, 163 militares ativos da CATAM GRUTE foram administrados o Questionário de Fatores de Risco Psicossocial Intra e Extralaboral, o Questionário de Avaliação de Estresse-Terceira Versão, o Questionário de Melbourne sobre Tomada de Decisão e a Escala de Auto-Confiança como Tomador de Decisão, a fim de avaliar seus indicadores, correlações, probabilidades e regressões. Como resultado, foram relatados níveis de risco psicossocial em 78% dos participantes, associados ainda mais ao estresse geral ( $r = .48 p < .01$ ). A autoconfiança ambivalente estava presente em 37% e a baixa autoconfiança estava presente em 8% dos participantes. Padrões piores na tomada de decisões, procrastinação/hipervigilância e transferência podem ser explicados pelo estresse em 24% e 16%, respectivamente. Em conclusão, riscos psicossociais, estresse, autoconfiança e padrões de tomada de decisão estão inter-relacionados, e existem altos e muito altos níveis de risco. Finalmente, há uma alta probabilidade de riscos atuais e futuros dentro da GRUTE, o que representa um perigo claro para a segurança operacional.

**Palavras-chave:** Estresse; fatores humanos na aviação; riscos psicossociais; segurança operacional; tomada de decisões.

## Introducción

En el año 2019, la Fuerza Aérea Colombiana (FAC) reportó una gran cantidad de Eventos de Seguridad Operacional (Evesos), entre ellos dos accidentes que dejaron como resultado ocho fallecimientos y la destrucción de un helicóptero. En el Comando Aéreo de Transporte Militar (Catam), se reportaron 65 Evesos correspondientes a informes operacionales, novedades operacionales y eventos en tierra, atribuibles a factores operacionales, técnicos y humanos. La ocurrencia de Evesos atribuibles al factor humano es considerada como crítica y de especial interés para el funcionamiento y la conservación de la FAC.

Para entender la seguridad operacional en la FAC, o en cualquier sistema aeronáutico, se debe remitir a su unidad funcional, es decir, el factor humano. Partiendo de lo anterior, la actuación humana en contextos militares ya exige ciertas características como la disciplina, el rendimiento y parámetros adecuados en su salud mental, entre otras que posibilitan y garantizan una ejecución en sus funciones y desempeño. Pero la relación persona-procedimiento no está dada completamente por aquellas condiciones mencionadas, o por el conocimiento en su trabajo, sino que interfieren factores tan diversos como las relaciones sociales en su área de trabajo y fuera de este, su nivel de satisfacción, la armonía familiar o incluso las dificultades económicas, que pueden impactar directamente en su rendimiento al omitir acciones o incurrir en sobreconfianza y, de esta manera, darle paso a la ocurrencia de errores o aumentar su probabilidad.

La FAC ha hecho importantes esfuerzos para tratar de promover hábitos de cuidado durante las operaciones, así como prevenir malas actuaciones que pongan en riesgo la seguridad. Entre los principales actores, y que gozan de especial atención por la condición de su labor, están los Grupos Técnicos (Grute) de las diferentes Unidades Militares Aéreas (UMA), cuya función consiste en realizar procesos de abastecimiento, mantenimiento, armamento aéreo y comunicaciones en las distintas aeronaves de la FAC. Los Grute

podrían llegar a ser considerados como uno de los grupos más funcionales y que mayor carga laboral deben afrontar, debido a las exigencias en seguridad operacional que deben asumir a diario sin importar las condiciones adversas que se presenten.

Por tal razón, se hace necesario reconocer si las condiciones internas y externas del personal de los Grute están generando factores de riesgo psicosocial al dar lugar a episodios o estados de estrés, y por consiguiente, posibles deficiencias en la toma de decisiones que podrían ocasionar, a su vez, numerosos Evesos y accidentes que pongan en riesgo el cumplimiento de la misión e importantes vidas humanas, así como la salud y la calidad de vida de sus miembros. Lo anterior, con el fin de mejorar, prevenir e intervenir eficazmente las características que afecten la realización del trabajo del personal de los Grute del Catam.

## Factores humanos en aviación

En el ámbito aeronáutico, es común encontrar procedimientos estrictamente diseñados para optimizar diversas capacidades y promover la seguridad. Tal es el caso del Crew Resource Management (CRM) o gestión de recursos de la tripulación, en el que se proponen, para el factor humano, dos objetivos fundamentales: comprender la naturaleza del error reconociéndolo como inherente a la conducta humana y crear posibles barreras frente al error antes de que ocurra (Muñoz-Marrón, 2018). La seguridad operacional en la aviación civil o militar debe analizarse partiendo de que el factor humano está inmiscuido incluso en los aspectos más técnicos de reparación y supervisión, con el fin de analizar y optimizar las tareas, con lo que se propende siempre a prevenir, controlar o mitigar los riesgos inherentes a los factores humanos.

Autores como Cequea y Rodríguez-Monroy (2012) han planteado que los factores humanos pueden ser estudiados como el resultado o la interacción de tres grandes dimensiones: las individuales, las grupales y las organizacionales, siendo los dos últimos procesos netamente psicosociales.

## Factores psicosociales

El Ministerio de la Protección Social, en la Resolución 2646 de 2008, definió que los factores psicosociales comprenden “los aspectos intralaborales, los extralaborales o externos a la organización y las condiciones individuales o características intrínsecas del trabajador, los cuales en una interrelación dinámica, mediante percepciones y experiencias, influyen en la salud y el desempeño de las personas” (2008, p. 3). Por otro lado, se entendería que los bajos niveles o la ausencia de factores psicosociales protectores originarían riesgos en los trabajadores que los pueden llevar a la insatisfacción y/o a cometer errores en el cumplimiento de sus tareas, desde un punto de vista de la organización; y desde lo individual los pueden llevar a desarrollar estrés e incidir en su salud física y mental (Osorio y Cárdenas, 2017; Tacca y Tacca, 2019; Macías, 2020).

**Factores y riesgos psicosociales intralaborales.** Las condiciones intralaborales pueden ser entendidas como las características del trabajo y de la organización que influyen en la salud y en el bienestar del individuo (Ministerio de la Protección Social, 2010). Por consiguiente, el riesgo psicosocial intralaboral de una persona o grupo es aquel que puede afectar de forma negativa la salud, el bienestar y el desarrollo personal, así como el desempeño y la productividad (Toro et al., 2016).

Los riesgos intralaborales han sido abordados a partir del modelo demanda-control-apoyo social, desarrollado por Karasek en 1979, el cual propone que estos tres ejes fundamentales pueden conducir a la aparición o el mantenimiento del estrés laboral y los problemas de salud física o psicológica. Así, concluye que a mayores demandas laborales por parte de la organización, sumado a un bajo control o posibilidades de trabajo, y a una escasa y baja calidad de apoyo social tanto de jefes como de colegas, existirá una mayor probabilidad de enfermar e influir negativamente en su producción (Toro et al., 2016).

**Factores y riesgos psicosociales extralaborales.** Las condiciones extralaborales comprenden los aspectos del entorno familiar, económico y social del

trabajador, incluyendo las condiciones del lugar de vivienda, que pueden llegar a influir en la salud y el bienestar del individuo (Ministerio de la Protección Social, 2010). Se ha demostrado cómo las condiciones y las características del trabajo afectan de manera significativa la esfera personal y viceversa, pues la fatiga llevada a casa y el poco tiempo para compartir en familia impactan en la percepción de bienestar físico y mental (Golden y Wiens-Tuers, 2007). Esto ha llevado a que se diseñen conceptos muy valiosos como la calidad de vida relacionada con el trabajo, analizada por el estrés, la satisfacción, el compromiso, la productividad y las condiciones ambientales en el lugar de trabajo (Moreno et al., 2016), al igual que el equilibrio empleo-familia y partiendo del derecho laboral (Patlán, 2016).

## Estrés relacionado con el trabajo

Se ha definido que “el estrés es la respuesta física y emocional a un daño causado por un desequilibrio entre las exigencias percibidas y los recursos y capacidades percibidos de un individuo para hacer frente a esas exigencias” (International Labour Office [ILO], 2012, p. 2). Osorio y Cárdenas definieron el estrés laboral como “el resultado de la aparición de factores psicosociales de riesgo” (2017, p. 82), asociado además a las relaciones laborales, al diseño y a la organización del trabajo (ILO, 2012). Así mismo, el estrés laboral abarca la multicausalidad de factores intralaborales, extralaborales e individuales que lo pueden generar en los trabajadores, además de conllevar una alta probabilidad de afectar decididamente no solo su salud, sino también el funcionamiento a mediano y a largo plazo de la organización (Moreno y Báez, 2010). Por esta razón, desde el año 2009 el estrés es considerado como una enfermedad laboral en Colombia.

Es importante mencionar que el Ministerio del Trabajo (Resolución 2404 de 2019) estableció claramente que los instrumentos adoptados a nivel nacional para la evaluación de dichos factores son: los Cuestionarios de Factores de Riesgo Psicosocial Intralaboral o Extralaboral y el Cuestionario para la Evaluación del Estrés, desarrollado por el Ministerio de la Protección Social (2010).

## Toma de decisiones

La toma de decisiones es la capacidad cognitiva que posee un sujeto para concebir una acción de la manera más razonada posible, la cual está mediada por el estrés inherente a la percepción o grado de control de la situación y por la intuición sobre las posibles consecuencias externas e internas. La toma de decisiones comprendería entonces la ocurrencia de un conflicto interno que genera estrés en el individuo, que sería ocasionado por el desasosiego alrededor de las posibles consecuencias o pérdidas, generando cierta resistencia hacia él (Luna et al., 2012). Después de esto, el sujeto opta por seguir patrones para la toma de decisión, que pueden ser los siguientes: patrón de vigilancia, cuando el sujeto dispone de tiempo suficiente y se siente optimista respecto a la búsqueda de información adecuada para la solución; patrón de hipervigilancia, cuando el sujeto cree que es posible encontrar una solución, pero cree que tiene muy poco tiempo para ello, lo que genera altos niveles de estrés; y patrón de evitación defensiva, cuando el sujeto es pesimista respecto a encontrar una solución y se propone escapar de la situación aplazando o procrastinando la decisión (Luna y Laca, 2014).

Por otro lado, la autoconfianza se presenta como un factor trascendental en la toma de decisiones; se ha demostrado su estrecha relación (Ampountolas et al., 2019) y retroalimentación de acuerdo con las consecuencias positivas o negativas, en aspectos como la carga cognitiva en trabajadores (Zhou et al., 2017) y en la formación aeronáutica (Furedy, 2019; Misra y Halleran, 2019). También determinará el grado de confianza en futuros conflictos de decisión en sus patrones de toma de decisiones.

Estudios han demostrado la relación favorable o desfavorable entre la toma de decisiones y el estrés en el funcionamiento organizacional (Álvarez, 2016), como también la creación de círculos entre el estrés, los efectos neurofisiológicos y la toma de decisiones equivocadas (Cote y García, 2016). Lo anterior evidencia que factores estresores, actividades repetitivas, y labores que requieren grandes niveles de atención y mucha responsabilidad plantean retos en la

vida laboral cotidiana de los trabajadores respecto a los conflictos de decisiones que deben asumir, motivo por el cual dicho fenómeno debe gozar de mayor relevancia con el fin de comprender y generar sistemas de prevención que eviten los accidentes laborales y los problemas de salud asociados.

## Método

### Diseño

La presente investigación es cuantitativa de carácter no experimental y de corte transversal, con fines descriptivos, correlacionales, regresiones y probabilísticos. No se manipulan variables deliberadamente.

### Participantes

Personal uniformado en servicio activo y que decida aceptar el consentimiento informado del Grupo Técnico del Catam. Se utiliza una técnica para el cálculo probabilístico del tamaño de muestra, que registra un tamaño del universo de 282 personas, un nivel de confianza del 95% y de margen de error del 5%, dando como resultado un tamaño muestral para el presente estudio de 163 participantes (n=163).

### Instrumentos

**Cuestionario de Factores de Riesgo Psicosocial Intralaboral (Forma A).** Su objetivo es determinar los factores de riesgo psicosocial intralaboral y su nivel de riesgo. La forma A cuenta con propiedades de baremación y confiabilidad idóneas (altos y medios-altos coeficientes de correlación Spearman; Alfa de Cronbach de 0,954). Los dominios que componen el cuestionario son: el liderazgo y sus relaciones sociales en el trabajo, el control sobre el trabajo, las demandas del trabajo y, por último, las recompensas. Las respuestas a los ítems son de tipo Likert, indican la frecuencia de acontecimiento que va desde “siempre” hasta “nunca” y

se debe seleccionar solo una de ellas (Ministerio de la Protección Social, 2010).

**Cuestionario de Factores de Riesgo Psicosocial Extralaboral.** Su objetivo es establecer los factores de riesgo psicosocial extralaboral y sus niveles de riesgo. La forma para profesionales o técnicos cuenta con propiedades psicométricas y de baremación idóneas (altos y medios-altos coeficientes de correlación Spearman; Alfa de Cronbach de 0,88). Las siete dimensiones que lo componen son: tiempo fuera del trabajo, relaciones familiares, comunicación y relaciones interpersonales, situación económica del grupo familiar, características de la vivienda y de su entorno, influencia del entorno extralaboral sobre el trabajo y, por último, desplazamiento vivienda-trabajo-vivienda. Las respuestas a los ítems son de tipo Likert y buscan reflejar la forma de pensar de los trabajadores, indican la frecuencia del acontecimiento que va desde “siempre” hasta “nunca” y se debe seleccionar solo una de ellas (Ministerio de la Protección Social, 2010).

**Cuestionario para la Evaluación del Estrés-Tercera Versión.** El cuestionario tiene por objetivo identificar los síntomas fisiológicos, de comportamiento social y laboral, intelectuales y psicoemocionales del estrés. El cuestionario en su forma para trabajadores con cargos de jefatura, profesionales o técnicos cuenta con propiedades psicométricas y de baremación idóneas (Alfa de Cronbach de 0,88). Las respuestas a los ítems son de tipo Likert y buscan aquella opción de respuesta que refleje con mayor cercanía la ocurrencia de ciertos síntomas en los últimos tres meses, indican la frecuencia del acontecimiento que va desde “siempre” hasta “nunca” y se debe seleccionar solo una de ellas (Ministerio de la Protección Social, 2010).

**Cuestionario Melbourne sobre Toma de Decisiones.** Instrumento fiable para medir los patrones de toma de decisiones de acuerdo con el modelo expuesto sobre conflicto de decisión (Luna y Laca, 2014). Está compuesto por 22 ítems que evalúan las escalas de vigilancia, procrastinación/hipervigilancia y transferencia, en los que se describen actitudes y conductas que asumen las personas al tomar decisiones con tres posibles opciones de respuesta: 0 (“no es cierto para

mí”), 1 (“algunas veces es cierto para mí”) y 2 (es cierto para mí”) (Luna y Laca, 2014). Su confiabilidad para las escalas va de 0,65 a 0,71.

**Escala de Autoconfianza como Tomador de Decisiones.** Evalúa la autoconfianza de una persona sobre su capacidad de tomar decisiones de manera efectiva y está compuesto por seis ítems, cuyas respuestas van de 0 (“casi nunca”) a 2 (“casi siempre”) (Luna et al., 2012). Se ha reportado una confiabilidad alfa en la traducción al español de ,63 (Mejía y Laca, 2006).

## Procedimientos

Entrenamiento en el uso y calificación de los instrumentos de medición, generar el protocolo de evaluación a través del aplicativo Google Forms debido a las medidas de aislamiento físico obligatorio ordenadas por el Gobierno nacional a causa de la pandemia por COVID-19, obtener las respuestas de los participantes por medio de hojas de cálculo en Google Drive, generar y alimentar la base de datos con las variables establecidas, aplicar pruebas estadísticas fiables y pertinentes para el análisis de los datos, determinar probabilidades, establecer resultados y conclusiones, y proponer un modelo preventivo de seguridad operacional basado en la evidencia.

## Análisis estadístico

Descripción de datos sociodemográficos con el fin de hallar las características principales que presenta la muestra. Calificación, análisis y estadística descriptiva de cada uno de los instrumentos utilizados, partiendo del sistema de corrección, calificación y análisis de cada uno de los cuestionarios. Coeficiente de correlación entre los datos arrojados por los instrumentos de medición. Análisis probabilísticos para comprender la probabilidad que tiene un individuo de poseer un factor de riesgo psicosocial o de estrés dentro de los Grute. Regresión lineal entre los datos arrojados por los instrumentos, asumiendo como variables dependientes e independientes los factores psicosociales, el estrés y la toma de decisiones, con el fin de observar cómo depende cada uno de los demás.

## Consideraciones éticas

La investigación presenta riesgos mínimos por manejo de información según las normas de buena práctica clínica. No existió ningún riesgo potencial para los participantes del estudio. El estudio incluyó consentimiento informado y cuestionarios virtuales en el marco del aislamiento preventivo obligatorio por la pandemia de COVID-19. Los instrumentos se utilizan de manera rutinaria en la práctica psicológica. No se incluyeron situaciones embarazosas ni de riesgo físico para los participantes. El riesgo psicológico fue mínimo, aunque es posible que la ejecución produjera fatiga o frustración leve en algunos de los participantes. Para reducir este riesgo, el evaluado podía suspender temporalmente la ejecución de las pruebas en su dispositivo tecnológico y retomarlo cuando él mismo considerara. De esta manera, se pudieron reducir los signos de fatiga o frustración. Los datos obtenidos fueron almacenados de forma confidencial por los investigadores.

## Resultados

Se obtuvo, de forma general, un total de 192 personas que respondieron al cuestionario, de las cuales siete no aceptaron el consentimiento informado y fueron excluidas. De acuerdo con el método planteado, se seleccionó al azar una muestra de 163 participantes para efectuar los análisis y resultados.

### Resultados sociodemográficos

Las características sociodemográficas de la muestra se presentan de acuerdo con cuatro aspectos: datos básicos, laborales, familiares y de salud.

**Datos básicos.** La muestra estuvo conformada por 156 hombres (95,7%) y 7 mujeres (4,3%), con edades entre 19 y 52 años ( $M=31,2$   $DE=6,3$ ). El estado civil en la muestra estuvo conformado en su mayoría por personas solteras (42,9%), seguido de casadas (38%), en unión libre (15,3%), y separadas o divorciadas

(3,6%). El tipo de vivienda en el cual viven es arrendada (51,5%), vivienda familiar (27%) y, por último, propia (21,5%). Adicionalmente, el estrato socioeconómico con mayor frecuencia fue el tres (67,5%), seguido por el cuatro (20,9%) y el dos (9,8%). El nivel de estudios se presenta en la figura 1.

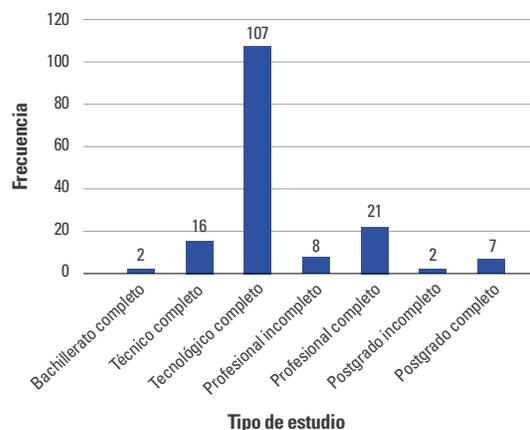


Figura 1. Nivel de estudios en la muestra de los Grute del Catam  
Fuente: elaboración propia.

**Datos laborales.** El tiempo al servicio de la FAC en la muestra oscila entre los 0 y 26 años, con un promedio de 10,7 ( $DE=6,5$ ) años, y 13 años de servicio es el dato más común (9,2%). El tipo de escuadrón o sección y su frecuencia se exponen en la figura 2. En el personal militar que conformó la muestra, el 41,7% afirmó tener personal a cargo en su escuadrón. Por otro lado, se encontró que en promedio han desempeñado su cargo actual por 3,7 años ( $DE=3,2$ ), siendo un año de desempeño en el cargo actual lo más frecuente (27%). A su vez, se halló que hay un promedio de nueve horas de trabajo al día ( $DE=1,6$ ) y llama la atención las dieciocho horas de trabajo al día como dato máximo. Respecto a los ingresos mensuales, se observó que el 46,6% percibe de tres a cuatro salarios mínimos legales vigentes (SMLV), seguido de uno a dos SMLV (46%), y de cinco a seis SMLV (6,7%) o más de siete SMLV (0,6%). Entre tanto, en relación con la asistencia a comités o juntas de vuelo, la muestra refirió que solo el 6,7% de ellos ha asistido entre una, dos o tres oportunidades. Por último, la distribución de los grados militares se presenta en la figura 3.

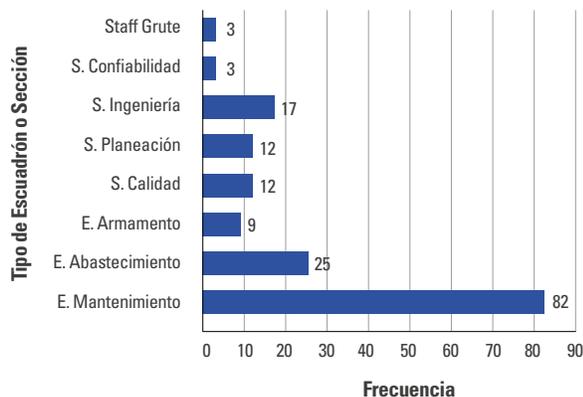


Figura 2. Tipo de escuadrón o sección en la muestra de los Grute del Catam  
Fuente: elaboración propia.

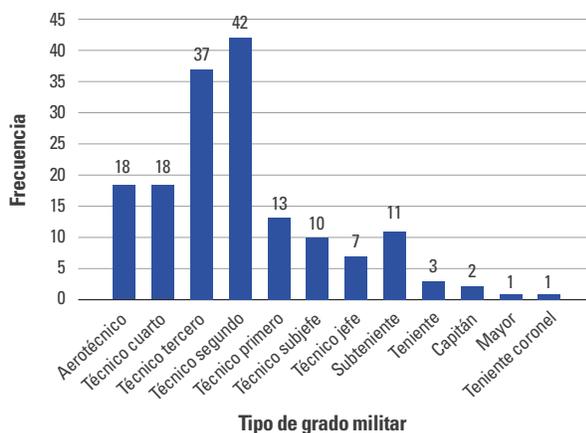


Figura 3. Grados militares en la muestra de los Grute del Catam  
Fuente: elaboración propia.

**Datos familiares.** Con el fin de indagar la cercanía física familiar, fue necesario conocer si los militares que conformaron la muestra viven o no en las UMA; se obtuvo que el 74,2% no vive en las UMA y tan solo el 25,8% sí vive allí. Lo anterior se pudo contrastar porque el 62% vive con sus familias, mientras que el 38% de ellos no lo hace. Por otro lado, al indagar sobre la cantidad de personas que dependen económicamente del personal que conformó la muestra, el 74,8% manifestó que efectivamente tiene personas que dependen de ellos, siendo lo más frecuente dos personas dependientes (31,3%); en promedio general, por cada militar hay 1,64 personas que dependen de ellos ( $DE=1,2$ ).

**Datos de salud.** Se encontró que el 19% de quienes conformaron la muestra tiene antecedentes médicos; aproximadamente ocho militares presentaban

más de un antecedente médico. En la figura 4, se presentan los antecedentes médicos y la tipología del diagnóstico. Por último, tan solo el 9,8% manifestó que consumen medicamentos actualmente.

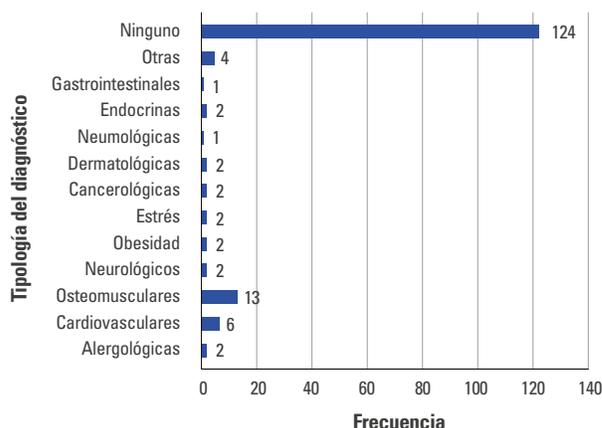


Figura 4. Antecedentes médicos en la muestra de los Grute del Catam  
Fuente: elaboración propia.

## Resultados en los instrumentos de medición

**Cuestionario de Factores de Riesgo Psicosocial Intralaboral.** Los principales resultados de los dominios y el total del cuestionario se presentan en la tabla 1. Se observan los resultados en puntajes brutos y su interpretación de acuerdo con los baremos propios del cuestionario y sus calificaciones según el nivel de riesgo.

Tabla 1.  
Resultados riesgo psicosocial intralaboral

Dominio	Puntajes brutos	Puntajes transformados	Nivel de riesgo
Liderazgo y relaciones sociales en el trabajo	49,9 (32,6)	30,4 (19,9)	Riesgo alto
Control sobre el trabajo	32,5 (16,2)	38,7 (19,2)	Riesgo alto
Demandas del trabajo	93,2 (22,1)	46,6 (11,0)	Riesgo alto
Recompensas	10,8 (8,9)	24,6 (20,3)	Riesgo alto
Total	186,5 (69,3)	37,9 (14,0)	Riesgo alto

*Nota.* Los valores son expresados en medias (desviación estándar).  
Fuente: elaboración propia.

En cuanto a los riesgos psicosociales intralaborales, se pudo determinar que todos sus dominios se encuentran en un nivel de riesgo alto; por consiguiente,

se sospecharía acerca de posibles niveles altos de estrés que podrían afectar no solo la salud y el bienestar del recurso humano, considerado como el más valioso, sino también su desempeño y la posibilidad de estados que produzcan o propicien las cadenas de errores y lamentables pérdidas. En consecuencia, es alarmante observar que la principal afectación que reportó el personal son las demandas de trabajo, que pueden llegar a producir estados de fatiga y errores. Así mismo, el liderazgo y las relaciones sociales en el trabajo ocuparon un segundo lugar en riesgo, aspecto que claramente puede llegar a afectar el clima laboral y su cultura, con lo que se genera desadaptación en el ambiente de trabajo y posibles pérdidas a futuro.

**Cuestionario de Factores de Riesgo Psicosocial Extralaboral.** Por medio de las diferentes dimensiones que lo componen y su total general, se obtuvieron los puntajes brutos para su posterior transformación y análisis a través de los baremos expuestos en la versión original del cuestionario. Los hallazgos se evidencian en la tabla 2.

Tabla 2.  
Resultados del riesgo psicosocial extralaboral

Dimensiones	Puntajes brutos	Puntajes transformados	Nivel de riesgo
Tiempo fuera del trabajo	6,7 (3,5)	42,2 (22,3)	Riesgo alto
Relaciones familiares	2,0 (2,7)	16,6 (23,2)	Riesgo bajo
Comunicación y relaciones interpersonales	5,0 (4,2)	25,0 (21,4)	Riesgo alto
Situación económica del grupo familiar	3,9 (2,7)	32,8 (23,0)	Riesgo medio
Características de la vivienda y de su entorno	7,9 (7,2)	21,9 (20,0)	Riesgo alto
Influencia del entorno extralaboral en el trabajo	3,4 (2,7)	28,7 (22,5)	Riesgo alto
Desplazamiento vivienda-trabajo-vivienda	5,1 (4,0)	32,0 (25,2)	Riesgo alto
Total	34,2 (20,9)	27,5 (16,8)	Riesgo alto

Nota. Los valores son expresados en medias (desviación estándar).  
Fuente: elaboración propia.

Los factores de riesgo psicosocial extralaboral en el grupo de estudio se mostraron, de forma general, en un nivel de riesgo alto que, al igual que en el riesgo intralaboral, podría llegar a asociarse con niveles de estrés que a su vez afectan la salud y el bienestar del

personal; por ello, es debido fortalecer las fallas latentes dentro de la organización que generan los eventos no deseados en seguridad operacional. Las dimensiones que parecieran presentar mayor afectación son: i) el tiempo fuera del trabajo, que refleja posiblemente el escaso tiempo libre y de calidad para actividades familiares y de ocio; y ii) el desplazamiento entre la vivienda y el trabajo y la influencia del entorno extralaboral en el trabajo, lo cual refleja un riesgo alto y posiblemente un malestar significativo en sus vidas. De manera positiva para el grupo de estudio, se evidenció que las dimensiones de relaciones familiares y situación económica del grupo familiar son factores protectores externos al trabajo, lo cual podría mantener o potenciar la calidad de vida, el bienestar y el proyecto de vida entre sus miembros.

**Valoración de los factores de riesgo psicosocial.** Con el fin de conocer la puntuación general y su nivel de riesgo psicosocial en la muestra evaluada, fue necesario calcular la sumatoria de los resultados brutos de los cuestionarios de riesgos intralaborales y extralaborales, siguiendo los procedimientos establecidos en el cuestionario original. Los resultados brutos y transformados generales se presentan en la tabla 3.

Tabla 3.  
Resultados del riesgo psicosocial general

Riesgo psicosocial	Puntajes brutos	Puntajes transformados	Nivel de riesgo
Total	220,7 (86,8)	35,8 (14,1)	Riesgo muy alto

Nota. Los valores son expresados en medias (desviación estándar).  
Fuente: elaboración propia.

Los resultados y el nivel de riesgo muy alto que arrojaron en promedio los factores de riesgo psicosocial se muestran realmente alarmantes, debido a la posible relación que podrían presentar con altos niveles de estrés y aspectos que incluyen la salud y la satisfacción, así como la calidad de vida dentro y fuera del lugar de trabajo. Se sugeriría, según los parámetros del cuestionario, una intervención inmediata mediante un sistema de vigilancia epidemiológica, con el fin de pasar de lo general a lo particular y propender a la corrección y mitigación en esta área. Adicionalmente, este nivel de riesgo muy alto en factores psicosociales,

desde el punto de vista de los factores humanos, podría llegar a asociarse como un evidente riesgo para la seguridad operacional en las labores diarias que ejecutan los Grute.

**Cuestionario para la Evaluación del Estrés-Tercera Versión.** Tras exponer la clara relación existente entre las condiciones y los riesgos dentro y fuera del trabajo con el estrés, fue indispensable evaluar integralmente la presencia de sintomatología del estrés en las personas que conformaron la muestra. A continuación, se presentan los resultados en la tabla 4.

Tabla 4.  
Resultados sintomatología de estrés

Síntomas	Puntajes brutos	Nivel de síntomas de estrés
Fisiológicos	5,1 (4,0)	
Comportamiento social	1,6 (2,3)	
Intelectuales y laborales	1,7 (1,6)	
Psicoemocionales	0,5 (0,6)	
Puntajes totales brutos	9,0 (7,7)	
Puntajes totales transformados	14,7 (12,6)	Medio

*Nota.* Los valores son expresados en medias (desviación estándar). El nivel de síntomas de estrés solo debe ser interpretado para el puntaje total transformado.  
Fuente: elaboración propia.

La sintomatología del estrés y su conjunto (estrés general) se observó como un factor posiblemente latente en el personal y como una respuesta de estrés moderada. Aunque no se ofrece un análisis detallado por síntoma en los parámetros del cuestionario, sí se infiere que los síntomas más frecuentes fueron los fisiológicos, el comportamiento social y los intelectuales-laborales; se observa que el primero de estos tuvo mayor cronicidad, lo cual podría motivar acciones para disminuir su impacto y prevenir los efectos perjudiciales en la salud de los miembros de los Grute.

**Cuestionario Melbourne sobre Toma de Decisiones.** Una vez planteada la hipótesis sobre la relación del riesgo psicosocial, el estrés y la toma de decisiones, fue pertinente evaluar los principales patrones que componen la toma de decisiones en la muestra evaluada, con el objetivo de esclarecer su participación en la posible ocurrencia de los Evesos. Sus principales resultados se presentan en la tabla 5.

Tabla 5.  
Resultados patrones en la toma de decisiones

Escalas	Puntajes brutos
Procrastinación/Hipervigilancia	2,4 (2,6)
Transferencia	2,5 (2,2)
Vigilancia	8,1 (2,3)

*Nota.* Los valores son expresados en medias (desviación estándar).  
Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con lo encontrado, se puede inferir que el patrón de toma de decisiones predominante en la muestra evaluada es de vigilancia (87%), lo cual indicaría un patrón de respuestas adaptativo, competente y acorde a las exigencias de la labor. En cuanto a los otros patrones de toma de decisiones, llaman la atención los promedios y las predominancias de procrastinación/hipervigilancia (aplazamiento consciente en la toma de decisiones hasta actuar de forma rápida o repentina cuando se llega el momento de emitir una acción) de y transferencia (omitir o atribuir a otros la responsabilidad propia de tomar la decisión), con 7% y 1%, respectivamente, debido a las implicaciones que puede conllevar al momento de realizar actividades técnicas fundamentales y de gran responsabilidad, como reparación de aeronaves, entre otras. El 5% restante en la predominancia lo obtuvieron las respuestas homogéneas a los tres patrones de toma de decisiones.

**Escala de Autoconfianza como Tomador de Decisiones.** En consecuencia, aparte de conocer las principales características o patrones a la hora de tomar decisiones en la muestra evaluada, es igualmente importante exponer el nivel de autoconfianza que sienten las personas cuando se toma una decisión, ya que este nivel pudo haber sido influenciado por consecuencias negativas o positivas de las decisiones tomadas en el pasado y que, además, pueden llegar a afectar las decisiones presentes y futuras. Con el fin de obtener un análisis más preciso, se conformaron dos grupos según la intención de los reactivos de la escala: aquellos que reflejaban una autoconfianza baja (reactivos inversos) y aquellos que reflejaban una autoconfianza alta (reactivos directos). Los datos obtenidos se evidencian en la tabla 6.

Tabla 6.  
Resultados autoconfianza como tomador de decisiones

Autoconfianza	Puntajes brutos
Autoconfianza baja	4,5 (1,5)
Autoconfianza alta	5,5 (0,9)
Total	10,0 (2,0)

Nota. Los valores son expresados en medias (desviación estándar).  
Fuente: elaboración propia.

Al hacer un análisis proporcional, se encontró que las personas que obtuvieron puntuaciones predominantes en autoconfianza alta fueron el 55 %, mientras que aquellos que presentaron ambivalencia y homogeneidad en sus puntuaciones (autoconfianza baja y alta) fueron el 37 %. Por lo tanto, el 8 % presentó puntuaciones predominantes en autoconfianza baja; llama la atención por las acciones que se deben realizar en materia de seguridad operacional, las cuales deben brindar autonomía, confianza y responsabilidad en el resto del personal, y además podrían llegar a ser material de análisis en cuanto a posibles rasgos de personalidad o incluso de psicopatología.

## Resultados de correlaciones

Se procedió a generar coeficientes de correlación de Pearson, con el fin de observar los niveles de relación entre las variables y su significancia. Se presentan las principales correlaciones existentes entre los riesgos psicosociales y los síntomas del estrés (tabla 7), los riesgos psicosociales y la toma de decisiones (tabla 8), y por último, el estrés general y la toma de decisiones (figura 5).

Los riesgos psicosociales intralaborales, extralaborales y generales se relacionaron positiva y moderadamente con todos los síntomas del estrés y el estrés en general, con lo que se demuestra una óptima significancia estadística y un análisis claro acerca de cómo los riesgos psicosociales generan un impacto decisivo en el estrés percibido, y viceversa, en el personal militar de los Grupos del Catam. Ahora bien, la globalidad de los síntomas del estrés da a inferir, aunque sugestivamente, que tanto la salud como la calidad de vida en el personal evaluado merecen mayor atención y estudio,

Tabla 7.  
Correlaciones entre los riesgos psicosociales y los síntomas del estrés

Riesgo psicosocial	Síntomas del estrés				
	Fisiológicos	Comportamiento social	Intelectuales y laborales	Psicoemocionales	Estrés general
Intralaboral	,40**	,38**	,53**	,42**	,48**
Extralaboral	,30**	,36**	,40**	,36**	,39**
Riesgo psicosocial general (intralaboral y extralaboral)	,39**	,39**	,52**	,42**	,48**

Nota. (\*\*) Correlación significativa al nivel  $p < ,01$ .  
Fuente: elaboración propia.

Tabla 8.  
Correlaciones entre los riesgos psicosociales y la toma de decisiones

Riesgo psicosocial	Toma de decisiones				
	Procrastinación/Hipervigilancia	Transferencia	Vigilancia	Autoconfianza baja	Autoconfianza alta
Intralaboral	,33**	,19*	-0,1	-,31**	-,17*
Extralaboral	,33**	,24**	-0,15	-,41**	-,25**
Riesgo psicosocial general (intralaboral y extralaboral)	,35**	,21**	-0,12	-,34**	-,20*

Nota. (\*) Correlación significativa al nivel  $p < ,05$ . (\*\*) Correlación significativa al nivel  $p < ,01$ .  
Fuente: elaboración propia.

con fines de conservación del recurso humano y de aspectos netamente operacionales. En consecuencia, merece la pena resaltar que el síntoma de estrés que mayor asociación obtuvo con cualquiera de los riesgos psicosociales fue precisamente el estrés de tipo intelectual y laboral, lo cual refleja una clara sinergia con el nivel de riesgo muy alto expuesto en los resultados interpretados de la evaluación de los riesgos psicosociales en general (intralaboral y extralaboral), obtenido en la muestra evaluada.

Los patrones menos provechosos en la toma de decisiones (procrastinación/hipervigilancia o transferencia) reflejaron una correlación leve, aunque significativa, con los riesgos psicosociales intralaborales, extralaborales o generales; esto evidenció una unión por cuanto a mayores riesgos psicosociales existan en el individuo o grupo, se da mayor uso de estos patrones de decisiones, es decir, existe un dilema entre los riesgos psicosociales y un peor patrón en la toma de decisiones. No sucede lo mismo con la vigilancia, por suerte, puesto que sus correlaciones se mostraron muy débiles y sin significancia estadística con los riesgos.

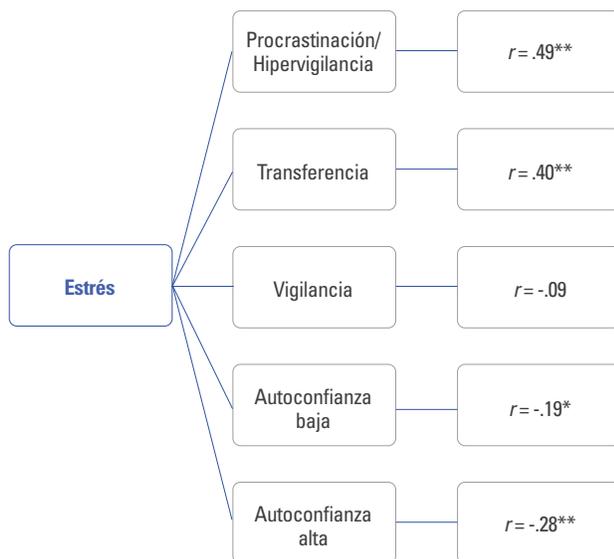


Figura 5. Correlaciones entre el estrés general y la toma de decisiones  
 Nota. (\*) Correlación significativa al nivel  $p < .05$ . (\*\*) Correlación significativa al nivel  $p < .01$ .  
 Fuente: elaboración propia.

Los riesgos psicosociales evidenciaron, en relación con la autoconfianza, que a mayor riesgo psicosocial intralaboral, extralaboral y general, menor autoconfianza posee el individuo a la hora de tomar decisiones. Lo anterior reflejaría cómo las características diversas que componen los riesgos psicosociales terminan por afectar aspectos tan internos en los sujetos como su autoconfianza para tomar decisiones idóneas y viceversa. Esto resulta alarmante cuando se busca precisar sobre el bienestar psicológico y emocional del personal evaluado, atribuyendo, además, similitudes encontradas en la relación entre los síntomas del estrés y los riesgos psicosociales.

En cuanto al estrés general y su relación con la toma de decisiones, es pertinente reconocer que, a pesar de que existe una correlación negativa muy leve entre el estrés y la vigilancia, no existió nivel de significancia estadística; por lo tanto, no sería pertinente afirmar que a mejor patrón de toma de decisión (vigilancia), menor presencia de estrés general. Por otro lado, se reconoce que la correlación moderada entre el estrés y los patrones de procrastinación/hipervigilancia o transferencia da a entender que la sintomatología se agravará conforme se retarda voluntariamente la ejecución de la acción, se ejecuta la acción de forma intempestiva, se otorga responsabilidad a otro(s) por la toma de decisión propia, o viceversa. Por último, la correlación negativa leve, pero significativa, con una autoconfianza alta esclarece que precisamente a mayor autoconfianza, menor estrés se manifestará en el personal de los Grute; por lo tanto, se esperaría una mejor ejecución en sus acciones en tanto que no haya estrés y exista la autoconfianza.

En último lugar, se hallaron las correlaciones existentes entre las dos formas de autoconfianza y los patrones en toma de decisiones. Se observó que la autoconfianza baja al tomar decisiones se relaciona de manera significativa con la procrastinación/hipervigilancia ( $r = -.40$ ) y con la transferencia ( $r = -.36$ ), pero no de forma significativa con la vigilancia. En contraste, la autoconfianza alta al tomar decisiones se relaciona de manera significativa con todos los patrones: procrastinación/hipervigilancia ( $r = -.53$ ), transferencia ( $r = -.47$ ) y vigilancia ( $r = .21$ ). Es importante resaltar

que la correlación entre la autoconfianza alta y el mejor patrón en toma de decisiones (vigilancia), a pesar de mostrarse leve, fue positiva. A partir de esto último se interpreta que a mayor autoconfianza alta, mayor presencia de este patrón en toma de decisiones, con lo que se evidencia una relación adaptativa y segura cuando se toman las decisiones en el grupo de estudio. Consecuentemente, se podría interpretar que a menor autoconfianza alta, mayor presencia del resto de patrones no adaptativos en toma de decisiones, lo cual es equivalente a lo evidenciado por la baja autoconfianza y su relación con los patrones no adaptativos.

## Resultados de regresiones lineales

Con el objetivo de identificar las posibles relaciones de causalidad entre las variables de estudio, se generaron coeficientes de determinación y su significancia, presentados en la figura 6.

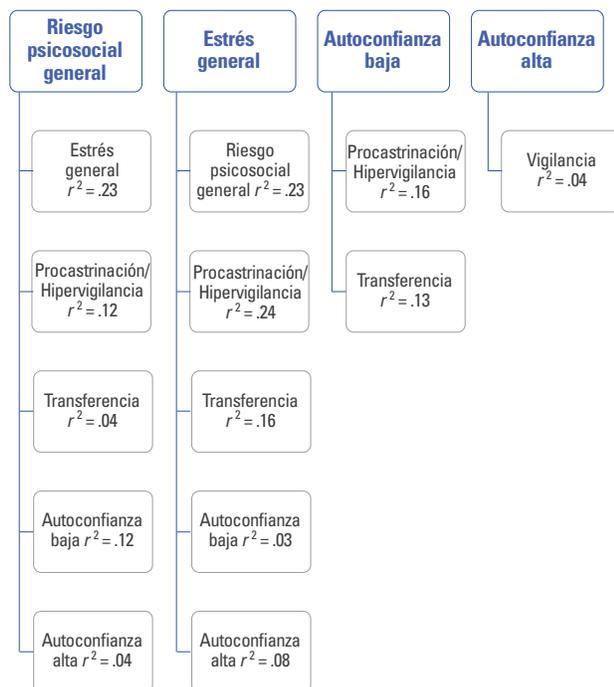


Figura 6. Regresiones lineales en las variables de estudio

*Nota.* Regresiones significativas en coeficientes de determinación ( $r^2$ ) y de acuerdo con las correlaciones encontradas. En negrillas se presentan las variables independientes.

Fuente: elaboración propia.

Entre los principales hallazgos se interpreta que el 23 % del estrés general podría llegar a ser explicado por los riesgos psicosociales generales en el grupo de estudio. Los patrones en toma de decisiones como la procrastinación/hipervigilancia y la transferencia pueden ser determinados por el estrés general en el 24 % y el 16 %, respectivamente, y por la autoconfianza baja en el 16 % y el 13 %, respectivamente; se observa, de esta manera, cierta unión estable en la triada estrés-patrón desadaptativo en toma de decisiones-autoconfianza baja. No obstante, el patrón de vigilancia en toma de decisiones se mostró significativo exclusivamente con la autoconfianza alta al tomar decisiones, lo cual infiere una relación de determinación apropiada y un factor protector a fortalecer y consolidar dentro del grupo.

## Resultados de probabilidades

Los análisis probabilísticos son de gran utilidad para lograr un nivel de comprensión en cuanto a tener un rasgo o una característica dentro de una población determinada; en este caso, presentar riesgos psicosociales y estrés general al pertenecer a los Grute del Catam. Las probabilidades están reflejadas en la tabla 9.

Tabla 9. Probabilidades de tener riesgos psicosociales y estrés general en los Grute del Catam

Variables	Probabilidades			
	Riesgo medio	Riesgo alto	Riesgo muy alto	Riesgo total
Riesgo intralaboral	15 %	20 %	46 %	80 %
Riesgo extralaboral	14 %	21 %	36 %	71 %
Riesgo psicosocial general (intralaboral y extralaboral)	13 %	17 %	48 %	78 %
Estrés general	21 %	13 %	13 %	48 %

*Nota.* Los valores en porcentaje son redondeados para el no uso de decimales. El riesgo total es calculado mediante la sumatoria de los riesgos medio, alto y muy alto.

Fuente: elaboración propia.

Los resultados obtenidos denotan, de forma general, probabilidades muy altas de tener o llegar a tener riesgos psicosociales y/o estrés en el grupo de

estudio. Es alarmante que predomine la existencia de una probabilidad de riesgo muy alta en los riesgos intralaborales; en otras palabras, aproximadamente cuatro de cada diez personas de los Grute presentan el máximo nivel de riesgo. En consecuencia, hay una probabilidad del 78% de que el personal presente actualmente, o llegue a presentar, riesgos psicosociales generales (intralaboral y extralaboral), y sus respectivos efectos a nivel personal y laboral. Por último, confirmando el nivel medio de síntomas de estrés dentro de la muestra, se hace evidente que el estrés general es un factor latente entre el personal (48%), lo cual implicaría una afectación directa a la calidad de vida y a la salud, que a su vez podría llegar a incrementar los riesgos psicosociales y los patrones no adaptativos en la toma de decisiones, y que finalizaría, probablemente, en Evesos dentro de las UMA.

## Discusión

De los aspectos sociodemográficos evaluados, desde una postura de seguridad operacional, se destaca que factores como trabajar durante nueve horas al día, llevar un año de desempeño en el cargo, seguido de las responsabilidades familiares y su cercanía física, son comunes entre el personal. A su vez, se resalta que dichos factores podrían representar un evidente riesgo técnico para la operación, ya sea por falta de experiencia, síntomas de fatiga, inadecuada toma de decisiones y baja autoconfianza por situaciones familia-trabajo, y por las afectaciones en su calidad de vida.

La salud física del personal evaluado demostró una mayor prevalencia de antecedentes médicos osteomusculares, con lo cual se podría inferir que las características de las rutinas laborales pueden llegar a afectar la postura corporal y generar fatiga y dolor. Así lo han demostrado estudios similares en el ámbito militar y que sugieren una evidente alteración en su vitalidad, calidad de vida y recomiendan un abordaje multidisciplinar (Soares et al., 2019; Monteiro et al., 2020). En segundo lugar de prevalencia, se observó que los antecedentes cardiovasculares son comunes a

los reportados en otros estudios, en los que se ha sugerido que el riesgo vascular está relacionado con el sobrepeso, en mayor medida, y con el colesterol (Pacheco y Romero, 2019; Marinzalda et al., 2020). En consecuencia a los problemas de salud mental, sería pertinente en estudios futuros analizar la incidencia de trastornos mentales, ya que se han identificado las respuestas mal adaptativas al estrés y los trastornos adaptativos, somatomorfos y del estado de ánimo, como frecuentes en el personal de la industria aeronáutica civil y militar (Medialdea y Velasco, 2016).

Referente a lo hallado y reportado en los instrumentos de medición, su correlación y regresión lineal, el riesgo muy alto presentado en los riesgos psicosociales, generado por la conjunción de riesgo alto intralaboral y extralaboral; el nivel medio de la sintomatología de estrés, los niveles de autoconfianza baja y alta muy similares, y los patrones en toma de decisiones, evidencian fallas y un claro compromiso sobre el estado actual y la gestión óptima del factor humano en los Grute. Desde un análisis del modelo SHELL, desarrollado por Edwards en 1972 y modificado por Hawkins en 1975 (Tourón et al., 2019), se puede observar que las condiciones ambientales internas y externas del entorno de trabajo, seguido de las complejas interacciones sociales dadas por la labor y las características particulares de cada individuo, como uso del tiempo libre y las situaciones familiares, podrían llegar a explicar total o parcialmente el error humano conducente a los Evesos presentes o futuros. Ahora bien, entendiendo los hallazgos desde las interfaces que brinda el modelo, se podrían destacar: la falta de experiencia en el cargo (*software-liveware*), el riesgo alto sobre el control y las demandas del trabajo (*hardware-liveware*), los riesgos psicosociales muy altos (*environment-liveware*), la transferencia y procrastinación/hipervigilancia en la toma de decisiones, la baja autoconfianza al tomar decisiones, así como riesgo alto en liderazgo y relaciones sociales en el trabajo (*liveware-liveware*).

En vista de lo anterior, el programa de control de amenaza y error TEM (Threat and Error Management), desarrollado por Robert Helmrich para el estudio de la seguridad y el desempeño en contextos operacionales,

ofrece la oportunidad de analizar, a la luz de los hallazgos, una posible atmósfera latente de amenazas y errores en los Grute. Las amenazas son consideradas como las causas ajenas al actuar del personal, en las que se puede situar lo reportado sobre las características laborales y sus extensas jornadas, el ambiente de trabajo, así como todos los riesgos psicosociales extralaborales que presentan el 71 % de miembros del Grute. Respecto a los errores, son considerados como las causas inherentes al actuar del personal, en lo que se evidencia el alto riesgo psicosocial intralaboral, el 48 % de riesgo total en estrés entre sus miembros, la baja autoconfianza y la presencia de patrones mal adaptativos en sus tomas de decisiones. Ahora bien, la presencia individual o relacionada entre las amenazas y los errores, y su manejo inadecuado, como se presentaron en los análisis descriptivos, de correlaciones y de regresión, han podido o podrían desencadenar los denominados estados no deseados, y dependiendo de su manejo, la desafortunada aparición de daños o pérdidas en todo orden, como las reportadas en los Evesos de 2019 en las UMA.

En cuanto a las altas probabilidades de tener los riesgos psicosociales y de estrés en los Grute, se podría inferir que, por su gran proporción, son factores que parecieran ser inherentes a la condición de su labor, pero que posiblemente llegan a ser desencadenantes de Evesos, además de estar directamente relacionados con la calidad de vida de los miembros de los Grute. Al respecto, estudios han descrito a la población militar como uno de los grupos con los peores riesgos psicosociales, debido a que las condiciones de su trabajo (por ejemplo, los conflictos con sus jefes, el aumento de sus responsabilidades y el disfrute inadecuado de su tiempo libre) pueden resultar perjudiciales para su salud física y psicológica (Moreno et al., 2001).

De acuerdo con lo ya expuesto, los resultados en los instrumentos de medición conforman una alarmante señal para que se tomen medidas de promoción, prevención, intervención y mitigación proactivas y no reactivas en el interior de los Grute de las distintas UMA que conforman la geografía nacional, específicamente en asuntos como: el acoso laboral (Loaiza y Posada, 2016); el bienestar laboral (Luceño-Moreno et al.,

2017); las demandas laborales, el control sobre el trabajo, el desequilibrio esfuerzo-recompensa, la supervisión, el conflicto entre trabajo y familia, los tiempos de trabajo, la depresión y la salud mental (Talavera-Velasco et al., 2017); la relación entre los turnos de trabajo y su tolerancia en el personal, el entrenamiento para el manejo y la buena gestión del estrés en aviación (Alonso, 2018); la relación entre el estrés, la autoconfianza y las habilidades en toma de decisiones (Baştuğ et al., 2016); los patrones adecuados en la toma de decisiones y la autoconfianza en el desarrollo de sus tareas, entre otros factores que pueden favorecer la aparición de novedades o incluso mantener las ya existentes en la seguridad operacional aeronáutica que recae en sus funciones.

Todo lo ya discutido puede propiciar o incrementar el inevitable error humano entre el personal estudiado, ya sea por errores de planificación y sus equivocaciones, o por errores de ejecución, como los descuidos de atención, lapsus de memoria o errores de percepción (Organización de Aviación Civil Internacional, 2003). Se hace imperante que, a través de modelos como el de James Reason (2000), se reconozcan las condiciones latentes en los Grute, sus lugares de trabajo y entre sus miembros, para que se puedan adoptar defensas y barreras eficaces que contrarresten los peligros y reduzcan o eliminen sus incidentes o accidentes.

Por otro lado, a partir de los resultados encontrados en las correlaciones y de las discusiones planteadas, se presenta el modelo propuesto en la figura 7.

El modelo propuesto asume las variables estudiadas desde una postura de cadena de relaciones y probabilidades, que pueden conducir o no a los Evesos a través de un intento de identificar, controlar y, en consecuencia, eliminar las cadenas de error en los Grute de las UMA. Entre tanto, lo que se buscaría es disminuir los niveles de riesgos psicosociales, con el fin de conducir a menor presencia de estrés, aumentando la autoconfianza y generando, por último, el mejor patrón en toma de decisiones, en lo cual se esperaría una disminución de eventos y un fortalecimiento de la seguridad operacional. Es de aclarar que, aunque el modelo no se presenta como definitivo o concluyente, sí

pretende evidenciar, a través de correlaciones, regresiones y probabilidades, un acercamiento estadístico y basado en la evidencia que podría aportar a modelos futuros en seguridad operacional cada vez más integrales y que busquen, desde la complejidad, la optimización de los procesos y la preservación del recurso humano y aeronáutico.

Entre las principales limitaciones se destaca que los resultados obtenidos deben ser analizados con cuidado, ya que al evaluar aspectos psicosociales, laborales y de salud, pueden haberse visto afectados en su percepción debido a la aparición de la pandemia en el año 2020 y al acuartelamiento de primer grado decretado para las fuerzas militares. Otras limitaciones incluyen la generalización de resultados, que debe hacerse con cautela a pesar de utilizar muestreo probabilístico. Adicionalmente, se debe propender a la creación y/o validación de cuestionarios en personal militar o en lo relacionado a los factores humanos técnicos en la aviación. Se aconseja que, para futuros

estudios, se contemplen variables como la calidad de vida relacionada con la salud y el trabajo, la satisfacción laboral, la sintomatología en salud mental y las habilidades cognitivas, entre otras.

## Conclusión

Se hace pertinente informar que los riesgos psicosociales intralaborales y extralaborales, el estrés, la autoconfianza y los patrones en toma de decisiones, en primer lugar, están íntimamente relacionados entre sí; segundo, existen niveles de riesgo altos y muy altos; tercero, hay una marcada probabilidad de tener actualmente o llegar a tener estos factores y riesgos dentro del grupo de estudio; y por último, se genera la hipótesis de que los Evesos técnicos pueden llegar a ser explicados parcial o completamente por todo lo demostrado en el presente estudio.

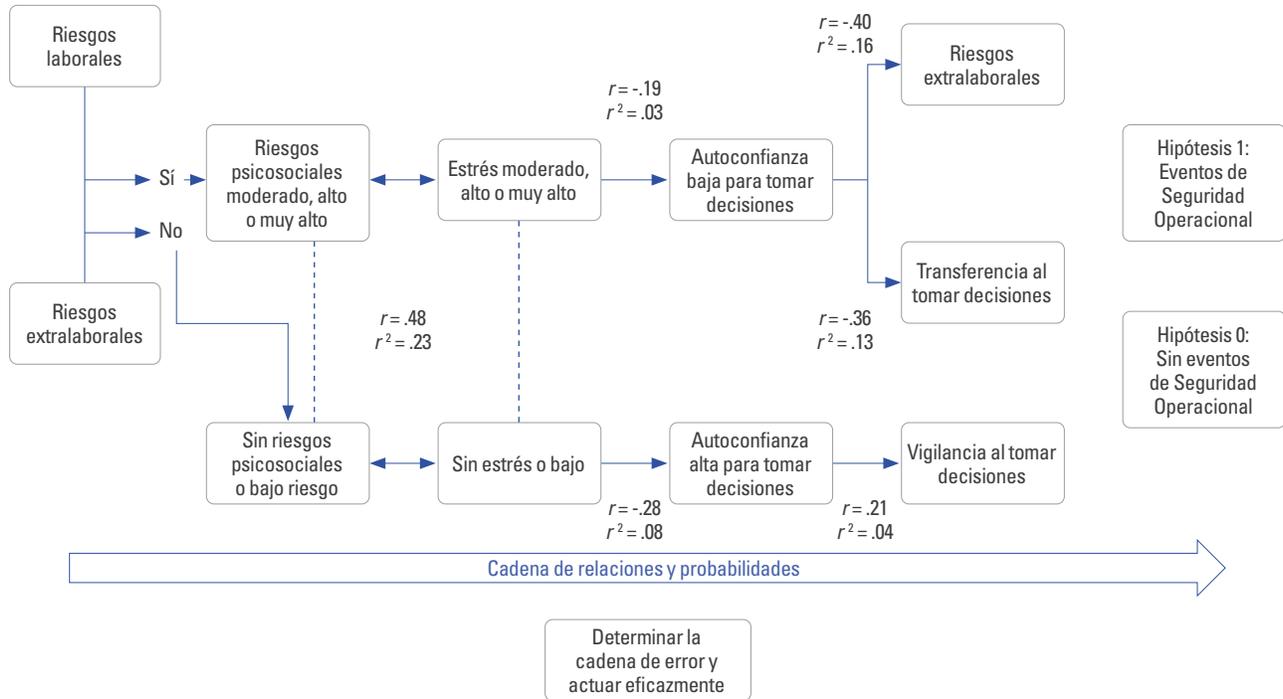


Figura 7. Modelo propuesto en seguridad operacional en aspectos técnicos

Nota. ( $r$ ) Correlación de Pearson. ( $r^2$ ) Coeficiente de Determinación. Todas las correlaciones y coeficientes fueron significativos al nivel  $p < .01$ .

Fuente: elaboración propia.

## Referencias

- Alonso, M. (2018). Estrés en aviación. *Aeroespacio*, 623, 59-63. [https://www.modestoalonso.com.ar/assets/2018\\_estres\\_en\\_aviacion\\_aeroespacio\\_623.pdf](https://www.modestoalonso.com.ar/assets/2018_estres_en_aviacion_aeroespacio_623.pdf)
- Álvarez, A. (2016). Influencia positiva del estrés en la toma de decisiones. *Poiésis*, (31), 19-28. <https://www.funlam.edu.co/revistas/index.php/poiesis/article/view/2073>
- Ampountolas, A., Shaw, G. y James, S. (2019). Active learning to improve self-confidence and decision-making skills through the use of hotel simulation. *Journal of Hospitality & Tourism Education*, 31(3), 125-138. <https://doi.org/10.1080/10963758.2018.1487786>
- Baştuğ, G., Duman, S., Akçakoyun, F. y Karadeniz, F. (2016). Football referees; stress, self-confidence, decision making & gt; Futbol hakemlerinde; stres, özgüven, karar verme. *Journal of Human Sciences*, 13(3), 5399-5406. <https://j-humansciences.com/ojs/index.php/IJHS/article/view/4213>
- Cequea, M. y Rodríguez-Monroy, C. (2012). Productividad y factores humanos. Un modelo con ecuaciones estructurales. *Interciencia*, 37(2), 121-127. <https://www.redalyc.org/pdf/339/33922717007.pdf>
- Cote, L. y García, A. M. (2016). Estrés como factor limitante en el proceso de toma de decisiones: una revisión desde las diferencias de género. *Avances en Psicología Latinoamericana*, 34(1), 19-28. <http://dx.doi.org/10.12804/apl34.1.2016.02>
- Furedy, M. (2019). Gender differences and their relation to hazardous attitudes in pilot training. *Collegiate Aviation Review International*, 37(1), 73-89. <http://dx.doi.org/10.22488/okstate.19.100205>
- Golden, L. y Wiens-Tuers, B. (2007). *Overtime work and family consequences*. [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=988203](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=988203)
- International Labour Office (ILO). (2012). *Global employment trends for youth 2012*. ILO Publications.
- Loaiza, O. y Posada, J. (2016). Psicología militar: Conceptualización e investigaciones contemporáneas. *Psiencia. Revista Latinoamericana de Ciencia Psicológica*, 8(2). <http://dx.doi.org/10.5872/psiencia.v8i2.198>
- Luceño-Moreno, L., Talavera-Velasco, B., Martín-García, J. y Martín, S. (2017). Factores de riesgo psicosocial como predictores del bienestar laboral: un análisis SEM. *Ansiedad y Estrés*, 23(2-3), 66-70. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6846148>
- Luna, A. C. y Laca, F. A. (2014). Patrones de toma de decisiones y autoconfianza en adolescentes bachilleres. *Revista de Psicología (PUCP)*, 32(1), 39-66. [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0254-92472014000100002](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0254-92472014000100002)
- Luna, A. C., Laca, F. y Cedillo, L. I. (2012). Toma de decisiones, estilos de comunicación en el conflicto y comunicación familiar en adolescentes bachilleres. *Enseñanza e Investigación en Psicología*, 17(2), 295-311. <https://www.redalyc.org/pdf/292/29224159014.pdf>
- Macías, M. (2020). El modelo decente de seguridad y salud laboral. Estrés y tecnoestrés derivados de los riesgos psicosociales como nueva forma de siniestralidad laboral. *Relaciones Laborales y Derecho del Empleo*, 7(4). [http://ejcls.adapt.it/index.php/rldc\\_adapt/article/view/813/1031](http://ejcls.adapt.it/index.php/rldc_adapt/article/view/813/1031)
- Marinzalda, M., Perondi, C., Sotelo, M. y Cachi, A. (2020). Riesgo cardiovascular y prevalencia de factores de riesgo en pilotos militares y alumnos pilotos del Curso Básico Conjunto de Aviator Militar de la Escuela de Aviación Militar. *Defensa Nacional*, 4, 331-354. <http://www.cefadigital.edu.ar/handle/1847939/1513>
- Medialdea, J. y Velasco, C. (2016). Incidencia de los trastornos mentales en los profesionales de la aeronáutica civil y militar (1983-2014): un estudio descriptivo y consideraciones preventivas sobre la seguridad aérea. *Medicina y Seguridad del Trabajo*, 62(242), 15-24. <http://scielo.isciii.es/pdf/mesetra/v62n242/original2.pdf>
- Mejía, J. C. y Laca, F. A. (2006). Estilos de comunicación en el conflicto y confianza en las propias decisiones. *Enseñanza e Investigación en Psicología*, 11(2), 347-358. <https://www.redalyc.org/pdf/292/29211210.pdf>
- Ministerio de la Protección Social (2008, 17 de julio). *Resolución 2646 de 2008. Por la cual se establecen disposiciones y se definen responsabilidades para la identificación, evaluación, prevención, intervención y monitoreo permanente de la exposición a factores de riesgo psicosocial en el trabajo y para la determinación del origen de las patologías causadas por el estrés ocupacional*.
- Ministerio de Protección Social. (2010). *Batería de instrumentos para la evaluación de factores de riesgo psicosocial*. Universidad Javeriana, Subcentro de Seguridad Social y Riesgos Profesionales.
- Ministerio del Trabajo (2019, 22 de julio). *Resolución 2404 de 2019. Por la cual se adopta la Batería de Instrumentos para la Evaluación de Factores de Riesgo Psicosocial, la Guía Técnica General para la Promoción, Prevención e*

*Intervención de los Factores Psicosociales y sus Efectos en la Población Trabajadora y sus Protocolos Específicos y se dictan otras disposiciones.*

- Misra, S. y Halleran, M. (2019). The effect of electronic flight bags in flight training on preflight skill development and aeronautical decision making. *Collegiate Aviation Review International*, 37(2), 16-37. <http://ojs.library.okstate.edu/osu/index.php/CARI/article/view/7780/7296>
- Monteiro, J. dos S., De Souza, A.A., Sales, W. y Tomaz, R. (2020). Evaluación de la calidad de vida, síntomas musculoesqueléticos y fatiga en policías militares. *Archivos de Investigación de Salud*, 9(1). <https://doi.org/10.21270/archi.v9i1.4967>
- Moreno, B. y Báez, C. (2010). *Factores y riesgos psicosociales, formas, consecuencias, medidas y buenas prácticas*. Universidad Autónoma de Madrid.
- Moreno, I., Cuevas, M. y González, J. (2016). Validación y adaptación del cuestionario de calidad de vida en el trabajo (QWLQ) y del cuestionario genérico de estrés en el trabajo (GJSQ). *Revista Interamericana de Psicología Ocupacional*, 28(1), 56-80. <http://209.97.135.77/index.php/RPO/article/view/87>
- Moreno, R., Menéndez, J. y Turró, C. (2001). Factores psicosociales y estrés en el medio militar. *Revista Cubana de Medicina Militar*, 30(3), 183-189. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0138-65572001000300008](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0138-65572001000300008)
- Muñoz-Marrón, D. (2018). Factores humanos en aviación: CRM (Crew Resource Management-gestión de recursos de la tripulación). *Papeles del Psicólogo*, 39(3), 191-199. <https://www.redalyc.org/jatsRepo/778/77857281007/77857281007.pdf>
- Organización de Aviación Civil Internacional. (2003). Directrices sobre factores humanos (Doc. 9824). *University Street*, 65-131. [https://www.srvsop.aero/site/wp-content/uploads/2019/02/9824\\_cons\\_es.pdf](https://www.srvsop.aero/site/wp-content/uploads/2019/02/9824_cons_es.pdf)
- Osorio, J. E. y Cárdenas, L. (2017). Estrés laboral: estudio de revisión. *Diversitas: Perspectivas en Psicología*, 13(1), 91-100. <https://doi.org/10.15332/s1794-9998.2017.0001.06>
- Pacheco, M. y Romero, H. (2019). Perfil lipídico como factor de riesgo cardiovascular en militares activos. Hospital General II-de Libertad 2019. *Recimundo*, 3(3 esp.), 438-459. [https://doi.org/10.26820/recimundo/3.\(3.Esp\).noviembre.2019.438-459](https://doi.org/10.26820/recimundo/3.(3.Esp).noviembre.2019.438-459)
- Patlán, J. (2016). Derechos laborales: una mirada al derecho a la calidad de vida en el trabajo. *Ciencia Ergo-Sum, Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva*, 23(2), 121-133. <https://www.redalyc.org/pdf/104/10446094004.pdf>
- Reason, J. (2000). Human error: Models and management. *British Medical Journal*, 320, 768-770. <https://doi.org/10.1136/bmj.320.7237.768>
- Soares, M., Da Silva, D. y Silva, R. (2019). Quejas musculoesqueléticas de la policía ostensiva en el ejército: una revisión de la literatura. *Revista Eletrônica Acervo Científico*, 5, e1160. <https://doi.org/10.25248/reac.e1160.2019>
- Tacca, D. R. y Tacca, A. L. (2019). Factores de riesgos psicosociales y estrés percibido en docentes universitarios. *Propósitos y Representaciones*, 7(3), 323-353. <http://repositorio.utp.edu.pe/handle/UTP/2508>
- Talavera-Velasco, B., Luceño-Moreno, L., Martín-García, J. y Díaz-Ramiro, E. M. (2017). Asociación entre la percepción de condiciones laborales adversas y depresión: una revisión sistemática. *Ansiedad y Estrés*, 23(1), 45-51. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6844316>
- Toro, F., Londoño, M. E., Sanín, A. y Valencia, M. (2016). Modelo analítico de factores psicosociales en contextos laborales. *Revista Interamericana de Psicología Ocupacional*, 29(2), 95-137. <http://209.97.135.77/index.php/RPO/article/view/106>
- Tourón, D., Pereira, J. y Lagreca, M. (2019). *Avaliação de riscos em atividades de manutenção aeronáutica através de brain games* (Ponencia). Congresso ABRISCO 2019, Río de Janeiro, Brasil.
- Zhou, J., Arshad, S., Luo, S. y Chen, F. (2017). Effects of uncertainty and cognitive load on user trust in predictive decision making. *Human-Computer Interaction - Interact 2017. Lecture Notes in Computer Science*, 10516 (R. Bernhaupt, G. Dalvi, A. Joshi, D. Balkrishan, J. O'Neill y M. Winckler (eds). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-68059-0\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-68059-0_2)

# Aproximación teórica a la definición del concepto de sitio atractivo de avifauna fuera del aeropuerto

| Fecha de recibido: 30 de junio del 2021 | Fecha de aprobación: 05 de octubre del 2021 |

**Holman Enrique  
Durán-Márquez**

Biólogo

Universidad del Atlántico  
Investigador Independiente  
Colombia

Rol del investigador: teórico y escritura  
<https://orcid.org/0000-0002-7681-7821>

✉ [hduran.bio.ua@gmail.com](mailto:hduran.bio.ua@gmail.com)

**Cómo citar este artículo:** Durán-Márquez, H. E. (2022). Aproximación teórica a la definición del concepto de sitio atractivo de avifauna fuera del aeropuerto. *Ciencia y Poder Aéreo*, 17(1), 55-66. <https://doi.org/10.18667/cienciaypoderaereo.743>



## Aproximación teórica a la definición del concepto de sitio atractivo de avifauna fuera del aeropuerto

## Theoretical approach to defining the concept of an attractant birdlife site off-airport

## Aproximação teórica à definição do conceito de local atrativo de avifauna fora do aeroporto

**Resumen:** La mayor parte de los impactos entre aeronaves y fauna ocurre dentro de los aeropuertos; sin embargo, casi la mitad de los impactos con daño se presenta fuera de estos. Por ello, los programas de peligro aviario deben considerar seriamente las zonas externas a los aeropuertos para lograr una gestión completa del riesgo de impacto. Pero estos programas presentan varias limitaciones para su implementación en el exterior, entre estas la falta de una definición precisa de la noción de hábitat atrayente de fauna fuera del aeropuerto, lo que reduce el concepto a un nivel intuitivo que obstaculiza la optimización del sistema de análisis del riesgo. Esto último impide identificar claramente las zonas que se han de evaluar y, posteriormente, manejar con la modificación de hábitats. Para abordar este problema, se propone el concepto de sitio atractivo de avifauna (SAA), definido como el lugar en el área de influencia aeroportuaria que presente, confirmada y regularmente, una bandada de al menos cincuenta aves voladoras y riesgosas. Dicha propuesta puede significar un importante adelanto para la seguridad aérea desde una gestión eficiente del riesgo de impacto por fauna fuera del aeropuerto.

**Palabras clave:** área de influencia aeroportuaria; hábitat atrayente de fauna; peligro aviario; sistema de análisis del riesgo.

**Abstract:** Most impacts between aircraft and wildlife occur within airports. However, nearly half of the impacts with damage occur outside of airports. Therefore, avian hazard programs must seriously consider off-airport areas in order to achieve complete impact risk management. But these programs have several limitations for their off-airport implementation, including the lack of a precise definition of the notion of off-airport wildlife attractant habitat, which reduces the concept to an intuitive level that hinders the optimization of the risk analysis system. The latter prevents the clear identification of areas to be assessed and subsequently managed with habitat modification. To address this problem, the concept of attractive avifauna site (AAS) (for its acronym in Spanish) is proposed, defined as the place in the airport area of influence that presents, confirmed and regularly, a flock of at least fifty flying and risky birds. Such a proposal could mean an important advance for aviation safety from an efficient management of the risk of wildlife impact outside the airport.

**Keywords:** Airport area of influence; wildlife attractant habitat; avian hazard; risk analysis system.

**Resumo:** A maioria dos choques entre aeronaves e animais selvagens ocorre dentro de aeroportos. No entanto, quase metade dos impactos danosos ocorrem fora destes. Por esta razão, os programas de risco de aves devem considerar seriamente as áreas fora do aeroporto para alcançar o gerenciamento total do risco de impacto. Mas esses programas têm várias limitações para sua implementação no exterior, entre elas a falta de uma definição precisa da noção de habitat atrativo para a fauna fora do aeroporto, o que reduz o conceito a um nível intuitivo que dificulta a otimização do sistema de análise de risco. O anterior impossibilita a identificação clara das áreas a serem avaliadas e posteriormente a modificação de habitat. Para resolver este problema, propõe-se o conceito de sítio atrativo de avifauna (SAA), definido como o local na área de influência do aeroporto que apresenta, confirmado e regularmente, um bando de pelo menos cinquenta aves voadoras e arriscadas. A referida proposta pode significar um avanço importante para a segurança da aviação a partir de uma gestão eficiente do risco de impacto pela fauna fora do aeroporto.

**Palavras-chave:** Área de captação do aeroporto; habitat de fauna atraente; perigo de aves; sistema de análise de risco.

## Introducción

La aerosfera es utilizada por las aves como un espacio natural para sus desplazamientos, pero también es utilizada por la aviación, lo cual crea fragmentaciones temporales del hábitat aéreo que afectan el libre movimiento de las aves y que eventualmente puede terminar en impactos (Van Gasteren *et al.*, 2018; Zuluaga *et al.*, 2021; Zhao *et al.*, 2019). Los impactos entre fauna y aeronaves son un problema creciente para la industria de la aviación y representan una grave amenaza para la seguridad aérea (El-Sayed, 2019; Hasılıcı & Boğoçlu, 2020; Godínez, 2018; Metz *et al.*, 2020); a esto se le conoce como peligro aviario o, más recientemente, como peligro por fauna, y se define como la situación potencial de daño a las aeronaves por la presencia de fauna (International Civil Aviation Organization [ICAO], 2020).

A partir de esto, surgen documentos que formulan los procedimientos, las funciones y las responsabilidades para tratar el problema, nombrados de distintas formas en cada país, pero denominado aquí como: Programa de Gestión del Peligro que Representa la Fauna Silvestre o Wildlife Hazard Management Plan (WHMP por sus siglas en inglés; ICAO, 2020). El WHMP es un programa que funciona en efecto como un plan de manejo de fauna, por cuanto interviene las poblaciones animales, los hábitats y los usuarios para satisfacer las necesidades humanas, de seguridad en este caso; pero no es una forma popular de manejo para el aumento o la estabilización de las poblaciones como la recuperación, la conservación o la preservación, etc., sino que es un plan de manejo de fauna de decremento poblacional, conocido también como de control, ya que se orienta a reducir las poblaciones animales que causan los problemas de seguridad hasta alcanzar estados operativos seguros, pero sin llegar a su exterminio, sino que simultáneamente permite la continuidad de las especies en cuestión (Ojasti y Dallmeier, 2000; Hernández-Silva *et al.*, 2018).

El WHMP es un programa subordinado del Sistema de Gestión de la Seguridad Operacional (SGSO) del aeropuerto, conocido también como SMS (Safety Management System); y estos a su vez son operados por

un Sistema de Análisis del Riesgo (SAR), también conocido simplemente como “gestión de riesgos”, que consta de cuatro etapas principales ilustradas en la figura 1: identificación de peligros, evaluación del riesgo, manejo del riesgo y comunicación del riesgo (World Organization for Animal Health [OIE], 2019; Arthur, 2008). Esta reflexión intenta abordar la primera etapa del sistema de análisis del riesgo.

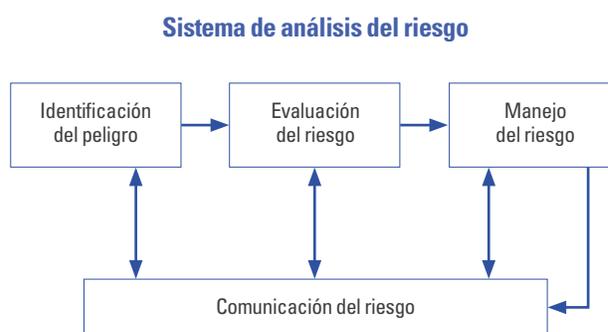


Figura 1. Etapas del sistema de análisis del riesgo

Nota. Las flechas unidireccionales indican el orden de las etapas y las flechas bidireccionales indican retroalimentación.

Fuente: OIE (2019).

En este punto del trabajo, es necesario precisar el significado de *peligro* y el de *riesgo* para prevenir que se usen indistintamente; entonces, entiéndase el peligro como la situación potencial de impacto que representa la fauna para las aeronaves, y el riesgo, como el producto entre la probabilidad de que ocurra un accidente y el daño causado a las aeronaves (DeVault *et al.*, 2018; ICAO, 2020).

Una de las justificaciones fundamentales de este trabajo se origina en el análisis de la estadística mundial de impactos con fauna, que revela patrones regulares. En este sentido, el 70 % de los incidentes entre aeronaves y fauna ocurre en el estrato vertical de 0 a 500 ft AGL (Dolbeer, 2011; Dolbeer *et al.*, 2021); esto se define como impactos dentro del aeropuerto. Consecuentemente, es allí donde los WHMP concentran sus esfuerzos y toman las principales medidas (Dolbeer, 2011); no obstante, este principio es cuestionable porque los impactos que ocurren fuera del aeropuerto (>500 ft AGL) son más graves y alcanzan hasta el 45 %

de todos los impactos con daño (Dolbeer, 2011; Dolbeer *et al.*, 2021); de hecho, el daño a las aeronaves es casi inevitable cuando se golpean aves en altitudes superiores a 500 ft AGL (DeVault *et al.*, 2016). Por lo tanto, una gestión completa del riesgo debe contemplar no solo el interior aeroportuario, sino también el contexto externo de forma rigurosa y permanente (Pfeiffer *et al.*, 2018; DeVault *et al.*, 2016).

Merece la pena señalar que esta distribución de los impactos con daño es un fenómeno que no obedece al buen desempeño del WHMP dentro del aeropuerto, sino que se explica naturalmente porque a medida que una aeronave se aleja verticalmente del aeropuerto, el aire se hace menos denso a su alrededor por la disminución en la presión atmosférica, esto ofrece menos resistencia al avance de la aeronave y causa un aumento en su velocidad real, lo cual se traduce en impactos con mayor energía cinética (Maragakis, 2009; Wang y Herricks, 2012).

Ahora bien, implementar el WHMP fuera del aeropuerto tiene sus propias dificultades, que serán planteadas aquí como limitaciones operativas y administrativas. Las primeras corresponden a la inoperancia de los mecanismos de control de fauna fuera del perímetro aeroportuario, debido a su acción restringida a bajas alturas y a las restricciones legales o sociales para su uso (DeVault *et al.*, 2016; Martin *et al.*, 2011); también, a los retos para identificar los hábitats atrayentes de fauna en un área aeroportuaria tan extensa, lo cual ya no es tan empírico como dentro del aeropuerto y se agudiza si este está rodeado por una compleja matriz urbana (Jeffery y Buschke, 2019). Por otro lado, el área de influencia aeroportuaria no está físicamente restringida, sino que actúa como un elemento más del paisaje, ya que funciona ecológica y geoespacialmente como un sistema abierto que realiza múltiples intercambios con el medioambiente exterior desde el cual se pueden originar las incursiones o sobrevuelos de las aves que podrían involucrarse en impactos (Martin *et al.*, 2011; Blackwell *et al.*, 2009), circunstancias que se escapan de la acción del WHMP.

Las limitaciones administrativas, por su parte, implican todo tipo de obstáculos legales, ambientales, sociales, financieros y logísticos para manejar las

poblaciones animales fuera del aeropuerto (Pfeiffer *et al.*, 2018); como el hecho de que las Autoridades de Aviación Civil (CAA, por su siglas en inglés) tienen una gobernabilidad limitada fuera de sus predios, lo que restringe sus acciones más allá del aeropuerto y obstaculiza el cumplimiento de las restricciones en el área de influencia aeroportuaria tanto para las CAA, como para las autoridades administrativas territoriales y ambientales (Martínez, 2019). A esto se suma que recomendaciones generalizadas como la zonificación del riesgo en patrones radiales o geométricos originados en el centro de la pista y la modificación de hábitats atrayentes en los conos de aproximación, aunque han demostrado gran utilidad para el progreso de la seguridad aérea, evidencian importantes oportunidades de mejora cuando resultan insuficientes porque no se ajustan al patrón del tráfico aéreo, la geografía o las particularidades ecológicas de la fauna de cada aeropuerto (Steele y Weston, 2021; Hu *et al.*, 2020; Martin *et al.*, 2011), y porque a menudo asumen la falsa premisa de que algunos usos del suelo son *per se* atractivos de aves, desconociendo que los usos del suelo no necesariamente son predictores de la tasa de impactos (Martin *et al.*, 2011; Pfeiffer *et al.*, 2020; Jeffery y Buschke, 2019). Esto finalmente puede resultar en prohibiciones poco realistas que no eliminan la incertidumbre de haber alcanzado los niveles aceptables de riesgo (Allan, 2000).

Estas limitaciones operativas y administrativas evidencian que no es factible manipular a las aves mientras vuelan libres y mucho menos convertir todas las áreas externas del aeropuerto en zonas libres de aves (utopía poco ortodoxa del control de fauna). Dicho en términos de la teoría de la conectividad funcional: no es posible intervenir los desplazamientos de la fauna entre los hábitats (enlaces), sino los propios hábitats (nodos; Martín-Vélez *et al.*, 2020). De tal manera, un control de fauna realizable y legítimo exige la existencia de un elemento espacial tangible para intervenir, es decir, los hábitats atrayentes de fauna, lo cual conduce a comprender que la estrategia más viable y efectiva, pero no la única, para el control de la fauna fuera del aeropuerto parece ser la modificación de hábitats, esto es: la disminución de la capacidad de carga

ambiental mediante la negación de recursos a la fauna (Sadava *et al.*, 2009), ya que esta constituye una de las tres columnas (poblaciones, hábitats, usuarios) para el éxito del manejo de fauna (Ojasti y Dallmeier, 2000).

En este mismo sentido, la problemática expuesta también revela la necesidad de desarrollar etapas claras que faciliten el SAR fuera de los límites aeroportuarios (Pfeiffer *et al.*, 2020), puntualmente el primer paso del SAR: la identificación del peligro, lo que en este artículo corresponde a definir la zona que se ha de evaluar y significa identificar correctamente los hábitats atrayentes de fauna. Desatender esta necesidad para pretender intervenir simultáneamente todos los potenciales hábitats atrayentes de fauna resulta ineficiente y puede, por el contrario, derivar en políticas de precaución (basada en sospechas) antes que de prevención (basada en información), inducir a evaluaciones informales y subjetivas del riesgo, y finalmente, desgastar el SAR y llevar todo el sector a la zaga de otras áreas de la seguridad aeroportuaria que cuentan con métodos más desarrollados (Allan, 2000).

Por otra parte, algunas de las metodologías formales más relevantes sobre el riesgo por fauna fuera del aeropuerto (Metz *et al.*, 2021a, 2021b; Shao *et al.*, 2020a, 2020b; Coccon *et al.*, 2015; Gerring *et al.*, 2016) no han definido objetivamente su unidad de estudio como elemento espacial de riesgo en función de las aves, es decir, los hábitats atrayentes de fauna, sino que lo han minimizado a conceptos ecogeográficos ajenos como cuadrículas de referencia, áreas geométricas, usos del suelo, coberturas vegetales o hábitats puntuales. Esto último, sumado a sus matemáticas, tecnologías y logísticas robustas, puede contribuir a que estas propuestas gocen de poca aceptación universal porque les confiere un carácter científico muy duro que hace que el proceso sea inevitablemente complicado y merme su practicidad para la implementación regular en los aeropuertos. En el extremo opuesto, se encuentra la propuesta de DiPilla (2021), que utiliza información más accesible como datos históricos de impactos y datos de ciencia ciudadana de eBird, pero tampoco define su unidad de estudio, lo que pudo favorecer a que sus datos no se correlacionaran y arrojaran resultados inconclusos.

Sin embargo, existen algunas definiciones suplementarias (contenidas en documentos generalistas) que serán presentadas aquí a modo de posiciones alternativas, como por ejemplo:

*Wildlife attractants. Any human-made structure, land-use practice, or human-made or natural geographic feature that can attract or sustain hazardous wildlife within the landing or departure airspace or the airport's aircraft operations area. These attractants can include architectural features, landscaping, waste disposal sites, wastewater treatment facilities, agricultural or aquaculture activities, surface mining, or wetlands.* (Federal Aviation Administration [FAA], 2020, p. A-3)

Focos de atracción de fauna silvestre. Cualquier estructura hecha por el hombre, práctica de uso del suelo o cualquier característica geográfica, ya sea natural o artificial, que pueda atraer o dar sustento a fauna silvestre que represente un riesgo para la aviación dentro de la zona aeronáutica, área de movimiento y plataforma. Estos atractivos pueden incluir determinadas condiciones arquitectónicas y de paisaje, sitios de depósito de desechos, plantas de tratamiento de aguas residuales, actividades agrícolas o acuícolas, minas o humedales. (Corpac S.A., 2008, p. 13)

Factores de atracción. Elementos que al proveer de recursos que cubren sus necesidades, atraen la presencia de fauna (basureros, áreas verdes, áreas de almacenaje, acuíferos). (Matamoros y Torres, 2014, p. 99)

Estas definiciones han sido herramientas útiles para el WHMP, pero todavía son muy intuitivas porque resultan de las nociones más populares y extendidas, lo cual deja varios asuntos a la libre interpretación, ya que no disocian adecuadamente las causas abióticas de los efectos bióticos. Es por ello que las causas atrayentes de fauna no se distinguen de la fauna como elemento primario del concepto, a tal punto que la fauna se presenta de forma contingente, es decir, presente real o potencialmente, lo cual otorga a estas definiciones una versatilidad incompatible con la objetividad deseada.

También, existen definiciones tácitas como, por ejemplo, la de Caro-Caro *et al.* (2014) que, pese a su sólida metodología geográfica, también refuerza implícitamente el concepto ubicuo e indiscriminado de hábitat potencial que termina declarando como atrayente de fauna prácticamente a toda el área de influencia.

Por lo tanto, el problema fundamental es la delimitación insuficiente del concepto de *hábitat atrayente de fauna*, lo cual conduce a un estado polisémico de ambigüedades y males semánticos que reducen el concepto a un nivel meramente implícito e intuitivo; y que, a pesar de ser un problema de percepción, no debe minimizarse ni desatenderse porque eso dificulta el desempeño del SAR y, en consecuencia, del WHMP y el SGO desde su génesis. Entonces, este problema se debe abordar contestando con precisión a la pregunta ¿qué es un hábitat atrayente de fauna fuera del aeropuerto? Por eso, el objetivo del presente artículo es formular una definición teórica del concepto de hábitat atrayente de fauna fuera del aeropuerto, que sea práctica, completa y la más exacta posible dentro de los límites impuestos por la naturaleza subjetiva de un artículo de reflexión.

## Propuesta del concepto de sitio atractivo de avifauna

### Procedimiento para construir el concepto

Para intentar alcanzar el objetivo planteado, este trabajo acude principalmente a una fuente confiable de información, esto es, la literatura científica y técnica del sector aeronáutico, la seguridad operacional, y la biología y ecología de las aves, mediante el uso del buscador especializado Google Scholar para elegir las publicaciones más relevantes o recientes de su campo; también, acude a la experiencia de campo adquirida por el autor como actor del peligro aviario en diferentes escenarios aeroportuarios de Colombia. Este contexto de saberes permite elaborar una interpretación personal de la noción de hábitat atrayente de fauna,

pero que no se desvaloriza por esta subjetividad, sino que admite que la reflexión implica el razonamiento y esto es necesariamente un fenómeno individual; por eso, la tesis propuesta resulta racional y legítima porque se encuentra respaldada por el acervo de conocimientos en los que apoya su argumentación (Centro de Escritura Javeriano, 2018; Coy, 2016).

### El concepto de sitio atractivo de avifauna

Se propone el concepto denominado: sitio atractivo de avifauna (SAA), definido como *el lugar en el área de influencia aeroportuaria que presente, confirmada y regularmente, una bandada de al menos cincuenta aves voladoras y riesgosas.*

Ahora, para aclarar la terminología usada, se propone que los hábitats atrayentes de fauna sean concebidos en una escala general incluyente como *cualquier sitio real o potencialmente atractivo de fauna en el área de influencia aeroportuaria*, término equivalente a *sitio potencial*, que son usados indistintamente en el texto. En cambio, los SAA son presentados en una escala puntual excluyente como los hábitats atrayentes de fauna que cumplen con las ocho condiciones propuestas.

### Argumentos del concepto

Esta definición contiene ocho argumentos que también son condicionales para que un lugar sea denominado SAA. Como nota aclaratoria, a partir de aquí siempre que se hable de las aves, se refiere a ellas en los términos que pertenecen a esta definición. Estos son los argumentos:

**El lugar.** Es cualquier espacio natural o artificial de dimensiones heterogéneas (debido a la diversidad de escenarios), pero limitado hasta donde se proyecte la presencia de las aves asociadas directa e inmediatamente a dicho lugar, lo cual equivale a las dimensiones suficientes para que un observador en un punto fijo alcance visualmente todo el lugar. Esto sugiere, por un lado, sectorizar o establecer límites razonables para las superficies muy grandes o visualmente obstructivas como ríos, lagos, bosques, playas, complejos urbanos, etc.; por otro lado, sugiere desconocer cualquier

límite físico, predial o administrativo para extenderse o restringirse independientemente de esos límites desconocidos para las aves.

Aquí no se recurre a la estandarización de las dimensiones como lo establece, por ejemplo, el concepto de densidad poblacional, que se define como el número de individuos por unidad de área (Smith y Smith, 2007), a fin de no añadir desafíos y restricciones adicionales o incurrir en los mismos artificios señalados antes en los conceptos alternativos, pese a que esto puede implicar dificultades para la comparación o extrapolación entre sitios.

**El Área de Influencia Aeroportuaria.** Es toda el área fuera del aeropuerto establecida como tal, que puede tener un límite bien sea de 8, 13, 20 o 25 km de radio desde el ARP (centro geográfico del aeródromo), o un arreglo simétrico más coherente con el contexto del aeropuerto (DeVault *et al.*, 2018; ICAO, 2020; Novoselova *et al.*, 2020; Shao *et al.*, 2020b). Incluso puede ser fuera de esta área si un estudio de fauna ofrece medios de convicción suficientes sobre un riesgo inminente, si la aplicación del principio de precaución es razonable o para ofrecer un margen de error por imprecisión en la estimación de distancias.

Entiéndase aquí el aeropuerto en su forma más amplia, como cualquier superficie de límites definidos dispuesta para la llegada y salida de aeronaves.

**Presencia confirmada.** Corresponde a la presencia real de las aves en el sitio, y de ningún modo a la presencia presunta o sospechada. Así, se privilegia la presencia efectiva de las aves sobre cualquier condición potencialmente atractiva hasta que cumpla con el requisito necesario de tener aves.

Este aspecto fundamental del concepto se inspira en la idea de *hábitat real* de Delfín-Alfonso *et al.* (2011) y en su reflexión de que el hábitat no se puede definir espacialmente en ausencia de un componente biótico.

**Presencia regular.** Corresponde a la presencia de las aves en al menos dos muestreos por periodo de evaluación, a fin de evitar sitios con presencia efímera de aves causada por la disponibilidad esporádica de recursos o por desplazamientos aleatorios (forrajeo errante, nomadismo, extravíos, etc.). Implica

necesariamente realizar dos o más muestreos por cada sitio y periodo de evaluación; eso puede ser un reto logístico adicional, pero garantiza el cumplimiento de esta condición e incluso facilita la información de frecuencia de uso para una eventual variable de evaluación del riesgo de los SAA.

Esta condición se basa parcialmente en la afirmación de Sowden *et al.* (2007), según la cual un sitio que es usado a diario por la fauna crea un riesgo mayor que uno que se usa con poca frecuencia.

**Las aves voladoras.** Esta condición no es obvia, sino que obedece al hecho de que las aves representan hasta el 96% de todos los impactos con fauna, pero fuera del aeropuerto su participación es virtualmente del 100%, puesto que los mamíferos voladores y la fauna terrestre (incluidas las aves no voladoras o de movilidad limitada) tienen una pobre o incluso nula participación en la estadística de impactos (Dolbeer *et al.*, 2021; Government of Canada, 2019; Australian Transport Safety Bureau [ATSB], 2019). Por eso, fuera del aeropuerto se debe considerar solo a las aves voladoras como elemento faunístico de riesgo y desestimar a la otra fauna.

Este supuesto será cierto solo si un adecuado perímetro físico y la exclusión del personal aeroportuario puede evitar el ingreso de la fauna terrestre en el aeropuerto.

**Las aves riesgosas.** Esta condición corresponde a las especies de aves cuyo riesgo especie-específico ha sido previamente evaluado en el aeropuerto; equivale a las especies que en algún momento han sido detectadas por los monitoreos intraaeroportuarios y, por consiguiente, excluye a las especies que no han sido evaluadas (observadas) antes en el aeropuerto, ya que por definición su riesgo es nulo, siendo esta la única excepción válida para la existencia del riesgo nulo o cero (Arthur, 2008).

Esta condición parte de la premisa de que la mayor parte de los impactos ocurre dentro del aeropuerto; por tanto, los sitios externos deben seleccionarse en función de las aves que son detectadas adentro. Por otra parte, aquí se incluyen todos los niveles de riesgo especie-específico y no solo, como es instintivo, a las especies de mayor riesgo, porque de esa

forma se sesgará la condición al ignorar el riesgo de impacto que también representan los demás gremios de riesgo (Fernández-Juricic *et al.*, 2018; Blackwell *et al.*, 2019).

**La bandada.** Entiéndase aquí una bandada como un grupo temporal o permanente formado por una o más especies que coexisten simultáneamente y que actúan de modo uniforme o disperso cuando realizan sus actividades colectivas (volar, alimentarse o perchar), y de ninguna manera como la acumulación de las abundancias absolutas dilatadas en el tiempo del muestreo o como la presencia simultánea de cincuenta o más individuos que no hacen parte del mismo grupo dinámico (bandada).

Esta condición obedece a que el comportamiento de bandada es uno de los factores más importantes para pronosticar el número de aves que pueden chocar; por ende, las bandadas pueden estar involucradas hasta en el 58 % de los impactos con aves (Maragakis, 2009; Civil Aviation Authority [CAA], 2002).

**Cincuenta (50) individuos o más.** Esto es la abundancia absoluta o la suma de las abundancias absolutas de las aves en la bandada (considerando que la abundancia es una propiedad inherente de las especies), es decir, cincuenta como número cardinal y no como unidad porcentual (abundancia relativa). Esta condición tan explícita se propone siguiendo algunos estudios que establecen a las bandadas de cincuenta o más individuos como las más peligrosas para las aeronaves (Marateo *et al.*, 2011; Hu *et al.*, 2020; Ning y Chen, 2014). Esta es la columna angular del concepto y es introducida para tener un referente condicional mínimo que permita filtrar objetivamente los sitios potenciales en función del número efectivo de individuos.

Esta condición favorece la implementación del concepto, debido a que las bandadas grandes ( $\geq 50$  individuos) son más fáciles de detectar y rastrear para el observador de campo que los grupos más pequeños, las parejas o los individuos solitarios; además, desestima a los grupos pequeños ( $< 50$  individuos) porque asume que, aunque estos puedan congregarse para formar bandadas grandes, eso es un supuesto menos realista que las bandadas grandes que han sido confirmadas por la evidencia observacional.

## Consideraciones

Una reflexión es inherentemente propositiva, por eso el concepto de SAA no acude a las metodologías disponibles para la regulación de la subjetividad como, por ejemplo: una Matriz de Jerarquías Analíticas (AHP) o un método DELPHI, entre otras, por cuanto no son indispensables para reflexionar. Además, no se espera un aporte sustancial de estas debido a la falta de suficientes estados opcionales para la tesis que permitiera consultar a biólogos expertos en el control de fauna aeroportuario para ponderar sus juicios y mejorar la consistencia de esta propuesta.

La definición presentada de SAA deja constancia de que no es extensa sino más bien concreta, precisamente para evitar que palabras redundantes o innecesarias desvíen la atención de las ideas centrales del concepto; enseguida, cada una de esas ideas argumentativas se amplían para aportar mayor claridad. Además, se precisa que la definición de SAA no desea conciliar o arreglar los tres conceptos alternativos presentados anteriormente, ni es heredera de estos; por el contrario, aborda el asunto desde otros criterios operativos para delimitar mejor el concepto. También es de notar, dadas las diferencias conceptuales de riesgo y peligro, que la noción de SAA sugiere que esta es apenas peligrosa, en primera instancia, pues su nivel de riesgo todavía no ha sido evaluado.

La denominación de este concepto implica que los sitios son una amenaza por su relación con las aves y no por sí mismos, por eso separa a las aves, como elemento de riesgo, de los factores que las atraen, enfocándose en las primeras. Así, se evitan deducciones equivocadas que dispersen los esfuerzos en sitios irrelevantes para el riesgo, como aquellos que puedan presentar fuertes condiciones atractivas para la avifauna pero que no presenten aves (por ejemplo: sitios con olores ofensivos, con otro tipo de fauna, con acumulación de residuos no orgánicos, etc.), o sitios con condiciones atractivas efímeras y aleatorias (por ejemplo: animales muertos y sus restos, etapas fenológicas en la agricultura, placentas posparto del sector pecuario, mala disposición de residuos mixtos, etc.), o sitios con

especies de riesgo nulo (como aquellas que nunca se han registrado en el aeropuerto), o sitios con pocos individuos, entre otros.

Lo anterior implica que es intrascendente la naturaleza de los SAA o el uso que las aves puedan hacer de estos, de modo que no es muy importante si es un frigorífico, un basurero, un potrero, un edificio de apartamentos, etc., o si las aves usan el lugar para alimentarse, aparearse, perchar durante el día o pernoctar en la noche, etc.; todo aquello es irrelevante en la relación aves-aeronaves como los dos actores necesarios y suficientes para que ocurra un impacto, lo cual es perfectamente armónico con la definición de peligro aviario. Dicho de manera terminante: solo importan las aves.

Por otra parte, el objetivo de este concepto no es evaluar el riesgo de los SAA, ni mucho menos evaluar el riesgo de las aves; por eso, solo incluye el número mínimo de individuos en la bandada, por las razones expuestas, y no incluye más variables inherentes a las aves tales como masa, área superficial, historial de impacto, maniobrabilidad o susceptibilidad al hostigamiento, etc., para lo cual ya existen en la literatura muchos índices de riesgo especie-específicos. Así que, aunque aquellas son variables importantes que posteriormente pueden evolucionar del nivel de riesgo de las especies a una variable para evaluar el riesgo de los SAA, por lo pronto, tal como lo plantea la sexta condición, el riesgo especie-específico de las aves es un requisito previo para la definición de SAA, por consiguiente, esta se refiere a las aves riesgosas y no a las aves peligrosas.

Ahora, para iniciar el proceso de selección de los SAA, antes es indispensable acudir al conocimiento local del lugar y a la observación intuitiva de los sitios potenciales para obtener tanto un necesario punto de partida, como un panorama amplio del área de influencia, y luego someterlos a la definición excluyente que aquí se presenta. Así mismo, los SAA requieren actualización en cada periodo de evaluación para ajustarse a los cambios temporales que reflejan la realidad y evitar así su inutilidad.

Aquí, es preciso advertir que estas interpretaciones teóricas no pueden descartar *a priori* las regulaciones establecidas sobre el uso del suelo, dada su utilidad

normativa para la planificación a largo plazo; también, deben conservar el principio de precaución, según el cual cuando exista presunción razonable de un peligro de daño grave o irreversible, la falta de certeza científica absoluta no deberá utilizarse como pretexto para postergar la adopción de medidas que impidan o minimicen los daños (Arthur, 2008). De modo que, aunque algunos hábitats atractivos de fauna puedan ser irrelevantes para el riesgo teórico porque no se someten a esta definición, no necesariamente lo son para el riesgo real, debido a la variabilidad e imprevisibilidad de la fauna o cuando son interpretados desde otras escalas ecológicas o espaciotemporales; esto último también puede entenderse como el principio de incertidumbre de todo SAR. Por eso, es recomendable continuar con un seguimiento discreto de todos los sitios potenciales (Andersson *et al.*, 2017), pero los únicos a los que procederá la eventual evaluación del riesgo serán en efecto los verdaderos SAA.

## Conclusiones

El desarrollo del concepto SAA ofrece una respuesta idónea a la pregunta central del artículo, en el que se plantea el concepto como una herramienta depuradora de los hábitats atractivos de fauna que permite identificar adecuadamente los SAA y preparar el camino para su posterior evaluación del riesgo, lo que facilitará el SAR, y por tanto el WHMP y el SGO, para finalmente contribuir con importantes mejoras en la seguridad aérea. No obstante, esta propuesta es refutable y no aspira a ser definitiva, solo pretende ofrecer una primera aproximación teórica debatible y útil para estimular nuevas propuestas que exploren otras alternativas metodológicas y perfeccionar el concepto, o al menos generar conciencia sobre esta necesidad no atendida.

Vale la pena indicar que este trabajo es solo un aporte puntual para la solución de una problemática más amplia de los procesos metodológicos del SAR. Por eso, el siguiente paso debería orientarse a la formulación de una metodología para la evaluación del riesgo de los SAA que sea clara y equilibrada entre la

objetividad científica y la practicidad técnico-administrativa para una implementación viable y regular en la mayoría de los aeropuertos, especialmente en los pequeños aeropuertos regionales de los países en vías de desarrollo. También, debería orientarse a la formulación de una metodología expresa para el monitoreo de las aves fuera del aeropuerto, dirigida a la estimación de la abundancia de las especies más constantes antes que a la detección de la mayor cantidad de especies, es decir, a la riqueza.

Por último, es oportuno señalar que la ausencia de análisis y discusión de resultados en este trabajo obedece a los términos propios del formato reflexivo, y a que este todavía es un planteamiento teórico que debe ser sometido a la práctica. En tal sentido, se subraya que no hubo oportunidad para el progreso de esta reflexión desde su formulación hasta la implementación y posterior evolución a un artículo de investigación, debido a obstáculos de diversa naturaleza. Desde ese punto de vista, este artículo puede considerarse el preludio de trabajos complementarios; por lo tanto, se recomienda que próximos trabajos den continuidad a estas ideas mediante su implementación en aeropuertos activos para evaluar el desempeño práctico del concepto; pero en efecto, para que estos sean integrales, sería más productivo hacerlos cuando se resuelvan las cuestiones pendientes sobre la metodología de monitoreo y la evaluación del riesgo. Queda claro que estos asuntos exceden los límites de esta reflexión, pero pueden discutirse ampliamente en el futuro.

## Agradecimientos

A la matemática Viviana Márquez por su asesoría en las traducciones, y al biólogo Yeiner Molina por sus comentarios y sugerencias.

## Referencias

- Allan, J. R. (2000). A protocol for bird strike risk assessment at airports. *International Bird Strike Proceedings*, 25(11), 29-46. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.199.3893&rep=rep1&type=pdf>
- Andersson, K., Davis, C. A., Blackwell, B. F. y Heinen, J. R. (2017). Wetland bird abundance and safety implications for military aircraft operations. *Wildlife Society Bulletin*, 41(3), 424-433. <https://doi.org/10.1002/wsb.804>
- Arthur, J. R. (2008). General principles of the risk analysis process and its application to aquaculture. En Food and Agriculture Organization (FAO), *Understanding and applying risk analysis in aquaculture* (pp. 20-25). FAO. [https://www.researchgate.net/profile/Marnie-Campbell/publication/257307945\\_Introduced\\_marine\\_species\\_risk\\_assessment\\_-\\_aquaculture/links/00b7d524dfc3c13e18000000/Introduced-marine-species-risk-assessment-aquaculture.pdf#page=21](https://www.researchgate.net/profile/Marnie-Campbell/publication/257307945_Introduced_marine_species_risk_assessment_-_aquaculture/links/00b7d524dfc3c13e18000000/Introduced-marine-species-risk-assessment-aquaculture.pdf#page=21)
- Australian Transport Safety Bureau (ATSB). (2019). *Australian aviation wildlife strike statistics 2008-2017*. [https://www.atsb.gov.au/publications/2018/ar-2018-035/#footnote\\_3](https://www.atsb.gov.au/publications/2018/ar-2018-035/#footnote_3)
- Blackwell, B. F., Seamans, T. W., Fernández-Juricic, E., Devault, T. L. y Outward, R. J. (2019). Avian responses to aircraft in an airport environment. *The Journal of Wildlife Management*, 83(4), 893-901. <https://doi.org/10.1002/jwmg.21650>
- Blackwell, B. F., DeVault, T. L., Fernández-Juricic, E. y Dolbeer, R. A. (2009). Wildlife collisions with aircraft: A missing component of land-use planning for airports. *Landscape and Urban Planning*, 93(1), 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2009.07.005>
- Civil Aviation Authority (CAA). (2002). *Aerodrome bird control. Report prepared by the Safety Regulation Group*. Civil Aviation Authority.
- Caro-Caro, C. I., Torres-Mora, M. A. y Barajas-Barbosa, M. P. (2014). Ecosistemas estratégicos y disponibilidad de hábitat de la avifauna del piedemonte llanero (Colombia), como posible peligro aviar. *Revista Luna Azul*, (39), 25-39. <https://revistasoj.s.ucaldas.edu.co/index.php/lunazul/article/view/1758>
- Centro de Escritura Javeriano. (2018). *Artículo de reflexión*. <https://www.javerianacali.edu.co/centro-escritura/recursos/articulo-de-reflexion>
- Coccon, F., Zucchetta, M., Bossi, G., Borrotti, M., Torricelli, P. y Franzoi, P. (2015). A land-use perspective for birdstrike risk assessment: The attraction risk index. *PLoS One*, 10(6). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0128363>
- Corpac s.A. (2008). *Programa para el control de la fauna silvestre aeropuerto Padre Aldamiz de Puerto Maldonado, Perú*. [http://www.corpac.gob.pe/Docs/gestion\\_ambiental/programa\\_control\\_fauna](http://www.corpac.gob.pe/Docs/gestion_ambiental/programa_control_fauna)

- Coy, H. (2016). *Instructivo para la elaboración de artículos de reflexión para publicación en revistas de investigación*. Corporación Unificada Nacional de Educación Superior. <https://es.slideshare.net/hectorcoy/el-articulo-de-reflexin-65837295>
- Delfín-Alfonso, C. A., Gallina-Tessaro, S. A., y López-González, C. A. (2011). El hábitat: definición, dimensiones y escalas de evaluación para la fauna silvestre. En Gallina Tessaro, S. A., & López-González, C. A. (Eds). *Manual de técnicas para el estudio de la fauna*. Vol. 1 (pp. 351-377). Universidad Autónoma de Querétaro-Instituto de Ecología.
- DeVault, T. L., Blackwell, B. F., Seamans, T. W., Begier, M. J., Kougher, J. D., Washburn, J. E., Miller, P. R. y Dolbeer, R. A. (2018). Estimating interspecific economic risk of bird strikes with aircraft. *Wildlife Society Bulletin*, 42(1), 94-101. <https://doi.org/10.1002/wsb.859>
- DeVault, T. L., Blackwell, B. F., Seamans, T. W. y Belant, J. (2016). Identification of off-airport interspecific avian hazards to aircraft. *The Journal of Wildlife Management*, 80(4), 746-752. <https://doi.org/10.1002/jwmg.1041>
- Dipilla, A. (2021). *An aeroecological assessment of aircraft bird strike predictability using weather radar and citizen science* [tesis de maestría, University of Science and Arts of Oklahoma]. Repositorio institucional USAO. <https://hdl.handle.net/11244/329549>
- Dolbeer, R. A. (2011). Increasing trend of damaging bird strikes with aircraft outside the airport boundary: Implications for mitigation measures. *Human-Wildlife Interactions*, 5(2), 235-248. <https://doi.org/10.26077/dnvn-x958>
- Dolbeer, R. A., Begier, M. J., Miller, P. R., Weller, J. R. y Anderson, A. L. (2021). *Wildlife strikes to civil aircraft in the United States, 1990-2019 (No. DOT/FAA/TC-21/11)*. USDA.
- El-Sayed, A. (2019). *Bird strike in aviation: Statistics, analysis and management*. John Wiley & Sons.
- Federal Aviation Administration (FAA). (2020). *Advisory Circular (AC) 150/5200-33C. Hazardous Wildlife Attractants on or Near Airports*. [https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory\\_Circular/150-5200-33C.pdf](https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory_Circular/150-5200-33C.pdf)
- Fernández-Juricic, E., Brand, J., Blackwell, B. F., Seamans, T. W. y DeVault, T. L. (2018). Species with greater aerial maneuverability have higher frequency of collisions with aircraft: A comparative study. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 6(17). <https://doi.org/10.3389/fevo.2018.00017>
- Gerringer, M., Lima, S. y DeVault, T. (2016). Evaluation of an avian radar system in a midwestern landscape. *Wildlife Society Bulletin*, 40(1), 150-159. <https://doi.org/10.1002/wsb.614>
- Godínez, E. (2018). *Aves y aeronaves: riesgos y peligros*. Kindle, Amazon.
- Government of Canada. (2019). Canada Bird Strike Information System (CBSIS). <https://www.wapps.tc.gc.ca/Saf-Sec-Sur/2/bsis/>
- Hasılıcı, Z. y Boğoçlu, M. (2020). Determining the effect of bird parameters on bird strikes to commercial passenger aircraft using the central composite design method. *International Journal of Aeronautics and Astronautics*, 2(1), 1-8 . <https://dergipark.org.tr/en/pub/ijaa/issue/62592/945053>
- Hernández-Silva, D., Pulido, M., Zuria, I., Gallina, S. y Sánchez-Rojas, G. (2018). El manejo como herramienta para la conservación y aprovechamiento de la fauna silvestre: Acceso a la sustentabilidad en México. *Acta Universitaria*, 28(4), 31-41. <https://doi.org/10.15174/au.2018.2171>
- Hu, Y., Xing, P., Yang, F., Feng, G., Yang, G. y Zhang, Z. (2020). A birdstrike risk assessment model and its application at Ordos Airport, China. *Scientific Reports*, 10(1), 1-7. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-76275-z>
- International Civil Aviation Organization (ICAO). (2020). *Doc. 9137. Airport Services Manual. Part 3. Wildlife Control Hazard Management*. ICAO.
- Jeffery, R. y Buschke, F. (2019). Urbanization around an airfield alters bird community composition, but not the hazard of bird-aircraft collision. *Environmental Conservation*, 46(2), 124-131. 10.1017/S0376892918000231
- Maragakis, I. (2009). *Bird population trends and their impact on aviation safety 1999-2008*. European Aviation Safety Agency. <https://skybrary.aero/sites/default/files/bookshelf/615.pdf>
- Marateo, G., Grilli, P., Ferretti, V. y Bouzas, N. (2011). Diagnóstico de riesgo aviario en un aeródromo de un aérea megadiversa del Perú. *Revista CONEXAO SIPAER*, 3(2), 203-227.
- Martin, J. A., Belant, J. L., DeVault, T. L., Blackwell, B. F., Burger Jr., L. W., Riffell, S. K. y Wang, G. (2011). Wildlife risk to aviation: A multi-scale issue requires a multi-scale solution. *Human-Wildlife Interactions*, 5(2), 198-203. <https://www.jstor.org/stable/24868880>
- Martín-Vélez, V., Mohring, B., Van Leeuwen, C. H. A., Shamoun-Baranes, J., Thaxter, C. B., Baert, J. M., Camphuysen, C. J. y Green, A. J. (2020). Functional connectivity network between terrestrial and aquatic habitats by a generalist waterbird, and implications for biovectoring. *Science of the Total Environment*, 705, 135886. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135886>

- Martínez Moreno, L. K. (2019). *Planeación del suelo en torno al aeropuerto: consideraciones para un ordenamiento territorial compatible* [tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio institucional Unal. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/69867>
- Matamoros, A. G. y Torres, C. A. (2014). Identificación de los factores de atracción de fauna en las proximidades del Aeropuerto Toncontín. *Ciencias Espaciales*, 7(2), 96-108. <https://doi.org/10.5377/ce.v7i2.2522>
- Metz, I. C., Ellerbroek, J., Mühlhausen, T., Kügler, D. y Hoekstra, J. M. (2020). The Bird Strike Challenge. *Aerospace*, 7(3), 26. <https://doi.org/10.3390/aerospace7030026>
- Metz, I. C., Ellerbroek, J., Mühlhausen, T., Kügler, D., Kern, S. y Hoekstra, J. M. (2021a). The Efficacy of Operational Bird Strike Prevention. *Aerospace*, 8(1), 17. <https://doi.org/10.3390/aerospace8010017>
- Metz, I. C., Ellerbroek, J., Mühlhausen, T., Kügler, D. y Hoekstra, J. M. (2021b). Analysis of Risk-Based Operational Bird Strike Prevention. *Aerospace*, 8(2), 32. <https://doi.org/10.3390/aerospace8020032>
- Ning, H. y Chen, W. (2014). Bird strike risk evaluation at airports. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, 86(2), 129-137. <https://doi.org/10.1108/AEAT-07-2012-0111>
- Novoselova, N. S., Novoselov, A. A., Macarrão, A., Gallo-Ortiz, G. y Silva, W. R. (2020). Remote sensing applications for abating aircraft-bird strike risks in Southeast Brazil. *Human-Wildlife Interactions*, 14(1), 8. <https://doi.org/10.26077/3z5d-eb31>
- Ojasti, J. y Dallmeier, F. (2000). Manejo de Fauna Silvestre Neotropical. *SI/MAB Series #5*. Smithsonian Institution/MAB Biodiversity Program.
- Pfeiffer, M. B., Blackwell, B. F. y DeVault, T. L. (2020). Collective effect of landfills and landscape composition on bird-aircraft collisions. *Human-Wildlife Interactions*, 14(1), 9. <https://digitalcommons.usu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1579&context=hwi>
- Pfeiffer, M. B., Kougher, J. y DeVault, T. L. (2018). Civil airports from a landscape perspective: A multi-scale approach with implications for reducing bird strikes. *Landscape and Urban Planning*, 4(9), 38-45. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2018.07.004>
- Sadava, D., Heller, H., Orians, G., Purves, W. y Hillis, D. (2009). *Vida. La ciencia de la biología*. Editorial Médica Panamericana.
- Shao, Q., Zhou, Y., Zhu, P., Ma, Y. y Shao, M. (2020a). Key factors assessment on bird strike density distribution in airport habitats: Spatial heterogeneity and geographically weighted regression model. *Sustainability*, 12(18), 7235. <https://doi.org/10.3390/su12187235>
- Shao, Q., Zhou, Y. y Zhu, P. (2020b). Spatiotemporal analysis of environmental factors on the birdstrike risk in high plateau airport with multi-scale research. *Sustainability*, 12(22), 9357. <https://doi.org/10.3390/su12229357>
- Smith, T. M. y Smith, R. L. (2007). *Ecología. Propiedades de las poblaciones*. Pearson Educación.
- Sowden, R., Kelly, T. y Dudley, S. (2007). *Airport bird hazard risk assessment process*. 2007 Bird Strike Committee USA/Canada, 9th Annual Meeting, Kingston, Ontario. <https://digitalcommons.unl.edu/birdstrike2007/8>
- Steele, W. K. y Weston, M. A. (2021). The assemblage of birds struck by aircraft differs among nearby airports in the same bioregion. *Wildlife Research*, 48(5), 422-455. <https://doi.org/10.1071/WR20127>
- Van Gasteren, H., Krijgsveld, K. L., Klauke, N., Leshem, Y., Metz, I. C., Skakuj, M., Sorbi, S., Schekler, I. y Shamoun-Baranes, J. (2018). Aeroecology meets aviation safety: early warning systems in Europe and the Middle East prevent collisions between birds and aircraft. *A Journal of Space and Time in Ecology*, 42(5), 899-911. <https://doi.org/10.1111/ecog.04125>
- Wang, J. y Herricks, E. E. (2012). Risk assessment of bird-aircraft strikes at commercial airports: Submodel development. *Transportation Research Record*, 2266(1), 78-84. <https://doi.org/10.3141/2266-09>
- World Organization for Animal Health (OIE). (2019). *Análisis del riesgo asociado a las importaciones*. [https://www.oie.int/fileadmin/Home/esp/Health\\_standards/tahc/current/chapitre\\_import\\_risk\\_analysis.pdf](https://www.oie.int/fileadmin/Home/esp/Health_standards/tahc/current/chapitre_import_risk_analysis.pdf)
- Zhao, B., Wang, N., Fu, Q., Yan, H. y Wu, N. (2019). Searching a site for a civil airport based on bird ecological conservation: An expert-based selection (Dalian, China). *Global Ecology and Conservation*, 20, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2019.e00729>
- Zuluaga, S., Speziale, K. y Lambertucci, S. A. (2021). Global aerial habitat conservation post-COVID-19 anthropause. *Trends in Ecology & Evolution*, 36(4), 273-277. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2021.01.009>

# Modelo de toma de decisión para materiales de mantenimiento, reparación y operaciones (MRO)\*

| Fecha de recibido: 4 de julio del 2021 | Fecha de aprobación: 21 de noviembre del 2021 |

## Tercia Emanuelle Ribeiro Alves

M.Sc. en Ingeniería Industrial

Universidad de los Andes  
Colombia

Grupo de Investigación en  
Producción y Logística – PyLo

Rol de investigador: teórico y experimental  
<https://orcid.org/0000-0001-5840-6626>

✉ [te.ribeiro@uniandes.edu.co](mailto:te.ribeiro@uniandes.edu.co)

## Ciro Alberto Amaya Guío

Ph.D. en Ingeniería Industrial

Docente, Universidad de los Andes  
Colombia

Grupo de Investigación en  
Producción y Logística – PyLo

Rol de investigador: teórico y experimental  
<https://orcid.org/0000-0003-1537-1616>

✉ [ca.amaya@uniandes.edu.co](mailto:ca.amaya@uniandes.edu.co)

\* Este artículo se deriva del proyecto de grado titulado “Modelo de toma de decisión de manejo de inventario de materiales de mantenimiento, reparación y operaciones (MRO), integrando la estrategia de planeación de abastecimiento y los programas de mantenimiento de una plataforma de transporte por oleoducto en Colombia”, realizado para optar al título de magíster en Ingeniería Industrial Subárea: Sistemas de producción y logística, realizado en el año 2020 en la Universidad de los Andes, de la autora Tercia Emanuelle Ribeiro Alves, bajo la dirección de Ciro Alberto Amaya.

**Cómo citar este artículo:** Ribeiro Alves, T. E., & Amaya Guío, C. A. (2022). Modelo de toma de decisión para materiales de mantenimiento, reparación y operaciones (MRO). *Ciencia y Poder Aéreo*, 17(1), 67-80. <https://doi.org/10.18667/cienciaypoderaereo.722>



## Modelo de toma de decisión para materiales de mantenimiento, reparación y operaciones (MRO)

**Resumen:** Para optimizar la gestión de inventario en empresas que tienen gran variedad de referencias, es necesario involucrar los programas de mantenimiento a la estrategia general de la organización. Esto incluye considerar las particularidades de todos los tipos de artículos, en especial los materiales de mantenimiento, reparación y operaciones (MRO). Estos materiales serán el foco de análisis en este estudio, porque ocupan gran parte de las bodegas de inventario en las empresas y, por lo tanto, representan gran porcentaje de los costos empresariales. El presente estudio aborda el caso de una empresa que contiene gran número de artículos y que son de alto costo. Con el objetivo de encontrar el modelo más adecuado para gestionarlos, se puede, mediante la definición de un algoritmo, ponderar todos los parámetros considerados importantes para la toma de decisión. Se concluye que, en situaciones como esta, mejorar algunos factores, como por ejemplo el cálculo del tiempo de reaprovisionamiento (*lead time* en inglés) del proceso, influye mucho más en los ahorros de la empresa que la definición de un modelo de inventario muy complejo.

**Palabras clave:** gestión de inventario; materiales MRO; toma de decisión estratégica.

## Decision-making model for maintenance, repair and operations materials (MRO)

**Abstract:** To optimize inventory management in companies that have a large variety of references, it is necessary to involve maintenance programs in the general strategy of the organization. This includes considering the peculiarities of all types of articles, especially maintenance, repair, and operations materials (MRO). These materials will be the focus of analysis in this study because they occupy a large part of the inventory warehouses in companies and, therefore, represent a large percentage of business costs. This study addresses the case of an organization that contains a large number of items of this nature and elevates associated costs. The main objective is to find the most suitable model to manage them, by defining an algorithm that weighs all the parameters considered important for decision-making, which allow concluding that improving some factors, such as the Lead Time, is more relevant to the savings of the company than the definition of a complex inventory model.

**Keywords:** Inventory management; MRO materials; strategic decision making.

## Modelo de tomada de decisão para materiais de manutenção, reparo e operações (MRO)

**Resumo:** Para otimizar a gestão de estoques em empresas que possuem uma grande variedade de referências, é necessário envolver os programas de manutenção na estratégia geral da organização. Isto inclui considerar as particularidades de todos os tipos de itens, especialmente os materiais de manutenção, reparo e operações (MRO). Esses materiais serão o foco de análise neste estudo, pois ocupam grande parte dos estoques dos armazéns das empresas e, portanto, representam um grande percentual dos custos do negócios. Este estudo aborda o caso de uma empresa que contém um grande número de itens e que são de alto custo. Para encontrar o modelo mais adequado para gerenciá-los, é possível, através da definição de um algoritmo, ponderar todos os parâmetros considerados importantes para a tomada de decisão. Conclui-se que, em situações como essa, melhorar alguns fatores, como o cálculo do tempo de reposição (*Lead Time* em inglês) do processo, influência muito mais a economia da empresa do que a definição de um modelo de estoque muito complexo.

**Palavras-chave:** Gestão de estoque; materiais MRO; tomada de decisão estratégica.

## Introducción

El inventario de una empresa contiene el registro de los bienes que esta tiene en su patrimonio, ya sean para venta o para el consumo en la producción de bienes o servicios. Su función principal es mantener el equilibrio entre el proceso de abastecimiento y las requisiciones de demanda. Suele ser clasificado en tres tipos: inventario de materia prima, de productos en proceso y de productos terminados. Sin embargo, hay una clasificación adicional, también muy importante, pero aún poco considerada, que es el inventario de materiales de mantenimiento, reparación y operaciones (MRO).

Los inventarios pueden clasificarse, según sus características de demanda, en dependientes o independientes. Los dependientes tienen sus demandas condicionadas a la venta de otros artículos, por ejemplo, los inventarios de materia prima y de productos en proceso, que dependen directamente de la demanda por productos terminados. Los independientes son ítems que no necesitan de la demanda de otros productos, por ejemplo, los productos terminados, pues ya fueron fabricados para atender pedidos de compra y no dependen de la demanda por otros productos.

Los materiales MRO son clasificados como independientes, pues no dependen de la demanda de ningún otro artículo para que surja la necesidad de su utilización. Utilizar materiales con estas características para hacer previsiones sobre la necesidad de uso de los materiales de demanda dependiente puede traer ahorros significativos para las empresas, tanto en tiempo como en recursos.

Existen algunas técnicas que permiten hacer previsiones de la demanda futura y que sirven de apoyo para una mejor planeación de los inventarios necesarios para atenderla. Estas pueden ser cuantitativas o cualitativas. El enfoque cuantitativo incluye criterios como: histórico de ventas pasadas, variaciones económicas en el país o región, crecimiento del sector del negocio y crecimiento de la población. Y el enfoque cualitativo trabaja con criterios como la investigación de mercado, y la opinión de expertos, clientes y vendedores.

Un método cuantitativo muy utilizado, en el contexto de series de tiempo estacionarias, para el pronóstico de la demanda es el de la suavización exponencial, que hace un promedio de las demandas o consumos pasados asignando pesos según la fecha de utilización. Esta es una técnica muy utilizada hoy por las empresas, a fin de tener una idea de qué cantidades de consumo serían esperadas para los próximos periodos. Sin embargo, esta es apenas una de las maneras de prevenirse para el futuro y no es lo suficientemente precisa, ya que el futuro no necesariamente imita comportamientos pasados.

Con la información de los pronósticos de demandas de productos o materiales, y a fin de producir una base consistente para la toma de decisiones referentes a la gestión de inventarios, es recurrente el uso de diferentes técnicas que incluyen la definición de niveles de inventarios máximos y mínimos, niveles de servicio para la disponibilidad de los productos, tiempos de entrega de los proveedores, etc. Sin embargo, la aplicación directa de cualquiera de estas técnicas puede no atender de manera adecuada a las necesidades de algunos artículos críticos y en especial de los materiales MRO.

Las características particulares que tienen los materiales MRO generan una gran dificultad en su administración. No existe una estrategia universal única que funcione para todas las piezas MRO, debido a la amplia variedad de atributos de las piezas (Chen *et al.*, 2019). Es usual realizar la simple aplicación de políticas diseñadas para inventarios de materia prima, productos en proceso y productos acabados, basadas en patrones de demanda (Bacchetti y Saccani, 2012; Boylan y Syntetos, 2008; Conceição *et al.*, 2015) que pueden no ser adecuados para este tipo de materiales.

En este artículo, se propone un modelo de administración de inventario enfocado a artículos MRO, que considera las características individuales de cada uno de ellos según limitaciones propias de la empresa. Se identifican los puntos más relevantes y cruciales en la gestión de estos artículos, a fin de presentar un modelo de toma de decisión que sea personalizado y específico para este nicho de productos.

## Problema

En el contexto de una empresa que mantiene una gran cantidad de productos en inventario, divididos en familias con las más diversas características de dimensión, cantidad y valor monetario, es necesario seleccionar una política adecuada para cada uno de sus materiales, siempre dentro de un conjunto de políticas que pueden variar en el momento de revisión y la estrategia de pedido. La selección debe considerar diferentes criterios, por eso el presente artículo busca responder cuál será la mejor política a usar con base en la identificación de las características de cada producto.

## Metodología

En este artículo, se propone una metodología que comprende los pasos lógicos que permiten tomar una decisión sobre una política de inventario apropiada para los materiales MRO. En primera instancia, se hace una revisión de literatura para identificar factores que sean importantes e influyan en la selección. Después, se procede con una clasificación de los materiales teniendo en cuenta los criterios claves; este paso es fundamental pues determinará el trato y la importancia que se le debe dar a cada material e incidirá en la política a ser usada. Previo a definir la metodología, se mencionan elementos claves a ser considerados en la determinación de la política; dichos elementos han sido mencionados en diferentes trabajos y son especificados en detalle en el artículo. Finalmente, se propone un paso a paso o algoritmo para elegir cuál política de inventarios aplicar; se establece cómo el nivel de servicio, los tiempos de reabastecimiento, la naturaleza del material, los patrones de demanda y el valor del producto son considerados, aclarando posibles impactos en las restricciones del proveedor y los costos relacionados al pedido.

La metodología para la ejecución de la política de inventario busca optimizar el uso de los recursos

en el proceso productivo, por medio de un modelo que facilite la toma de decisión de manera adecuada y así disminuya las pérdidas generadas por las decisiones equivocadas en el tema de manejo de inventarios. El modelo sugiere la aplicación de la estrategia o política adecuada, dependiendo de la característica del material en análisis.

## Revisión de la literatura

La planeación estratégica es la clave para el éxito de la implementación de cualquier política de administración logística pretendida por una empresa. Esto es independiente de que el enfoque de esa política sea operacional, de compras, de distribución o de gestión de inventarios (Kotsifaki *et al.*, 2007). Todas las perspectivas involucradas en la política pretendida deben ser cuidadosamente planeadas y dirigidas al cumplimiento de las metas empresariales (Saunders, 1997).

El enfoque de la gestión de inventarios, en especial, afecta directamente dos pilares de la estrategia empresarial: la percepción de disponibilidad de los productos por parte del cliente final y la eficiencia del giro interno de suministros en el proceso productivo. El segundo es el mayor indicador de eficacia de la administración estratégica, ya que los inventarios suelen ser responsables de gran parte de los costos de desperdicio empresarial (Hamad y Gualda, 2011).

En el grupo de inventarios de materiales MRO, la situación no es diferente. Para garantizar altos niveles de disponibilidad, es necesario mantener siempre en bodega las cantidades suficientes de estos materiales, que puedan ser necesarias en la operación. Tales cantidades serán utilizadas tanto para las operaciones de mantenimiento previstas, como para las correctivas que puedan surgir durante el proceso.

Para gestionar bien un inventario, su plan de gestión debe seguir el ciclo de los cuatro pilares, a saber: planeación, acción dirigida a la orientación recibida por el plan, control y evaluación, y una acción de mejoramiento continuo. Por lo tanto, se torna imprescindible para las empresas establecer una estrategia que

involucre directamente el manejo de inventarios y los planes de mantenimiento, a fin de que los dos estén ajustados para attingir las metas establecidas por la organización (Garrido y Cejas, 2017).

Así, en general, toda empresa debe propender a minimizar los costos asociados a inventarios, respetando los niveles mínimos necesarios para el mantenimiento de la demanda. Además, siempre se debe tener en consideración los inventarios de materia prima, los intermediarios o en proceso y los de productos terminados. Eso garantizará el crecimiento de las ganancias de la empresa y de sus activos totales (Suárez-Cervera, 2012).

Sin embargo, como afirman Ling *et al.* (2017), un modelo de gestión para materiales MRO debe considerar sus características particulares. Por ejemplo, dado que los materiales MRO suelen ser requeridos por equipos de gran calibre, son muy distintos de los inventarios de materia prima y de producto terminado. Sus procesos de producción y transporte son más complejos. Además, son artículos costosos, que necesitan una estrategia de provisión efectiva (Adur Kannan *et al.*, 2020) para garantizar altos niveles de servicio con la menor inversión posible.

Así mismo, es importante considerar la incertidumbre que estos materiales presentan. Debido a factores inciertos como posibles fallas, disponibilidad de materia prima y mano de obra, hay más incertidumbres y variabilidad en lo que refiere a su gestión (Huiskonen, 2001).

Según complementa Huiskonen (2001), es necesario poner atención a la información técnica de las piezas MRO. También, conocer el comportamiento de las fallas de los equipos que utilizan estos materiales es de crucial importancia para la definición de un buen modelo. Esto dependerá más del análisis del comportamiento técnico que del aspecto logístico de la pieza.

Para Ling *et al.* (2017), el objetivo principal de los modelos que buscan optimizar la gestión de materiales MRO debe ser siempre ofrecer un alto nivel de servicio con costos mínimos. El autor resalta que, en esta búsqueda, las empresas se dividen en dos grupos: las que invierten en previsión de demanda y control

de *stock*, y las que enfocan en planeación de producción y distribución.

Para Roebuck (2011), un modelo considerado adecuado para esta clase de materiales, debería mejorar la eficiencia de los envíos de compra, aprovechar al máximo la vida útil de los equipos, reducir el nivel de inventarios en las bodegas y garantizar mejores proveedores y precios.

Algunos autores sugieren también la utilización de sistemas de gestión de mantenimiento computarizado (CMMS, por sus siglas en inglés) para el control de llegada de los proveedores y el control general de los materiales MRO. Pero, como resalta Roebuck (2011), esto último incluye costos de capacitación, equipo de prueba y medición de la capacidad mejorada de solución de problemas. Según afirma Avery (2006), la alta dirección no está dispuesta a invertir los recursos necesarios para este tipo de implementación. Sin embargo, estos gastos podrían ser cubiertos por los ahorros que seguramente traería la implementación del CMMS (Roebuck, 2011).

Se deben considerar otros puntos, como eliminar la tarea de distribución por parte de la empresa (Avery, 2006) y exigir la inclusión de la distribución de materiales MRO en la operación de los proveedores. Además, afirma que la mayoría de las empresas que consigue hacer una buena gestión de sus materiales MRO sin contratación de una empresa tercera tiene una fuerte operación de compra de materiales indirectos y ha invertido mucho en sistemas de *software* ERP (planificación de recursos empresariales).

De acuerdo con Gan *et al.* (2015), otro factor importante a ser tenido en cuenta es la disminución de la duración de los mantenimientos. Sin embargo, destaca que esto puede afectar la frecuencia y el costo de estos procedimientos. Los autores resaltan también la necesidad de saber lidiar con el equilibrio entre el costo de mantenimiento, el de escasez y el de disponer del inventario, a fin de alcanzar el costo mínimo posible. El principal objetivo de su estudio es probar la efectividad de la interacción entre mantenimiento, *buffer* e inventario de repuestos para minimizar los costos totales. La tabla 1 sintetiza la información citada.

Tabla 1.  
Síntesis de información de los autores

Autor	Factores considerados importantes al modelo
Amirkolaie <i>et al.</i> (2017); Ling <i>et al.</i> (2017)	Tener previsión de demanda y control de <i>stock</i> Realizar planeación de la producción y distribución Garantizar alto nivel de servicio
Ali <i>et al.</i> (2020); Huiskonen (2001)	Considerar incertidumbre de uso de los materiales MRO Considerar variabilidad de la demanda Analizar el comportamiento técnico del repuesto
Roebuck (2011; Sharma y Govindaraju (2020)	Conseguir mejores proveedores y precios Mejorar productividad de los proveedores Reducir inventario de las bodegas Implementar CMMS
Avery (2006)	Disminuir costos de distribución Invertir en un sistema de <i>software</i> ERP Delegar distribución al proveedor Aumentar la fuerza en la operación de compra
Gan <i>et al.</i> (2015)	Considerar costo de escasez y de disponibilidad Equilibrar costos de mantenimiento con los demás Conocer duración y frecuencia de los mantenimientos

Fuente: elaboración propia.

Dos aspectos importantes que no se evidencian en la información citada en la tabla 1, y que se deben considerar, son: primero, el efecto de los diferentes tiempos del proceso en que están inmersas las compras y autorizaciones de los materiales MRO; segundo, el efecto de relación de varios criterios, como la variabilidad e incertidumbre de la demanda, la definición de los niveles ideales de inventario y la consideración de todos los costos relacionados con estos materiales.

## Modelo de toma de decisión en inventarios MRO

### Justificación

La gestión de inventarios de los materiales MRO involucra una gran cantidad de repuestos, los cuales deben estar disponibles en el inventario de cada bodega en el

momento que surja la necesidad de operación o mantenimiento de la maquinaria ligada a la operación.

Con el alto valor de inventario de materiales MRO normalmente mantenido por las empresas, se observa la importancia financiera de investigar el tema en busca de posibles mejoras. Además, se percibe que, por lo general, las empresas no tienen un análisis exhaustivo en los temas financieros relacionados con los materiales MRO. Así, no se conoce la situación exacta de costos de inventario bodega a bodega, ni técnicas eficaces para disminuir el valor del inventario contenido en cada una.

No obstante, también existen algunos factores en las empresas que generan una acumulación de materiales que ya no serán utilizados. Tres causas se pueden resaltar: obsolescencia de los inventarios por la llegada de nuevas tecnologías y la sustitución de máquinas; compras realizadas con estimación de necesidades hechas con alta incertidumbre para proyectos específicos; y compra de materiales para mantenimientos que no se realizan.

Los materiales MRO son productos de gran importancia en el inventario de una empresa, y se les debería dedicar una atención especial de estudio y conocimiento de sus características. En una línea de fabricación de productos, por ejemplo, normalmente son materiales críticos para su continuidad, es decir, sin ellos no se pueden arreglar las máquinas de producción. De igual manera, en empresas que trabajan con prestación de servicios, los materiales MRO están directamente ligados al “*core business*” de la empresa, donde la entrega del servicio depende de la disponibilidad de estos materiales para posibles mantenimientos.

Los materiales MRO, en su gran mayoría, son materiales de características de consumo altamente estocásticas y fácilmente susceptibles a situaciones indeseadas de rupturas de *stock* causadas por materiales faltantes cuando son requeridos. Algunos de estos materiales pueden ser muy costosos, razón que genera que el proceso de compra demande tiempos de pedido de larga duración. Así que una mala decisión en los niveles de compra, sea por exceso o por defecto, puede generar grandes pérdidas financieras para las empresas.

Por lo tanto, teniendo en cuenta la situación relatada, se destaca la importancia del presente estudio dada la necesidad de la formulación de un modelo eficaz de manejo de inventario para grandes empresas que trabajan con gran número de materiales distintos. En especial, inventario de materiales MRO, ya que estos suelen tener baja rotación y alto costo.

## Supuestos

- Gran variedad de materiales
- Número diverso de familias de productos
- Gran número de proveedores
- Bodegas localizadas en diversos sitios geográficos
- Compras centralizadas
- Diversas actividades en el proceso de compra
- Abastecimiento con una cantidad larga de etapas

## Clasificación multicriterio

Como preámbulo a la definición de las políticas de inventarios, es importante hacer una clasificación de Pareto para los materiales, considerando diferentes aspectos, a saber: valor monetario de los materiales, rotación o frecuencia de uso, y criticidad del material. A continuación, se presenta la propuesta de clasificación de los materiales.

### **Paso 1. Clasificar los materiales de acuerdo con su valor monetario:**

Para el **valor monetario**, se propone clasificar los productos en tres categorías, a partir de una clasificación de Pareto, así:

- Clase A: Materiales MRO responsables del 80 % del valor total de los materiales, normalmente corresponden al 20 % del total de los productos.
- Clase B: Materiales responsables del siguiente 15 % de los costos, normalmente corresponden al 30 % de los ítems.
- Clase C: El resto de productos; normalmente son el 50 % de los ítems y corresponden a 5 % del valor total de materiales.

### **Paso 2. Clasificar los materiales de acuerdo con la frecuencia de uso:**

Un criterio importante en los materiales MRO es la **frecuencia de uso**. Dependiendo de las características de cada empresa, es importante fijar una ventana de tiempo de observación. Así, por ejemplo, podrían observarse los consumos en los últimos tres años y tener una clasificación como la siguiente:

- Clase A: Uso alto: materiales consumidos dieciocho o más veces en los últimos tres años
- Clase B: Uso medio: materiales consumidos entre seis y dieciocho veces en los últimos tres años
- Clase C: Uso bajo: materiales consumidos menos de seis veces en los últimos tres años

### **Paso 3. Clasificar los materiales de acuerdo con la criticidad del material:**

La clasificación se realiza de acuerdo con el nivel de criticidad del material en la operación de la empresa:

- Clase A: Corresponde a materiales que son críticos para la operación de la empresa. Una escasez de estos materiales generará un costo alto en la operación o un alto lucro cesante.
- Clase B: Corresponde a materiales que no son de alta criticidad.
- Clase C: Son materiales no críticos, cuya escasez tiene un impacto bajo o nulo en la organización.

### **Paso 4. Clasificación final de los materiales de acuerdo con los criterios antes definidos:**

Así como es posible que los materiales estén clasificados en una clase u otra dependiendo del criterio usado, se establecerá una clasificación final que se usará de aquí en adelante en la metodología propuesta. Es la siguiente:

- Clase A: Materiales que fueron clasificados como A en los tres criterios, o dos criterios en A y uno en B.
- Clase B: Materiales no incluidos en A ni en C.
- Clase C: Materiales que fueron clasificados como C en al menos dos criterios.

## Política de inventarios

Los modelos de inventario sirven para mejorar el manejo de los materiales que se encuentran en esta posición/clasificación dentro de una empresa; para esto, buscan responder las siguientes preguntas relacionadas con estos materiales:

- ¿Cuánto comprar?
- ¿Cuándo comprar?
- ¿Cómo comprar?

La primera pregunta se buscará responder por medio de cálculos de niveles óptimos de inventarios; la segunda, por medio de análisis del tiempo de reaprovisionamiento de material (*lead time*); y la última, por medio de una propuesta de lineamientos para la toma de decisión.

La definición de los *niveles de inventario* es la planeación y el dimensionamiento para la determinación de inventarios máximos, mínimos o de seguridad, lotes económicos de compra y puntos de pedido (Cao y Fuzeto, 2017).

## Inventario de seguridad

El nivel de inventario de seguridad es definido según la ecuación (1): donde  $Z$  es el coeficiente de distribución normal para un nivel buscado y  $\sigma$  es la desviación estándar de la demanda durante el tiempo de reaprovisionamiento (*lead time*), esto es, el tiempo total entre el momento de hacer el pedido y la disponibilidad en bodega.

$$SS = Z * \sigma * \sqrt{LeadTime} \quad (1)$$

El parámetro  $Z$ , calculado para dar un nivel de servicio esperado, se relaciona con la disponibilidad de los materiales necesarios en la operación y es definido como la cantidad de ciclos con disponibilidad del material en bodega con respecto a la cantidad de ciclos observados. Por ejemplo: definir un material con nivel de servicio de 90 % quiere decir que si al año se tienen diez ciclos de pedidos, en uno de ellos

no se contaría con dicho producto. Actualmente, por facilidad, muchas empresas definen el nivel de servicio como un valor estándar para todos los materiales, independientemente de su criticidad. Así, la propuesta de mejoría del estudio, en este punto, es definir el nivel de servicio de acuerdo con la criticidad de cada producto, es decir, cuanto más alta sea la criticidad del material, mayor el nivel de servicio definido.

Así, para un material crítico, por ejemplo, se determinaría un nivel de 90 %, de 85 % para materiales no tan críticos y de 80 % para los materiales que se requieren para la operación, pero que no son de naturaleza crítica, como se presenta en la tabla 2.

Tabla 2.  
Nivel de servicio sugerido por clase de material

Clase	Nivel de servicio actual	Nivel de servicio sugerido
A	80 %	90 %
B	80 %	85 %
C	80 %	80 %

Fuente: elaboración propia.

Así, definiremos los nuevos valores de *stock* de seguridad con la sustitución de los valores de nivel de servicio estándar normalmente adoptados por los niveles propuestos para cada clase.

## Inventario máximo

El nivel máximo de inventario representa la sumatoria del *stock* de seguridad y el lote de compra, a fin de garantizar que el costo de mantenimiento de inventario no sea muy alto (García-Sabater, 2020). La ecuación (2) presenta la formulación matemática de este concepto.

$$S_{m\acute{a}ximo} = SS + EOQ \quad (2)$$

Sin embargo, algunas empresas que no tienen un método de cálculo definido de lote económico de compra (EOQ) suelen considerar un horizonte de previsión según históricos de demanda, de acuerdo con la ecuación (3):

$$S_{m\acute{a}ximo} = SS + (T * D) \quad (3)$$

Donde SS es el *stock* de seguridad, T es el horizonte que define para cuántos periodos se va a abastecer con esta cantidad y D es la demanda promedio por periodo de tiempo.

### Punto de pedido

El punto de pedido, también conocido como punto de reorden, determina el momento adecuado para hacer un nuevo pedido de compra a fin de garantizar que la reposición se efectúe a tiempo, sin el riesgo de ruptura de *stock*. Tradicionalmente, es calculado como presenta la ecuación (4):

$$PR = SS + D_{LT} = (Z * \sigma * \sqrt{LeadTime}) + (\mu_D * LeadTime) \quad (4)$$

Donde SS es el *stock* de seguridad y D es la demanda promedio por unidad de tiempo de reaprovisionamiento del producto (*lead time*) del material.

Según Coyle *et al.* (2003), estos puntos de pedido pueden categorizarse en dos tipos: de pedido de cantidad fija y de pedido por intervalo fijo. La decisión de cuál política seguir es de crucial importancia para que cada tipo de material tenga sus necesidades específicas atendidas.

Una manera de tomar esta decisión es con base en la clasificación ABC de los productos en inventario, aplicando órdenes por cantidad fija a los materiales más críticos, de clase A, y órdenes por intervalo de pedido fijo para los materiales de clases B y C. La administración del enfoque de cantidad fija es más costosa, ya que necesita monitoreo muy frecuente o constante de los niveles de inventario. Ya el enfoque de intervalo fijo no necesita ser monitoreado con tanta frecuencia, lo cual vuelve el proceso más económico.

Estos dos tipos de enfoque también son conocidos como i) modelos de revisión continua, que son los de cantidad fija por necesitar monitoreo constante, y ii) modelos de revisión periódica, que son los de intervalos fijos. En los modelos de revisión continua, tenemos el modelo QR y en los de revisión periódica, los modelos ST y SST.

Entonces, siguiendo las recomendaciones de los autores citados, las políticas definidas deberían ser determinadas según lo sintetizado en la tabla 3.

Tabla 3.  
Política de revisión por clases

Clase	Revisión	Modelo
A	Continua	QR
B	Periódica	st
C	Periódica	SST

Fuente: elaboración propia.

Según Betancourt (2018), hay tres escenarios básicos referentes al comportamiento de la demanda y del *lead time* en un proceso de pedido. Uno de ellos, que es aplicado actualmente por muchas empresas, considera que la demanda de productos es variable y que el *lead time* de pedido es constante, donde se calcula el punto de reorden según la ecuación (4). El otro considera un escenario determinístico donde la demanda y el *lead time* son constantes, y el punto de reorden es calculado como el presentado por la ecuación (5).

$$PR = SS + D_{LT} = (\mu_D * LeadTime) \quad (5)$$

El último, y más realístico, escenario considera que la demanda y el *lead time* son variables. El punto de reorden para esta situación es calculado según la ecuación (6).

$$PR = SS + D = (Z * \sigma_{var}) + \mu_{var} \quad (6)$$

Sin embargo, los valores de  $\mu_{var}$  y  $\sigma_{var}$ , esto es, media y desviación durante el tiempo de aprovisionamiento, deben ser calculados de manera diferente a una desviación y una media comunes. Según lo demostrado por G. Hadley y T. M. Whitin, en un escenario con estos dos parámetros variables la media y la desviación de la demanda deben ser calculados de la siguiente manera (ecuación 7 y 8).

- Media de la demanda variable ( $\mu_{var}$ ):  $\mu_D * \mu_t \quad (7)$

- Desviación de la demanda variable ( $\sigma_{var}$ ):  $\sqrt{\mu_t \sigma_D^2 + \mu_D^2 \sigma_t^2} \quad (8)$

Donde la demanda por periodo del producto tiene: Media:  $\mu_d$  y Desviación:  $\sigma_t$ ; y el tiempo de reaprovisionamiento (*lead time*) tiene: Media:  $\mu_t$  y Desviación:  $\sigma_t$

Sustituyendo los nuevos valores considerados (ecuaciones 7 y 8) en la ecuación (6), tenemos:

$$PR = Z \sqrt{\mu_t \sigma_d^2 + \mu_d^2 \sigma_t^2 + \mu_d \mu_t} \quad (9)$$

Así, la expresión matemática utilizada para el cálculo de los nuevos puntos de pedido será la presentada en la ecuación (9), que se adecúa mejor a nuestro escenario actual en la empresa. En contraste a las ecuaciones (4) y (5), esta arrojará un resultado más acertado, pues tendrá en consideración tanto los valores de *lead time* variables como los niveles variables de demanda en el transcurso del año.

Además, es importante resaltar que este modelo es propuesto para empresas con familias de materiales que contienen un gran número de productos distintos, así que el cálculo de los puntos de pedido tendrá que ser realizado para cada uno de los materiales. Por lo tanto, lo adecuado es calcular la demanda promedio de cada producto, así como su respectiva desviación estándar, para saber sus niveles de inventario de manera más acertada.

### Estudio del tiempo *lead time*

El cálculo del tiempo de reaprovisionamiento (*lead time*) tiene un impacto directo en los valores de la política de pedido. Es usual que el *lead time* utilizado para calcular los niveles de inventario en las empresas sea generalmente definido por un valor estándar de igual valor para todos los tipos de materiales.

Esta es, notoriamente, una práctica ineficiente y que obtendrá resultados equivocados, ya que materiales con diferentes características tendrán tiempos de reposición distintos. Así, para mejorar la exactitud de estos niveles, es necesario calcular ese *lead time* para cada una de las categorías de materiales que maneje la empresa. Dadas las características de las empresas foco de este trabajo (que contienen gran cantidad de materiales distintos), el valor de *lead time* será calculado como el promedio de tiempo demandado para la

reposición de inventario de todos los materiales consumidos dentro de cada familia de productos.

Además, es necesario realizar un estudio detallado de cada uno de los subprocesos involucrados en el proceso de reabastecimiento, que va desde el pedido de compra hasta la entrega de los materiales en las bodegas. Cada uno estos subprocesos demandan un tiempo de procesamiento distinto, que serán denominados deltas.

El análisis de estos deltas es un factor necesario, y en la práctica puede analizarse cada uno de ellos desde una perspectiva de mejoramiento de procesos. En ese contexto, es clave conocer cuáles partes del proceso se están demorando más de lo que deberían y no están agregando valor a la cadena, con lo que se genera desperdicio de tiempo, y deberían ser eliminadas. Algunos resultados del análisis de subprocesos involucrados podrían ser:

- Volver a algunos de ellos cero, pues son cambios del proceso y no agregan valor a la cadena.
- Estandarizar otros, pues se genera mucha variabilidad entre ellos.
- Ajustar otros, pues el proceso podría pasar a ser de revisión periódica.

La reducción de los valores de *lead time* tiene un efecto directamente proporcional en la reducción de los costos finales de inventario.

### Algoritmo de selección

Para la mejor determinación de cuál política de inventarios aplicar, se utilizará una combinación de todos los puntos ya definidos, explicados y mejorados, a saber: nivel de servicio, tiempos de reabastecimiento (*lead time*), naturaleza del material (según su clasificación), patrón de demanda y valor del producto. Adicionalmente, se deben considerar posibles restricciones del proveedor y los costos relacionados con el pedido. Estas variables serán definidas como se presenta en la tabla 4. Así, el algoritmo de integración de todos estos criterios, que servirá de auxilio en la toma de decisión, será propuesto como presentado en la tabla 5.

**Tabla 4.**  
Definición de variables

SS	Valor del inventario de seguridad
Q	Valor de la cantidad a pedir
Smax	Valor del inventario máximo
Periódico	Vector inicialmente vacío
Continuo	Vector inicialmente vacío
Mantener	Costo anual con servicios y personal
Pedir	Costo anual con personal de compras
Obsolescencia	Valor de compra del material
Restricción Prov.	Variable con valor verdadero o falso
Pedidos P	Número de pedidos anuales necesarios en una política periódica
Pedidos C	Número de pedidos anuales necesarios en una política continua híbrida

Fuente: elaboración propia.

**Tabla 5.**  
Pseudocódigo del algoritmo de decisión

1. Si el material es de clase A:
2. Aplicar modelo de revisión continua
3. Si el material es de clase B:
4. Si  $\text{Pedir} * \text{Pedidos P} + \text{Obsolescencia} > \text{Mantener}$
5. Continuo = +1
6. Else:
7. Periódico = +1
8. Si hay restricciones del proveedor ( $\text{Restricción} = \text{True}$ ):
9. Periódico = +1
10. Else:
11. Continuo = +1
12. Si  $\text{Obsolescencia} > \text{Mantener} + \text{Pedir}$ :
13. Continuo = +1
14. Else:
15. Periódico = +1
16. Si el valor de  $\text{Smáx.} > \text{SS} + \text{Q}$ :
17. Continuo = +1
18. Else:
19. Periódico = +1
- Resultado:
20. Si Continuo > Periódico
21. Aplicar modelo de revisión periódica
22. De lo contrario:
23. Aplicar modelo de revisión continua
24. Si el material es de clase C:
25. Aplicar modelo de revisión periódica

Fuente: elaboración propia.

Los costos incluirán tres tipos de gastos, como muestra la tabla 4: costo de mantener inventario, costo de hacer un pedido y costo de obsolescencia. En los costos de mantener inventario, se debe considerar el valor pago en cada bodega para mantener los

servicios, como el valor del arriendo, por ejemplo, y el valor que se paga con el personal responsable por cuidar y manipular el inventario. En nuestro caso de aplicación, la empresa posee bodegas propias, por lo tanto, no tienen gastos de arriendo e incurren apenas el valor de los impuestos y los servicios; mientras que, en el valor de personal, se debe tener en cuenta el costo de pago del auxiliar y del jefe de cada bodega. Ya en los costos de pedido, se incluye el valor relacionado con la estructura administrativa necesaria para mantener el personal de compra. Por fin, el costo de obsolescencia llevará en consideración apenas el valor de compra, que sería perdido en caso de que el material se volviera obsoleto en inventario y ya no pudiera ser utilizado o vendido.

Las líneas 1 y 2 de la tabla 7 definen que la mejor política a ser adoptada para los materiales de clase A es la de revisión continua. Esta decisión está basada en los criterios ya presentados, como el alto costo de los materiales de esta clase, que hace inviable mantener altos niveles de inventario necesarios para un modelo de revisión periódica, y la alta criticidad de los materiales para la operación, que necesita monitoreo constante de sus niveles de inventario.

Así mismo, los materiales de esta clase incluyen productos de alta tasa de cambio tecnológico que, en consecuencia, puede llevar a altos niveles de obsolescencia en inventarios de gran cantidad. Lo ideal para este tipo de material es hacer pedidos continuamente para estar siempre renovando los niveles tecnológicos de las máquinas y materiales en general. El resultado obtenido por la interacción de todos estos criterios aliados al resultado de la simulación realizada permite concluir que este tipo de revisión es lo más adecuado para estos materiales.

Ya en la clase B, hay materiales de alto y de bajo valor de compra, de uso frecuente y de uso no tan frecuente, que atingen la obsolescencia en intervalos de tiempo cortos y largos, con lo que atraen la necesidad de un criterio de decisión diferenciado y no tan sencillo. Las líneas de la 3 a la 23 de la tabla 7 definen estos criterios según una serie de condiciones. La decisión final llevará en consideración la comparación entre cada una de ellas, por ejemplo, el hecho de que para

algunos materiales la adopción de una revisión periódica acarrearía altos valores de inventario, y para otros los costos necesarios para mantener una revisión continua serían más altos que los ahorrados en relación con el valor de inventario en la política de revisión periódica. Así, el método busca puntuar las características más importantes para cada material y así comparar las dos revisiones según su puntaje final.

El algoritmo empieza con dos variables, *periódico* y *continuo*, de valor cero, que representan cada una de las políticas de revisión y que aumentan su valor de acuerdo con la respuesta obtenida en cada condicional. La política que tenga mayor puntaje, es decir, que contenga el mayor número de características relevantes en este material, será la política más adecuada para este producto.

Ya para los materiales de clase C, el criterio será siempre aplicar el modelo de revisión periódica, como recomiendan las líneas 24 y 25 de la tabla 7. Esta decisión se justifica por la baja criticidad y relevancia de estos materiales en la empresa. Así, aunque sean materiales de alto costo, es más benéfico para la empresa hacer pocas compras en gran cantidad, a fin de cubrir la operación de estos materiales por un espacio de tiempo más largo. Esta práctica también facilita la relación con los proveedores, que prefieren vender tales materiales por acuerdos marco de precio y en gran cantidad.

Además, el resultado de las simulaciones en diversos escenarios posibles también sirve de base para que esta decisión sea tomada de manera acertada, ya que los niveles de inventario no cambian tanto entre las dos revisiones y que la periódica es la más económica de adoptarse. Para estos materiales, se recomienda también su inclusión en la planeación de los materiales considerados de uso ‘determinístico’ por la empresa, pues tienen cierto grado de previsibilidad de uso y se consumen pocas unidades durante el año. La única desventaja de tener un alto nivel de inventario de estos materiales sería la alta ocupación del espacio físico de la bodega, dadas sus grandes dimensiones. Sin embargo, los costos de ocupación de inventario no son relevantes para la empresa, ya que todas las bodegas son propias y no presentan aumento significativo

en el costo fijo de una bodega que esté, por ejemplo, 30 o 90% ocupada. Así que la manera más recomendable de mantener el inventario a cubierto para esta clase es adoptar una política de revisión periódica, con lo que se garantizan menores costos de pedido, de transporte y de personal de mantenimiento.

## Conclusiones y recomendaciones

Este trabajo propone un método estructurado de selección de políticas de inventarios para una empresa que mantiene una gran cantidad de productos en inventario, con las más diversas características de dimensión, cantidad y valor monetario, y en ese sentido son los aportes de este trabajo. La metodología propuesta está basada en un análisis observacional para una empresa, que proponemos y consideramos que puede ser extensible a empresas con características similares. A futuro, como trabajo a explorar, se debe analizar la conveniencia en empresas similares, identificando restricciones y situaciones particulares a tener en cuenta.

Con respecto a resultados observados tras aplicar la metodología, una vez realizados los estudios de clasificación, *lead time* y diferentes políticas de inventario, se pudo notar que medidas como la disminución del *lead time* influyen mucho más en los ahorros de inventarios que la definición de un modelo de inventario muy complejo.

El algoritmo de decisión final deja claro que, para algunas clases, tener en cuenta apenas uno de los criterios de selección no es la manera más adecuada de decidir. La adecuada toma de decisión de cuál política aplicar a determinados materiales implica llevar en consideración una combinación de todos los criterios investigados.

Como recomendaciones, es importante resaltar que cada material debe ser revisado en la exacta periodicidad propuesta; así, el cálculo del *lead time* podrá garantizar mejor exactitud en las llegadas de los materiales. El estudio profundizado de los tiempos de proceso permitió los hallazgos de muchos tiempos muertos

en la cadena, que no agregan a la cadena de valor y pueden ser optimizados.

Además, para la perfecta ejecución de la política continua a los materiales que sea necesario, lo ideal sería generar una alarma en el sistema de la empresa, que avise automáticamente al proveedor siempre que el nivel de inventario de estos productos llegue al punto de reorden. Determinar un plazo de revisión que sea ideal para cada familia de material de la política periódica también es de crucial importancia.

Finalmente, los valores detallados de los tiempos de proceso obtenidos por el estudio pueden, y deben, servir de anclaje para los contratos marcos de precio realizados para aquellos materiales que tengan esta estrategia de compra definida como la más adecuada.

## Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo ofrecido por OCENSA en la elaboración de esta investigación. Este artículo se deriva del trabajo realizado en la tesis de la autora Tercia Emanuelle Ribeiro Alves, realizada en el año 2020 en la Universidad de los Andes bajo la dirección de Ciro Alberto Amaya.

## Referencias

- Adur Kannan, B., Kodi, G., Padilla, O., Gray, D. y Smith, B. C. (2020). Forecasting spare parts sporadic demand using traditional methods and machine learning-a comparative study. *SMU Data Science Review*, 3(2), 9. <https://scholar.smu.edu/datasciencereview/vol3/iss2/9/>
- Ali, U., Salah, B., Naeem, K., Khan, A. S., Khan, R., Pruncu, C. I., Abas, M. y Khan, S. (2020). Improved MRO inventory management system in oil and gas company: Increased service level and reduced average inventory investment. *Sustainability*, 12(19), 8027. <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/19/8027>
- Amirkolaii, K. N., Baboli, A., Shahzad, M. K. y Tonadre, R. (2017). Demand forecasting for irregular demands in business aircraft spare parts supply chains by using artificial intelligence (AI). *IFAC-PapersOnLine*, 50(1), 15221-15226. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.08.2371>
- Avery, S. (2006). More ammunition for outsourcing MRO. *Purchasing*, 135(5), 36-37. <https://www.beroeinc.com/whitepaper/mro-distributors-vs-mro-integrators/>
- Bacchetti, A. y Saccani, N. (2012). Spare parts classification and demand forecasting for stock control: investigating the gap between research and practice. *Omega*, 40(6), 722-737. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2011.06.008>
- Betancourt, D. F. (2018). *Sistema de revisión continua de inventarios: definición, métodos y ejemplos*. <https://www.ingenioempresa.com/sistema-de-revision-continua/>
- Boylan, J. E. y Syntetos, A. A. (2008). Forecasting for inventory management of service parts. *Complex system maintenance handbook* (K. A. Helmy Kobbacy y D. N. Prabhakar Murthy (eds.); pp. 479-506). Springer.
- Cao, L. I. y Fuzeto, A. P. (2017). Inventory management model: A case study at a metallurgical company in the interior of the state of São Paulo. *Revista Produção em Destaque*, 1(1), 15-37. <https://www.unifafibe.com.br/revistasonline/arquivos/revistaproducaoemdestaque/sumario/53/22052019162344.pdf>
- Chen, J., Gusikhin, O., Finkenstaedt, W. y Liu, Y.-N. (2019). Maintenance, repair, and operations parts inventory management in the era of industry 4.0. *IFAC-PapersOnLine*, 52(13), 171-176. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.171>
- Conceição, S. V., Da Silva, G. L. C., Lu, D., Nunes, N. T. R. y Pedrosa, G. C. (2015). A demand classification scheme for spare part inventory model subject to stochastic demand and lead time. *Production Planning & Control*, 26(16), 1318-1331. <https://doi.org/10.1080/09537287.2015.1033497>
- Coyle, J. J., Bardi, E. J. y Langlay, C. J. (2003). The management of business logistics. A supply chain perspective. South-Western College Pub.
- Gan, S., Zhang, Z., Zhou, Y. y Shi, J. (2015). Joint optimization of maintenance, buffer, and spare parts for a production system. *Applied Mathematical Modelling*, 39(19), 6032-6042. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2015.01.035>
- García-Sabater, J. P., Cardós Carboneras, M., García Sabater, J. J. y Albarracín Guillem, J. M. (2020). *Gestión de stocks de demanda independiente*. Editorial Universitat Politècnica de València.
- Garrido Bayas, I. Y. y Cejas Martínez, M. (2017). La gestión de inventario como factor estratégico en la administración de empresas. *Negotium: Revista de Ciencias Gerenciales*, 13(37), 109-129. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=78252811007>

- Hamad, R. y Fares Gualda, N. D. (2011). Modelagem de redes logísticas com custos de inventário calculados a partir da cobertura de estoque. *Production*, 21(4), 667-675. <https://doi.org/10.1590/S0103-65132011005000011>
- Huiskonen, J. (2001). Maintenance spare parts logistics: Special characteristics and strategic choices. *International Journal of Production Economics*, 71(1-3), 125-133. [https://doi.org/10.1016/S0925-5273\(00\)00112-2](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(00)00112-2)
- Kotsifaki, M., Dimitriadis, N., Ketikidis, P. H. y Missopoulos, F. (2007). Logistics strategic planning: Current status and future prospects in Greek companies. *International Journal of Risk Assessment and Management*, 7(1), 44-58. <https://doi.org/10.1504/IJRAM.2007.011409>
- Ling, L., Liu, M., Shen, W. y Cheng, G. (2017). An improved stochastic programming model for supply chain planning of MRO spare parts. *Applied Mathematical Modelling*, 47, 189-207. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2017.03.031>
- Roebuck, B. (2011). Maintenance repair overhaul. *Machinery and Equipment MRO*.
- Saunders, M. J. (Ed.). (1997). *Strategic purchasing and supply chain management*. Financial Times Pitman.
- Sharma, R. y Govindaraju, N. (2020). Maintenance planning activity using intelligent support system. *International Journal of Mechanical Engineering*, 5(2), 83-88. <https://kalaharijournals.com/resources/ijme%20v5-2-7.pdf>
- Suárez-Cervera, M. L. (2012). *Gestión de inventarios: una nueva fórmula de calcular la competitividad*. Ad-Quelite.

# Diseño y construcción de un sistema portátil para curado automático de materiales compuestos

| Fecha de recibido: 09 de julio del 2021 | Fecha de aprobación: 20 de noviembre del 2021 |

**Andrés Marcelo Carranco Herrera**

Magíster en Dirección Logística e Ingeniero en Mecatrónica

Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana

Ecuador

Rol del investigador: teórico, experimental, escritura

✉ [acarranco@fae.mil.ec](mailto:acarranco@fae.mil.ec)

**Cómo citar este artículo:** Carranco Herrera, A. M. (2022). Diseño y construcción de un sistema portátil para curado automático de materiales compuestos. *Ciencia y Poder Aéreo*, 17(1), 81-97. <https://doi.org/10.18667/cienciaypoderaereo.741>



## Diseño y construcción de un sistema portátil para curado automático de materiales compuestos

## Design and construction of a portable system for automatic curing of composite materials

## Projeto e construção de um sistema portátil para cura automática de materiais compostos

**Resumen:** La Fuerza Aérea Ecuatoriana (FAE), entidad líder a nivel nacional para el desarrollo aeroespacial, busca disminuir constantemente la dependencia tecnológica para el mantenimiento aeronáutico; y es en este punto que se vuelve necesario desarrollar todo tipo de herramientas tecnológicas que apoyen tareas de supervisión y mantenimiento. Una de las áreas prioritarias para la FAE es la de materiales compuestos empleados ampliamente en la fabricación de productos aeronáuticos; por ello, se plantea el diseño y la construcción de un sistema portátil para el curado automático de materiales compuestos, a fin de contribuir a la investigación, caracterización, manufactura y reparación de componentes aeronáuticos. Para alcanzar las mejores propiedades mecánicas que requiere un producto aeronáutico, a fin de que soporte las cargas a las que se verá sometido el material durante una operación de vuelo, es fundamental conseguir un buen desempeño del proceso de curado. Para el desarrollo del sistema, se utilizó una metodología conceptual con diversas alternativas de solución, orientando el esfuerzo a bosquejar, dimensionar el equipo y elegir el mejor concepto del producto. Una vez definido el concepto, se materializó el sistema precisando los subsistemas de control de vacío, que permite una redistribución de la matriz en las fibras de refuerzo del material compuesto durante el curado; el subsistema de tratamiento térmico se encarga de incrementar la temperatura del *composite* a fin de alcanzar las propiedades mecánicas necesarias. La automatización del proceso de curado de materiales compuestos genera óptimos resultados, y logra un equipo versátil, útil y robusto. Finalmente, al emplear el equipo para el propósito que fue diseñado, se evidencia la eficiencia que se tiene en el curado de materiales compuestos de manera automatizada frente a un curado manual a temperatura ambiente.

**Palabras clave:** control de vacío; curado; materiales compuestos; sistema portátil automático; tratamiento térmico.

**Abstract:** The Ecuadorian Air Force (EAF), a leading entity at the national level for aerospace development, constantly seeks to reduce technological dependence for aeronautical maintenance. It is at this point that it becomes necessary to develop all kinds of technological tools that support supervision and maintenance tasks. One of the priority areas for the FAE is composite materials widely used in the manufacture of aeronautical products. For this reason, the design and construction of a portable system for the automatic curing of composite materials is proposed to contribute to the research, characterization, manufacture and repair of aeronautical components. To achieve better mechanical properties required by an aeronautical product in order to withstand the loads to which the material will be subjected during a flight operation, it is essential to achieve good performance in the curing process. For the development of the system, a conceptual methodology was used, proposing various solution alternatives, directing the effort to sketch, size the equipment and choose the best product concept. Once the concept was defined, the system was materialized specifying the vacuum control subsystems that allow a redistribution of the matrix in the reinforcing fibers of the composite material during curing; the heat treatment subsystem is responsible for increasing the temperature of the composite in order to achieve the necessary mechanical properties. The automation of the curing process of composite materials generates optimal results, achieving versatile, useful and robust equipment. Finally, when using the equipment for the purpose for which it was designed, the efficiency of curing composite materials in an automated manner is evident compared to manual curing at room temperature.

**Keywords:** Vacuum control; curing; composite materials; automatic portable system; heat treatment.

**Resumo:** A Força Aérea Equatoriana (FAE), entidade líder em nível nacional para o desenvolvimento aeroespacial, busca constantemente reduzir a dependência tecnológica para manutenção aeronáutica. Torna-se necessário então desenvolver todos os tipos de ferramentas tecnológicas que apoiem as tarefas de supervisão e manutenção. Uma das áreas prioritárias para a FAE é a de materiais compostos, amplamente utilizados na fabricação de produtos aeronáuticos. É por isso que se propõe o projeto e construção de um sistema portátil para a cura automática de materiais compostos para contribuir com a pesquisa, caracterização, fabricação e reparo de componentes aeronáuticos. Para atingir as melhores propriedades mecânicas exigidas por um produto aeronáutico, a fim de suportar as cargas a que o material será submetido durante uma operação de voo, é essencial obter um bom desempenho no processo de cura. Para o desenvolvimento do sistema, foi utilizada uma metodologia conceitual, propondo várias alternativas de solução, direcionando o esforço a esboçar e dimensionar o equipamento, e escolher o melhor conceito de produto. Uma vez definido o conceito, materializou-se o sistema especificando os subsistemas de controle de vácuo, que permitem uma redistribuição da matriz nas fibras de reforço do material composto durante a cura. O subsistema de tratamento térmico é responsável por aumentar a temperatura do composto para atingir as propriedades mecânicas necessárias. A automação do processo de cura de materiais compostos gera ótimos resultados, obtendo equipamentos versáteis, úteis e robustos. Por fim, ao utilizar o equipamento para a finalidade para a qual foi projetado, fica evidente a eficiência da cura de materiais compostos de forma automatizada, em relação à cura manual à temperatura ambiente.

**Palavras-chave:** Controle de vácuo; cura; materiais compostos; sistema portátil automático; tratamento térmico.

## Introducción

La Fuerza Aérea Ecuatoriana (FAE), institución centenaria, históricamente ha cumplido a cabalidad su misión institucional de desarrollar la capacidad militar aeroespacial. Infortunadamente, en las últimas décadas ha existido un incremento en la dependencia tecnológica extranjera, lo que evidencia la necesidad de realizar reparaciones y mantenimiento de la mayoría de aeronaves, equipos y componentes aeronáuticos en las organizaciones de diseño y/o producción aeronáutico de origen extranjero, con los consecuentes gastos onerosos para la institución.

Hace pocos años, la FAE empezó la investigación enfocada en el área de materiales compuestos, cuya aplicación es muy amplia en sistemas aeronáuticos. Este proyecto pretende ampliar el tipo de reparaciones menores a otro tipo de reparaciones de mayor complejidad en las aeronaves de la FAE que tienen componentes fabricados con materiales compuestos. Una de las fases críticas en el procesamiento de materiales compuestos se conoce como curado y es en la cual los *composites* adquieren sus propiedades mecánicas finales. Por tanto, el presente estudio será de valor para mejorar las tareas de reparación y mantenimiento en componentes aeronáuticos y lograr una optimización de los recursos institucionales (Criollo y Yáñez, 2019).

La necesidad de disminuir la dependencia tecnológica en reparaciones de materiales compuestos para la caracterización del material compuesto, la identificación de los daños estructurales más recurrentes y la creación de componentes de material compuesto genera la necesidad de investigar en este campo de la ciencia, y desarrollar en la FAE material compuesto que posea iguales o mejores propiedades mecánicas que los productos de los fabricantes aeronáuticos y que sean utilizados como parches de reparación aeronavegables.

Los materiales compuestos son una combinación de dos o más elementos que tienen propiedades físicas, químicas y mecánicas específicas, que al combinarse obtienen propiedades que traen ventajas frente a materiales tradicionales como metales, cerámicos,

etc. Generalmente, en el material compuesto (MC) se distingue una fase continua (matriz), que son resinas epóxicas y resinas cobaltosas unidas a la fase discontinua (fibras o refuerzos), como fibra de vidrio, fibra de carbono, fibra de aramida, etc.

Con el antecedente planteado, un material compuesto es una combinación de dos o más fases químicamente distintas e insolubles con una interfaz reconocible, de manera que sus propiedades mecánicas son superiores a las de sus componentes cuando actúan de modo independiente (Kalpakjian y Steve, 2008).

El proceso de curado de materiales compuestos inicia con una etapa de conceptualización en la que se definen los componentes (matriz-refuerzo) del MC, considerando las propiedades mecánicas para alcanzar temperaturas requeridas, dimensiones del refuerzo y peso de la matriz a usarse. Sigue la etapa de manufactura del MC, en la que se preparan moldes y se realizan los laminados correspondientes. Finalmente, se tiene la etapa de curado, en la cual aplicando presión de vacío se absorbe todo el aire en los laminados y se redistribuye de mejor manera la matriz (resinas) en el MC; esto ayuda a obtener mejores propiedades mecánicas de los laminados y menor espesor. En paralelo, se realiza la aplicación de energía calorífica que produce la solidificación de la matriz y la unión de refuerzo y matriz para concluir en un MC.

Llevar a cabo un control automático del proceso de curado del material laminado para reparaciones estructurales tiene su importancia, en vista de que, al controlar los procesos de vacío y tratamiento térmico, los componentes laminados pueden obtener mejores propiedades mecánicas como materiales compuestos para reparaciones en componentes aeronáuticos.

El sistema portátil para el curado automático de MC consiste en un gabinete eléctrico metálico robusto al cual se le adaptaron garruchas, que permiten su transporte del taller al hangar o a la línea de vuelo para realizar reparaciones en sitio. Dispone de un cable de alimentación eléctrica, que permite energizar los subsistemas de vacío, tratamiento térmico, control e interfaz con el usuario. Dispone también de una interfaz humano-máquina (HMI: *human-machine interface*), que permite una fácil adaptación y comprensión del

funcionamiento al operador, el mismo que a partir de la información técnica (*datasheet*) de fibras y refuerzos a usarse, ingresa los datos para los tratamientos térmicos (rampas de temperatura) requeridos para el curado automático del mc.

El programa de curado de materiales compuestos requiere la generación de presión de vacío permanente, a fin de redistribuir de mejor manera la resina interlaminar que se coloca en los tejidos del refuerzo constante y, a su vez, se realiza el tratamiento térmico controlado en el laminado. Con este proceso, es posible conseguir mejorar propiedades mecánicas como la resistencia a la flexión, la resistencia a la tensión y compresión, y la resistencia al corte, a las que son sometidos componentes constituidos por materiales compuestos, como las alas de una aeronave en vuelo, y por componentes aeronáuticos menores.

En los equipos portables que se destinan para reparaciones de materiales compuestos de pequeño y hasta mediano calado, se encuentran equipos que de manera individual controlan las variables que actúan dentro del proceso de curado. Por ejemplo, se dispone de termostatos o controladores para mantas térmicas, bombas/generadores de vacío, etc. Así, también existen equipos que son capaces de controlar temperatura y vacío simultáneamente en periodos determinados de tiempo, y que son comercialmente distribuidos en el mercado internacional, más conocidos como Hot-Bonder, los mismos que son desarrollados para las aplicaciones aeronáuticas, automotrices y otras. Estos equipos tienen capacidades similares a las de los equipos más grandes y tradicionales (autoclaves), al tiempo que ofrecen portabilidad. (Briskheat, n.d.)

Su diseño y tamaño práctico permiten que un equipo reducido de técnicos pueda disponer del equipo en mención y trasladarse a lugares donde no hay las facilidades de un horno o una cámara autoclave para realizar el trabajo de curado de mc. Desde un punto de vista logístico, esto resulta relativamente económico en escenarios donde las aeronaves no pueden permanecer paradas luego de un percance, en cumplimiento de la planificación de las operaciones aéreas.

Una vez concluido el proceso de curado en este proyecto de investigación, se procedió a la caracterización y el análisis de las propiedades del mc. Fue

necesario aplicar ensayos destructivos a las probetas, que se desarrollaron para definir sus propiedades mecánicas. Los ensayos mecánicos simulan situaciones reales a las que se sometería el material utilizando equipos adecuados que certifiquen la validez de los resultados (Dávila *et al.*, 2011).

En este aspecto, se analizaron los diferentes ensayos estáticos que se podrían realizar para determinar las propiedades mecánicas. El ensayo a compresión es un método que permite definir las propiedades mecánicas del material como: resistencia máxima a la compresión, deformación por compresión máxima, módulo de elasticidad a compresión, relación de Poisson en compresión y deformación de transición. Este ensayo se lleva a cabo bajo los lineamientos de la norma ASTM D3410/D3410M (American Society for Testing and Materials [ASTM], 2016).

El ensayo de flexión se utiliza para comprobar la resistencia de las fibras exteriores del laminado y el módulo de Young de materiales compuestos homogéneos y poliméricos. La probeta en este ensayo aplica una carga hasta alcanzar la mayor deformación de las fibras en las laminaciones exteriores. El ensayo a flexión se realiza con base en la norma ASTM D790-17 “*Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials*” (American Society for Testing and Materials, 2021).

Finalmente, el ensayo analizado y aplicado en este proyecto de investigación fue el ensayo de tensión (tracción), el cual representa uno de los métodos destructivos más eficientes para establecer las propiedades mecánicas del material, ya que se somete a una probeta normalizada a una carga axial de tensión hasta producir la rotura (Carvajal, 2020). Dicho ensayo se realizó con base en la norma ASTM D3039/D3039M-14, con la cual se determinan las propiedades mecánicas de componentes sometidos a tracción (American Society for Testing and Materials, 2019).

Esta norma entrega los lineamientos de la geometría y la cantidad necesaria de probetas a ensayarse para obtener resultados confiables. Así, estipula cinco ensayos efectivos para validar los resultados y considera también dimensiones de las probetas a ensayarse (largo, ancho y espesor), material y orientación de las fibras, etc.

## Método y descripción de la metodología

### Diseño del sistema

El desarrollo del sistema busca alcanzar principalmente un diseño óptimo, modularidad, facilidad de uso y seguridad industrial. Para ello, fue necesario estudiar las especificaciones técnicas de los materiales previo al diseño e implementación de la maleta portátil para el curado del mc. Así también se analizó el *software* que se utiliza en el desarrollo del control, y junto al HMI, se busca un equipo robusto desde el punto de vista físico-estructural y a la vez versátil desde la perspectiva del usuario en el manejo del sistema.

### Modularidad

Los equipos y sistemas del sector industrial día a día se proyectan hacia la reducción de los tamaños físicos de sus componentes y hacia la mejora de los diversos sistemas. Una manera óptima de lograr este cometido es por medio del modularidad, que permite analizar y dar mantenimiento al sistema, de modo que no se interrumpa el funcionamiento de los demás subsistemas, teniendo en cuenta constantemente las características establecidas por el fabricante de manera independiente. En su disposición funcional (véase figura 1), el sistema utiliza energía eléctrica, materiales y señales de entrada para a través del proceso funcional intrínseco obtener materiales compuestos con propiedades mecánicas específicas.

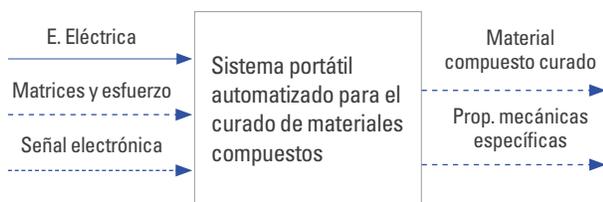


Figura 1. Estructura funcional sistema portátil automatizado de curado de MC  
Fuente: elaboración propia.

### Subsistema de vacío

El sistema de vacío se diseñó de tal manera que el control de los parámetros (presión y caudal) logren su funcionamiento eficiente. El objetivo principal del subsistema de vacío es realizar la redistribución de la matriz que se presenta en estado líquido en los espacios interlaminares de las fibras de refuerzo y retirar la formación de burbujas de aire en los materiales compuestos con el fin de obtener óptimas propiedades mecánicas en los laminados, se observa la estructura funcional de mencionado subsistema

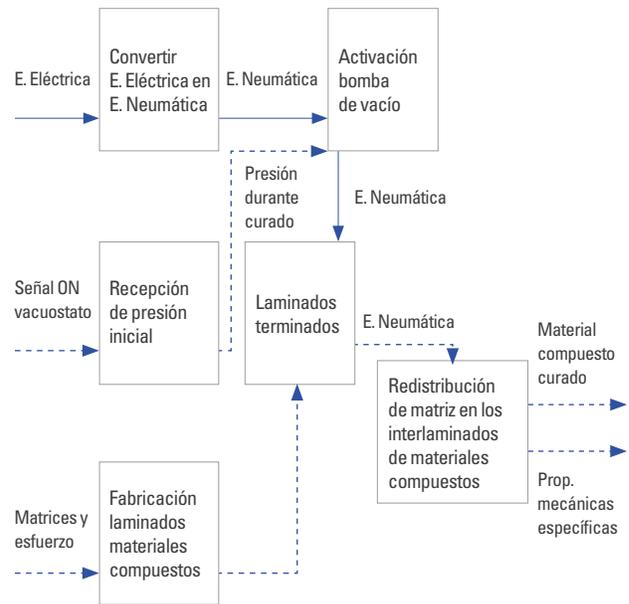


Figura 2. Estructura funcional subsistema de vacío  
Fuente: elaboración propia.

El subsistema de vacío para el curado de los materiales compuestos está conformado por una bomba de vacío, un acumulador de vacío, un interruptor de presión de vacío (vacuostato), un instrumento de medición de presión de vacío (vacuómetro), ventosas, mangueras de conexión y bolsas de vacío, además de algunos accesorios (sellos, mangueras y racores), como se observa en la figura 3. Estos elementos permiten establecer las condiciones físicas necesarias para realizar el curado de materiales compuestos por vacío.

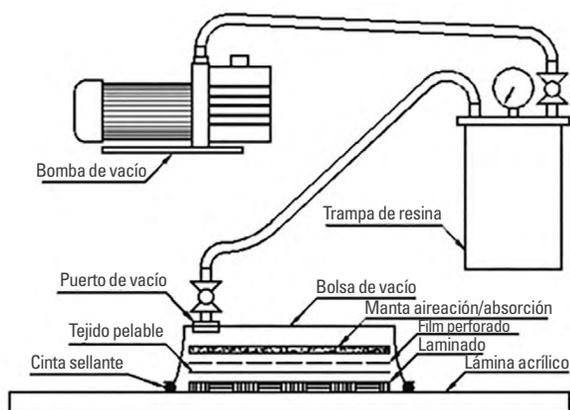


Figura 3. Esquema general de un sistema de bolsa de vacío

Nota. Principales componentes de un subsistema de vacío.

Fuente: Tomado de Arruti (2016, p. 24).

Para una optimización de los equipos, se hizo el levantamiento de la información de la cantidad de tiempo que la bomba permanece prendida en los procesos de curado; se determinó que la bomba permanece encendida como mínimo de 30 a 45 minutos y alcanza fácilmente los 100 °C de temperatura en funcionamiento constante, y al ser refrigerada por aire, se ve limitado su tiempo de vida útil. Así, se hicieron pruebas de campo para determinar la tendencia al incremento de temperatura durante un periodo de 20 minutos, con lo que se obtuvieron los valores definidos en la tabla 1.

Tabla 1. Incremento de temperatura de bomba de vacío Becker VT 4.8 en funcionamiento continuo

ORD	Tiempo (min)	Temperatura (°C)
1	1	36
2	2	44
3	4	57
4	6	68
5	8	77
6	10	84
7	12	90
8	15	97
9	18	99
10	20	99

Fuente: elaboración propia.

Como se evidencia, la temperatura de operación sobre los 15 minutos se mantiene casi constante sobre los 95 °C, lo cual está limitando el tiempo de vida útil de la bomba. Por este motivo, se diseñó un circuito de control electrónico-neumático que es automatizado por la acción del vacuostato, que define una presión de vacío mínima a la que se desea prender la bomba y otra presión de vacío máxima que bordeará los 28-30 pulgadas de mercurio (Hg) a nivel del mar y varía en función de la altitud del lugar de prueba.

Al ser esto una parte fundamental pero aún insuficiente, fue necesario utilizar un tanque reservorio de vacío, el cual acumula el vacío interior a través de la operación de la bomba para después alimentar y producir o mantener el vacío a los enfundados del laminado de materiales compuestos. De esta forma, se optimizó el funcionamiento de la bomba de vacío, se incrementó su tiempo de vida útil y se evitó el recalentamiento que se evidenciaba cuando se operaba manualmente.

En la figura 4, se puede observar el diseño de la conexión neumática del subsistema de vacío para corroborar lo antes mencionado.

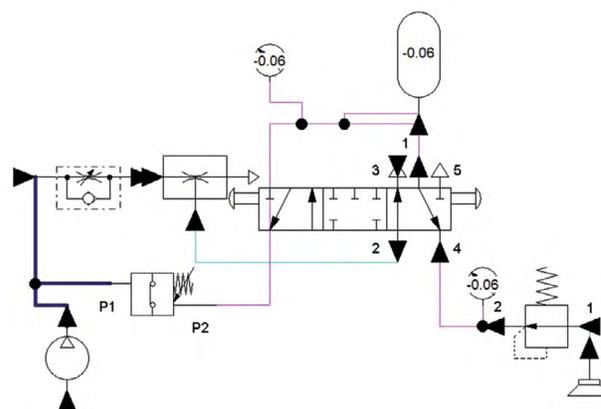


Figura 4. Diseño de circuito neumático

Fuente: elaboración propia.

La bomba que se usa es una bomba de vacío de paletas sin aceite y refrigerado por aire, cuyas características técnicas y de operación se resumen en la tabla 2.

Tabla 2.  
Características técnicas de la bomba de vacío

ORD	Magnitud	Valor	Unidades
1	Tensión nominal	120	Voltios
2	Potencia	420	Watts
3	Fase	1	
4	Masa	11,5	Kilogramos
5	Máximo volumen de aspiración	9,1	Metros cúbicos / hora
6	Revoluciones máx.	3200	RPM

Fuente: VT 4.8. Becker (<https://www.becker-international.com/de/en/>).

### Acumulador de vacío

Con la finalidad de brindar a la bomba de vacío un tiempo apreciable de reposo y que no permanezca encendida durante el proceso de curado de materiales compuestos, se utiliza un tanque acumulador de vacío metálico para conectar a la bolsa de vacío que contiene el laminado de materiales compuestos.

### Vacuómetro

El vacuómetro es el instrumento de medición que se utiliza para medir presiones de vacío o negativas. La presión de vacío es inferior a la presión atmosférica.

### Vacuostato

El vacuostato controla automáticamente la acción de una bomba de vacío para prenderla y apagarla según se disponga de los valores de presión predeterminados mecánicamente a través de tornillos.

### Mangueras

Para la conducción del aire en el proceso de vacío, es necesario utilizar mangueras de poliuretano para conexión entre la bomba, el tanque acumulador de vacío, el proceso enfundado de laminado, el vacuostato y el vacuómetro.

### Ventosas

Las ventosas son componentes que, tras aplicar una presión negativa del aire (vacío), se adhieren a las

superficies poco porosas. La diferencia de presión entre la atmósfera en el exterior de la ventosa y la cavidad de baja presión en el interior de la estructura es lo que mantiene la ventosa sujeta a la superficie.

### Subsistema de tratamiento térmico

El objetivo principal del subsistema de tratamiento térmico es generar un programa de calentamiento a los laminados, de tal forma de endurecer y compactar la matriz del MC con las fibras de refuerzo en un solo, para alcanzar óptimas propiedades mecánicas en los laminados, en la figura 5 se observa la estructura funcional de mencionado subsistema.

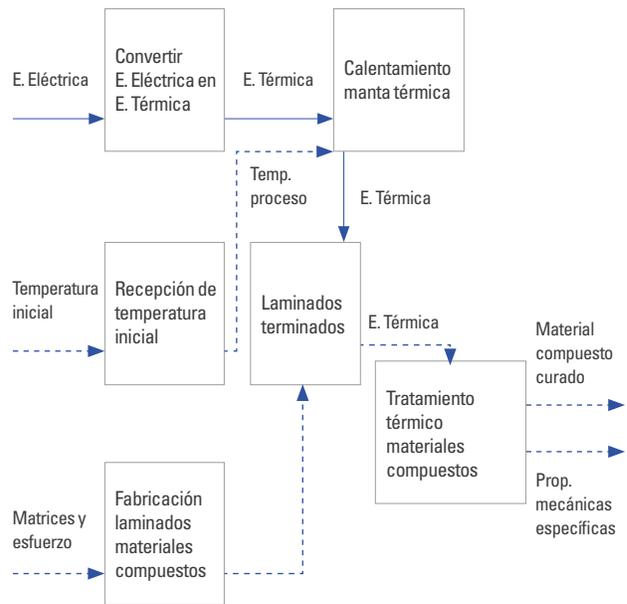


Figura 5. Estructura funcional del subsistema de tratamiento térmico  
Fuente: elaboración propia.

El subsistema de tratamiento térmico consta de actuadores principales como la manta térmica que, por conducción directa de calor, incrementa la temperatura del laminado de matriz y refuerzo combinados. Se realiza el curado apegado a las rampas de temperatura establecidas para alcanzar unas propiedades mecánicas específicas. Un esquema de este proceso se observa en la figura 6.



Figura 6. Esquema general del sistema térmico  
 Nota: Principales componentes del subsistema térmico.  
 Fuente: elaboración propia.

Para la activación de las mantas, la maleta de curado automático permite el paso de corriente alterna a través de un SSR (relé de estado sólido), que hace las veces de interruptor para la alimentación de la manta de acuerdo con la señal de salida emitida desde el controlador lógico programable (PLC).

### Manta térmica

La manta térmica está compuesta por resistencias eléctricas flexibles que están completamente cubiertas por una capa de silicón que ayuda a redistribuir el calor generado durante su alimentación eléctrica, transformando la energía eléctrica en energía térmica. La manta térmica o calefactora dispone de un cordón eléctrico de alimentación con cables que tienen un aislante especial capaz de soportar temperaturas superiores a los 150 °C.

### Termopar tipo J

Un termopar es el tipo de sensor de temperatura más usado en la industria. Suele estar formado por dos

conductores de distinto material, cuyo extremo se encuentra unido mediante una soldadura (Alzate et al., 2007).

### Desarrollo del algoritmo

El desarrollo del algoritmo parte de la gráfica mostrada en la figura 7, la cual está formada por tres rampas de ascenso de temperatura, cuatro estados estacionarios de temperatura y una rampa de descenso de temperatura. Se puede observar que el primer estado estacionario corresponde a un estado inicial, que puede ser interpretado como la temperatura ambiente hasta un instante de inicio del sistema. Secuencialmente, se observan las rampas de temperatura de curado del mc con sus consecuentes temperaturas de estado estable.

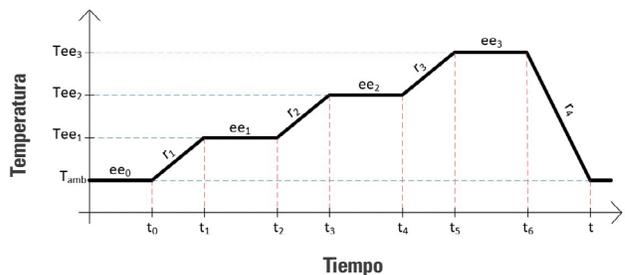


Figura 7. Rampas del sistema de curado  
 Fuente: elaboración propia.

Se optó por el diseño de un sistema que simule de manera digital el comportamiento de una rampa analógica. Por lo tanto, cada rampa de incremento de temperatura está conformada por un grupo de escalones, tal como se observa en la figura 8.

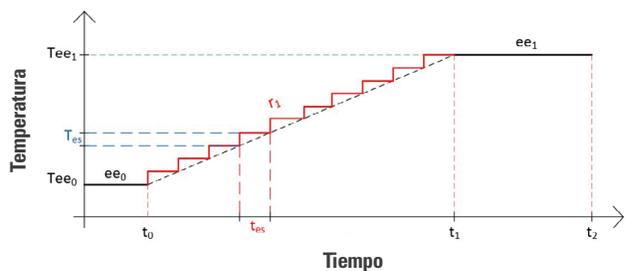


Figura 8. Rampas del sistema de curado  
 Fuente: elaboración propia.

La principal característica de estos escalones es que todos tienen el mismo incremento de temperatura en un intervalo de tiempo, cuya duración es la misma para todos los que conforman la simulación de rampa.

## Control PID temperatura

Los estados estacionarios de temperatura corresponden a los valores ingresados por el usuario desde la interfaz de usuario HMI, en los cuales la temperatura se mantiene estable por un determinado intervalo de tiempo. Para que las mantas térmicas mantengan los estados estacionarios, es indispensable el uso de un controlador, y se empleó un controlador PID.

## Subsistema de alojamiento e interfaz de usuario

En el diseño y la elección de los sistemas de alojamiento e interfaz, se partió del criterio de uso de estándares, funcionalidad y utilidad. Debido a la aplicación del sistema, se requiere tener características de portabilidad, lo cual condiciona y limita el peso y las dimensiones del equipo. Por ello, se ha optado por el uso de un equipo de alojamiento estándar en la industria para aplicaciones como esta. Únicamente se han realizado modificaciones correspondientes para tomacorrientes, puntos de conexión neumático, instrumentos de medición y HMI. El sistema de alojamiento seleccionado es un gabinete metálico de dimensiones 400 x 600 x 200 mm.

## Interfaz con el usuario

En vista de que el equipo será operado por personal variado, se necesita una HMI que sea interactiva, fácil de entender y que cumpla con los requerimientos mínimos de seguridad, confiabilidad y eficiencia. Este dispositivo permite hacer diseños de HMI que son bastante gráficos y detallados del proceso que se está realizando y de las acciones que se ejecutan. Además, al ser una pantalla táctil, da mucha accesibilidad y facilidad de uso con cualquier tipo de operador. Así se observa en la figura 9.



Figura 9. Pantallas de interfaz con el usuario HMI

Fuente: elaboración propia.

## Verificación experimental

Para evaluar las virtudes del equipo, se planteó el análisis de dos variables presentes en el proceso de curado de materiales compuestos: presión de vacío y tratamiento térmico; se evaluaron los datos a través del diseño experimental factorial como se tiene en la tabla 3, que permite el estudio del efecto de cada factor sobre las salidas a analizar del experimento. Así, con dos factores y dos niveles en cada factor, el experimento factorial tendrá en total cuatro combinaciones de tratamiento y será un diseño factorial de 2x2.

Tabla 3. Variables DOE factorial 2x2

Factores	Niveles	
Temperatura	65 °C	50 °C
Presión de vacío	19 In. Hg	17 In. Hg

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 4, se observa la matriz de combinaciones de los factores antes mencionados para su posterior ensayo a tracción, a fin de definir las propiedades mecánicas de las probetas.

Tabla 4. Matriz de combinaciones de los factores

Combinación	Temperatura (°C)	Presión de vacío (In. Hg)
1	65	19
2	65	17
3	50	19
4	50	17

Fuente: elaboración propia.

Por otro lado, las propiedades mecánicas a analizar después del ensayo de tracción, y que son también las variables de salida en las que se enfoca el análisis posterior a la aplicación del diseño experimental, son las siguientes:

- Esfuerzo último de tensión
- Módulo de elasticidad

Una vez diseñado y fabricado el sistema portátil para el curado automático de materiales compuestos, se procede a emplear el equipo y a realizar el curado de los materiales compuestos.

## Preparación de las probetas

Inicialmente, se define la cantidad de probetas necesaria para el ensayo a tracción. Para ello, es necesario remitirse a la norma ASTM D3039/D3039M-17 “Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials”. Esta norma entrega los lineamientos de la geometría y la cantidad necesaria de probetas a ensayarse, como se observa en la tabla 5 (ASTM, 2019).

Tabla 5.  
Parámetros de fabricación de probetas

Parámetro	Especificación
Forma	Sección transversal rectangular constante
Largo mínimo	Agarre de las mordazas + 2 veces el ancho
Ancho	A requerimiento
Tolerancia del ancho	$\pm 1\%$ del ancho
Espesor	A requerimiento
Tolerancia del espesor	$\pm 4\%$ del espesor
Espesor del tab.	A requerimiento
Material del tab.	A requerimiento
Orientación de la fibra del tab.	A requerimiento
Ángulo del tab.	5° a 90°, inclusive

Fuente: Norma ASTM D3039/D3039M-17 (ASTM, 2019).

De acuerdo con la norma ASTM D3039, se ensayaron cinco probetas efectivas de dimensiones 130x15 mm, esto debido a que se tendrá una longitud de agarre de la mordaza de 50x15 mm (ASTM, 2019).

Se realizó el laminado utilizando como refuerzo la fibra de vidrio 800 Roving y como matriz la resina de poliéster, distribuyendo equitativamente la resina sobre la superficie completa de las fibras para su posterior enfundado y sellado del material, para aplicar vacío junto al tratamiento térmico y para completar el proceso de curado a través del presente proyecto, como se observa en la figura 10.



Figura 10. Proceso de laminado y preparación para el curado.  
A) Laminación. B) Sellado y enfundado. C) Colocación de mantas térmicas.  
D) Programación del curado en la maleta de curado automático

Fuente: elaboración propia.

## Ensayo a tracción

El ensayo a tracción, como se observa en la figura 11, se llevó a cabo con la ayuda de una máquina de ensayos universales SHIMADZU AGS-x Plus y según los lineamientos de la norma ASTM D3039, la cual indica que se debe hacer el ensayo a una velocidad de cabezal de 2 mm/min, con al menos cinco muestras válidas.

Una vez terminados los ensayos de tracción, se aceptan los datos obtenidos del *software* que almacena y graba las mediciones, y se obtiene el gráfico fuerza vs. deformación de la probeta.

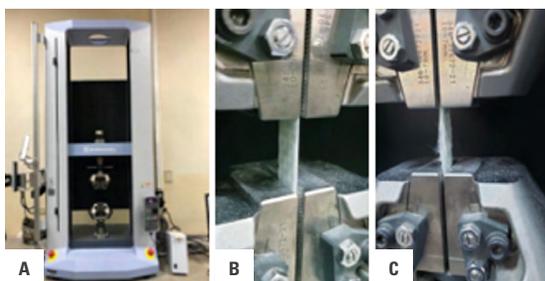


Figura 11. Ensayos a tracción. A) Máquina de ensayos universales SHIMADZU. B) Probeta durante el ensayo a tracción. C) Probeta posensayo

Fuente: elaboración propia.

Los ensayos a flexión y compresión salen del alcance del presente proyecto, que pretende demostrar la eficiencia del proceso de curado que se evidencia con los resultados del ensayo a tracción. Los mencionados ensayos será factible realizarlos en futuros trabajos de investigación.

## Resultados

De acuerdo con los datos obtenidos, se organizó la información y se calculó el esfuerzo a tracción, definiendo la resistencia última a la tensión ( $S_{ut}$ ), la resistencia a la rotura y el módulo de elasticidad de las probetas. A continuación, se detallan los valores obtenidos de los veinticinco ensayos efectivos a tracción para calcular las propiedades mecánicas, como se observa en la tabla 6.

Con los datos generados, se procede al cálculo de las propiedades mecánicas de esfuerzo de tracción y deformación unitaria, tomando en consideración que la longitud inicial de la probeta es la de la zona de trabajo, es decir, 30 mm; y finalmente se presenta el módulo de elasticidad del material, como se muestra en la tabla 7.

Tabla 6.

Datos obtenidos durante el ensayo a tracción

Orden ensayos	Código	Fuerza máxima (n)	Fuerza rotura (n)	Longitud (mm)	Espesor (mm)	Área sección (lxe) (mm <sup>2</sup> )	$\Delta l$ (mm)
1	2500_A1	11492	10618	15,07	2,20	33,15	4,41
2	2500_A2	12081	11805	15,00	2,17	32,55	5,90
3	2500_A3	10659	10526	14,95	2,24	33,49	5,12
4	2500_A4	10813	10733	14,93	2,20	32,85	4,93
5	2500_A5	10758	10009	14,99	2,13	31,93	6,59
6	5017_B1	11492	10618	15,10	1,77	26,73	4,41
7	5017_B2	10965	10713	15,15	1,86	28,18	4,34
8	5017_B3	11245	10758	15,30	1,86	28,46	4,18
9	5017_B4	9642	8934	14,76	1,84	27,16	3,88
10	5017_B5	10342	9485	15,28	1,87	28,57	3,82
11	5019_C1	10671	10520	15,07	1,80	27,13	4,26
12	5019_C2	10403	10121	14,79	1,72	25,44	4,55
13	5019_C3	10171	9694	15,07	1,93	29,09	4,51
14	5019_C4	10837	10744	15,05	1,93	29,05	3,70
15	5019_C5	9809	9472	14,91	1,94	28,93	3,85
16	6517_D1	9762	9445	15,16	1,82	27,59	3,96
17	6517_D2	10403	10121	14,81	1,78	26,36	4,55
18	6517_D3	10853	10809	14,53	1,74	25,28	4,78
19	6517_D4	9912	9758	14,75	1,86	27,44	3,96
20	6517_D5	12035	11855	15,19	1,88	28,56	5,06
21	6519_E1	9762	9445	15,07	1,94	29,24	3,96
22	6519_E2	12446	12446	15,27	1,99	30,39	4,37
23	6519_E3	11268	11133	15,13	1,92	29,05	4,22
24	6519_E4	12304	12304	15,30	1,92	29,38	4,46
25	6519_E5	10673	10651	15,27	1,93	29,47	3,64

Fuente: elaboración propia.

Tabla 7.  
Resumen de propiedades mecánicas obtenidas del ensayo a tracción

Orden ensayos	Código	Esfuerzo último tensión ( $S_{ut}$ ) (MPa)	Esfuerzo a la rotura (MPa)	$E=\delta/l$	$E=\sigma/\epsilon$ (MPa)
1	2500_A1	346,62	320,26	0,15	2357,99
2	2500_A2	371,15	362,67	0,20	1887,21
3	2500_A3	318,29	314,32	0,17	1865,00
4	2500_A4	329,20	326,77	0,16	2003,26
5	2500_A5	336,94	313,48	0,22	1533,86
6	5017_B1	429,98	397,28	0,15	2925,01
7	5017_B2	389,12	380,18	0,14	2689,77
8	5017_B3	395,14	378,03	0,14	2835,96
9	5017_B4	355,03	328,96	0,13	2745,06
10	5017_B5	361,94	331,95	0,13	2842,48
11	5019_C1	393,39	387,82	0,14	2770,33
12	5019_C2	408,94	397,86	0,15	2696,32
13	5019_C3	349,70	333,30	0,15	2326,15
14	5019_C4	373,09	369,89	0,12	3025,07
15	5019_C5	339,11	327,46	0,13	2642,44
16	6517_D1	353,81	342,32	0,13	2680,37
17	6517_D2	394,62	383,93	0,15	2601,92
18	6517_D3	429,27	427,53	0,16	2694,19
19	6517_D4	361,29	355,68	0,13	2737,05
20	6517_D5	421,43	415,13	0,17	2498,63
21	6519_E1	333,91	323,06	0,13	2529,59
22	6519_E2	409,58	409,58	0,15	2811,76
23	6519_E3	387,89	383,24	0,14	2757,50
24	6519_E4	418,85	418,85	0,15	2817,35
25	6519_E5	362,15	361,40	0,12	2984,76

Fuente: elaboración propia.

## Descripción del DOE factorial completo

Para el desarrollo del diseño experimental por método factorial completo, se considera inicialmente la combinación de las dos variables (temperatura y presión de vacío) con los dos niveles definidos en cada una.

Se crea un análisis estadístico DOE de tipo factorial, se selecciona el tipo de diseño de dos niveles y dos

factores con número de réplicas o ensayos (se hicieron cinco). A continuación, se genera la tabla de combinaciones y se realiza el análisis DOE factorial completo.

Tras detallar las variables de entrada y salida y los niveles, se procede a generar la tabla de combinaciones, a las cuales se les agregan las salidas antes calculadas, como se observa en la tabla 8. Con esto, solo faltaría hacer el análisis del DOE factorial completo para una tabulación de resultados.

Tabla 8.  
Matriz para análisis DOE factorial completo

Ord	Orden Corrida	Pt Central	Bloques	Temperatura (°C)	Presión de vacío (in Hg)	Sut (Mpa)	Esfuerzo rotura (Mpa)	Módulo elasticidad (Mpa)
1	1	1	1	50	17	429,98	397,28	2925,01
2	2	1	1	65	17	353,81	342,32	2680,37
3	3	1	1	50	19	393,39	387,82	2770,33
4	4	1	1	65	19	333,91	323,06	2529,59
5	5	1	1	50	17	389,12	380,18	2689,77
6	6	1	1	65	17	394,62	383,93	2601,92
7	7	1	1	50	19	408,94	397,86	2696,32
8	8	1	1	65	19	409,58	409,58	2811,76
9	9	1	1	50	17	395,14	378,03	2835,96
10	10	1	1	65	17	429,27	427,53	2694,19
11	11	1	1	50	19	349,70	333,30	2326,15
12	12	1	1	65	19	387,89	383,24	2757,50
13	13	1	1	50	17	355,03	328,96	2745,06
14	14	1	1	65	17	361,29	355,68	2737,05
15	15	1	1	50	19	373,09	369,89	3025,07
16	16	1	1	65	19	418,85	418,85	2817,35
17	17	1	1	50	17	361,94	331,95	2842,48
18	18	1	1	65	17	421,43	415,13	2498,63
19	19	1	1	50	19	339,11	327,46	2642,44
20	20	1	1	65	19	362,15	361,40	2984,76

Nota: Obtenido del análisis estadístico  
Fuente: elaboración propia

## Análisis de resultados

Posterior al ensayo de tracción, se analizan visualmente las probetas y se verifica que todas se encuentren dentro de lo establecido en la norma, con lo que evidenció que las probetas efectivas se rompieron en el límite de la zona de trabajo.

Los resultados se analizan mediante inferencia estadística, usando los datos obtenidos en los diferentes ensayos para generalizar un comportamiento de acuerdo con cada una de las condiciones impuestas y para generar una predicción de fidelidad de los valores encontrados, evitando de esta manera errores o incertidumbres subjetivas.

Los métodos utilizados son: diseño experimental completo para las cuatro combinaciones, bajo el curado en condiciones forzadas, y el análisis de varianza ANOVA con los cinco diferentes tipos de laminados creados.

Inicialmente, se realiza el análisis DOE factorial de los diferentes factores y condiciones dispuestas en la preparación de los laminados para definir la incidencia de los factores en el esfuerzo último a la tensión.

En la figura 12, se observa que los factores de temperatura y presión de vacío no son significativos para la variación del esfuerzo último a la tensión obtenido del ensayo a tracción. Únicamente se puede destacar que con los niveles de presión de vacío seleccionados presentan mayor incidencia que los niveles de temperatura.

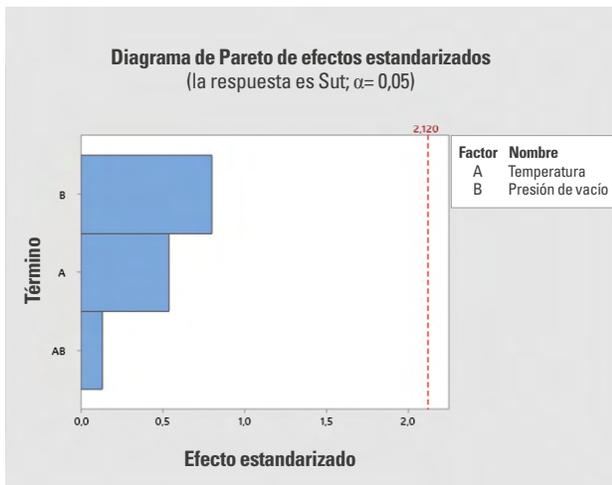


Figura 12. Análisis de Pareto considerando incidencia de factores en esfuerzo último a la tensión  
Fuente: elaboración propia.

A continuación, se realiza el análisis DOE de los diferentes factores y condiciones dispuestas en la preparación de los laminados para definir el comportamiento del módulo de elasticidad.

En la figura 13, se observa que los factores de temperatura y presión de vacío no son significativos para la variación del esfuerzo último a la tensión obtenido del ensayo a tracción. Pero el diagrama muestra que una interacción entre estos factores adquiere mayor importancia en el módulo de elasticidad de las probetas.

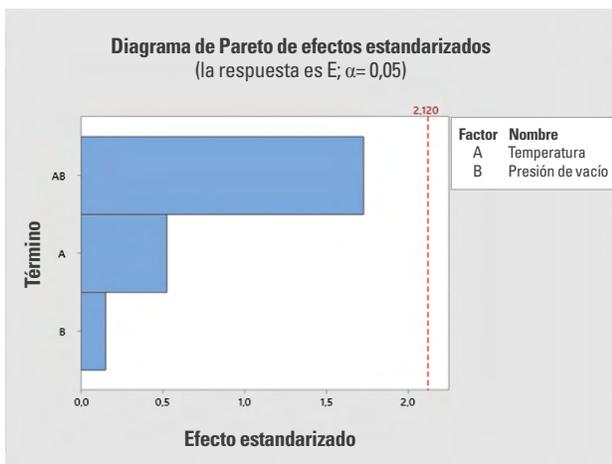


Figura 13. Análisis de Pareto considerando incidencia de factores en el módulo de elasticidad  
Fuente: elaboración propia.

## Análisis ANOVA

Este tipo de análisis lo que busca es definir cuál de las combinaciones y laminados ensayados presentan las mejores prestaciones respecto a las variables de salida analizadas. Primero, se realiza el análisis ANOVA de los diferentes factores y condiciones dispuestas en la preparación de los laminados para definir la incidencia en el esfuerzo último a la tensión.

En la figura 14, se observa claramente que la combinación entre temperatura 65 °C y presión de vacío 17 In. Hg. (6517) genera el mayor esfuerzo último a la tensión, definiéndolo como el más resistente con un valor de 392 086 MPa. Cabe destacar que las cuatro combinaciones con tratamiento térmico y aplicación de presión de vacío presentan mejores resistencias mecánicas a la tensión que las probetas curadas a temperatura ambiente, que en promedio alcanzó 340 442 MPa.

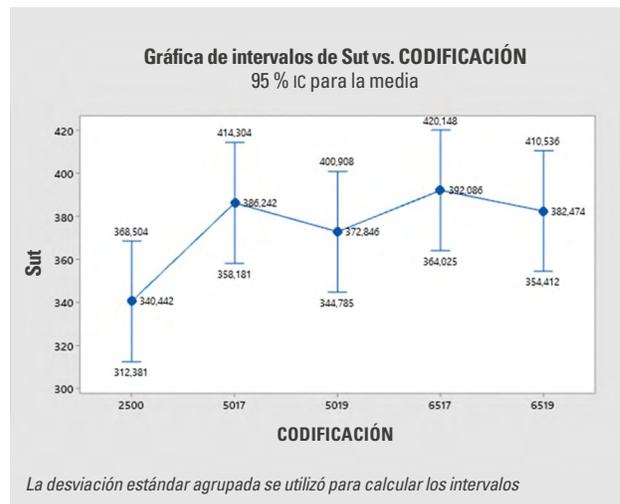


Figura 14. Gráfica de valores obtenidos de esfuerzo último a la tracción en cinco tipos curados  
Fuente: elaboración propia.

En la figura 15, se observa que la combinación 5017 (temperatura 50 °C y presión de vacío 17 In. Hg) genera el mayor módulo de elasticidad con 2807,66 MPa en promedio, lo que sería a causa de tener la menor deformación unitaria que se concluye como la más frágil.

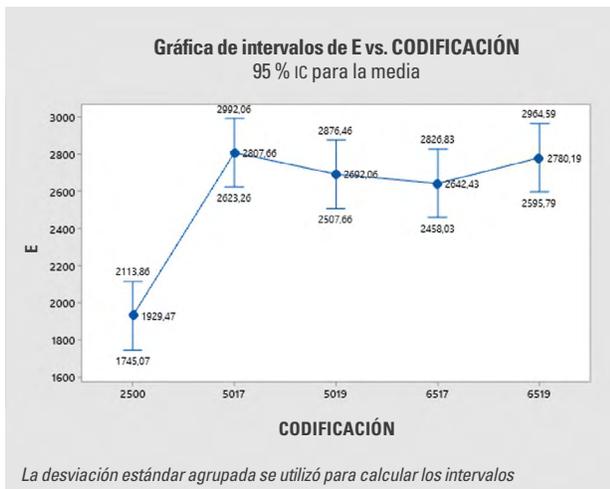


Figura 15. Gráfica de valores obtenidos para módulo de elasticidad cinco tipos laminados

Fuente: elaboración propia.

## Discusión

Los métodos usados para el análisis de resultados de los ensayos mecánicos a tracción son: diseño experimental completo para las cuatro combinaciones bajo el curado en condiciones forzadas y el análisis de varianza ANOVA con los cinco diferentes tipos de laminados creados.

Primero, se realiza el análisis DOE factorial de los diferentes factores y condiciones dispuestas en la preparación de los laminados para definir la incidencia de los factores en el esfuerzo último a la tensión.

En el análisis DOE, se obtiene un resultado que no es dependiente de ninguno de los factores de entrada como la presión de vacío o el tratamiento térmico, los cuales tampoco tienen una incidencia definitiva en los resultados obtenidos del esfuerzo último a la tensión que soportan las probetas de materiales compuestos. Así, se define que las variables de entrada serían trabajos posteriores a realizar el curado de los materiales compuestos, con otros valores que evidenciarán la incidencia de las variables en las propiedades de los materiales compuestos. Únicamente se puede destacar que los niveles de presión de vacío seleccionados (17 y 19 pulgadas de mercurio) presentan mayor incidencia que los niveles de temperatura.

El comportamiento del módulo de elasticidad, considerando las variables de entrada de temperatura y presión de vacío, no es significativo para la variación de este parámetro. Sin embargo, se evidencia que una interacción entre estos factores adquiere mayor importancia en el módulo de elasticidad de las probetas.

En el análisis ANOVA realizado, se definieron las combinaciones de factores de entrada que presentaron mejores resultados en los factores de salida del análisis (esfuerzo a la tensión y módulo de elasticidad), y en los laminados ensayados presentan las mejores prestaciones respecto a las variables de salida analizadas.

Respecto al esfuerzo último a la tensión, se observa claramente que la combinación entre temperatura 65 °C y presión de vacío 17 In. Hg. (6517) genera el mayor esfuerzo último a la tensión, con un valor de 392 086 MPa. Adicionalmente, es importante definir que la combinación 6519 presenta menor esfuerzo último a la tensión, lo cual se traduce en que esta combinación ofrece menores prestaciones mecánicas. Cabe destacar que las cuatro combinaciones con tratamiento térmico y aplicación de presión de vacío presentan mejores resistencias mecánicas a la tensión que las probetas curadas a temperatura ambiente, que en promedio alcanzó 340 442 MPa.

A su vez, se concluye que la combinación 5017 (temperatura 50 °C y presión de vacío 17 In. Hg) genera el mayor módulo de elasticidad con 2807,66 MPa en promedio, lo cual sería a causa de tener la menor deformación unitaria que se concluye como la más frágil. Así también cabe destacar que las cuatro combinaciones con tratamiento térmico y aplicación de presión de vacío presentan mayor módulo de elasticidad que las probetas curadas a temperatura ambiente, que en promedio alcanzó 1929,47 MPa, con lo que se evidencia que esta última es la más dúctil entre todas.

Valga este estudio para realizar una comparación con probetas obtenidas del borde de ataque del ala del avión A-29B Supertucano de la FAE. Se realizaron diversos ensayos mecánicos del material del componente aeronáutico antes mencionado, y se obtuvo en promedio de los ensayos a tracción realizados un esfuerzo último de 365,46 MPa (Carvajal, 2020).

Con este antecedente, y tras una comparación con los resultados obtenidos con las diferentes combinaciones de curado de los laminados de fibra de vidrio Roving 800 y resina de poliéster, se obtuvieron valores de esfuerzo último a la tracción entre 372 y 392 MPa, según la combinación de las variables de presión de vacío y temperatura de curado, como se encuentra detallado en la figura 13. Con esto, se puede concluir que el proceso de curado utilizando el sistema portátil automático para el curado de materiales compuestos brinda alta eficiencia para obtener características mecánicas similares a las que se tienen en aeronaves que operan actualmente en la FAE.

## Conclusiones

- Se hizo una revisión de las normas ASTM, que definen la metodología de ensayos, para delimitar las propiedades mecánicas de los materiales compuestos; directamente en los ensayos realizados se usó la norma ASTM D3039/D3039M-17 que se focaliza en el ensayo a tracción.
- Se diseñó y construyó un circuito de control electrónico-neumático al subsistema de vacío para optimizar el funcionamiento de la bomba de vacío, incrementar el tiempo de vida útil al evitar el recalentamiento, y ahorrar energía por los amplios periodos de tiempo que la bomba permanece apagada, en contraste a su funcionamiento constante al que se veía sometido cuando se operaba de manera manual.
- Se diseñó un circuito de potencia a través del uso de un relé de estado sólido (SSR) que recibe la señal de un controlador PID, a fin de conseguir una alimentación eléctrica controlada durante el incremento de temperatura por las rampas de ascenso de los procesos de curado y en los periodos prolongados en que se requiere una temperatura estable.
- Se diseñó una HMI para el manejo de la pantalla de manera fácil e intuitiva, que facilite el manejo por parte de cualquier usuario que pueda

ingresar sus datos y evitar errores que afecten el proceso de curado de materiales compuestos.

- Se diseñó, manufacturó y construyó una estructura robusta y portable para albergar y transportar el sistema de control automático del proceso de curado de materiales compuestos, a fin de garantizar un rápido despliegue en cualquier tipo de áreas, ya sea en talleres y laboratorios o en hangares de mantenimiento aeronáutico.
- Se realizó el laminado de MC en fibra de vidrio y resina de poliéster y el curado mediante el sistema portátil automático, con lo que se obtuvieron propiedades mecánicas en el material similares a las existentes en el borde de ataque del avión A-29B.

## Referencias

- Alzate Rodríguez, E. J., Montes Ocampo, J. W., & Silva Ortega, C. A. (2007). Medición de temperatura: sensores termoelectrónicos. *Scientia Et Technica*, 1(34). <https://doi.org/10.22517/23447214.5509>
- American Society for Testing and Materials (ASTM). (2016). *Standard Test Method for Compressive Properties of Polymer Matrix Composite Materials with Unsupported Gage Section by Shear*. ASTM D3410/D3410M-03. [https://www.astm.org/d3410\\_d3410m-03.html](https://www.astm.org/d3410_d3410m-03.html)
- American Society for Testing and Materials (astm). (2019). *Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials*. ASTM D3039/D3039M-08. [https://www.astm.org/d3039\\_d3039m-08.html](https://www.astm.org/d3039_d3039m-08.html)
- American Society for Testing and Materials (ASTM). (2021). *Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials*. ASTM D790-07. <https://www.astm.org/d0790-07.html>
- Aranburu, A. y Vallejo, F. J. (2019). Desarrollo y automatización de nuevo proceso de fabricación de *composites* basado en preimpregnados de curado ultravioleta. *Materiales Compuestos*, 3(3), 21-28. <https://revista.aemac.org/materiales-compuestos/article/view/485>
- Arruti, J. (2016). La técnica de bolsa de vacío en cámara de vacío para la fabricación de materiales compuestos de matriz epoxi. *Revista Ingeniería UC*, 23(1), 22-29. <https://www.redalyc.org/journal/707/70745478004/html/>

- Cambell F. C. (2004). *Manufacturing Processes For Advanced Composites*. Elsevier.
- Carvajal Dias, A. B. (2020). *Caracterización del material compuesto del borde de ataque de la pieza P/N 314-19390-402 del avión A-29 Super Tucano de la Fuerza Aérea Ecuatoriana* [trabajo de grado, Universidad de las Fuerzas Armadas]. Repositorio institucional ESPE. <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/21702>
- Criollo Calderón, L. G., y Yáñez Merchán, P. D. (2019). *Modelación computacional y determinación de propiedades mecánicas del perfil alar del avión DA-20-C1 de la Fuerza Aérea Ecuatoriana* [trabajo de grado, Universidad de las Fuerzas Armadas]. Repositorio institucional ESPE. <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/21001>
- Dávila, J. L., Galeas, S. y Guerrero, V. H. (2011). *Nuevos materiales: aplicaciones estructurales e industriales*. Editorial Escuela Politécnica Nacional.
- Herrera Jumbo, L. M. & Vásquez Torres, E. A. (2011). *Diseño, programación e instalación de un sistema de control de supervisión y adquisición de datos de un horno lindberg para el laboratorio de tratamientos térmicos* [trabajo de grado, Escuela Politécnica Nacional]. Repositorio institucional EPN. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/3993?mode=full>
- Jimenez O. and Escamilla A. (2008)., “Mejora el proceso de fabricación de elementos estructurales para construcciones en base a arreglos espaciales. REPORTE FINAL,” Queretaro, Kalpakjian, S. y Steve, S. (2008). *Manufactura, ingeniería y tecnología*. Pearson Education.
- Mezzacasa, R., Segura, M., Irastorza, X., Harismendy, Y. y Sehrschon, H. (2019). Fabricación flexible, eficiente y automatizada de componentes en composite de altas prestaciones. *Materiales Compuestos*, 3(3), 30-34. <https://revista.aemac.org/materiales-compuestos/article/view/486>
- Mendoza-Nava1 H., Talavera-Ortega M., Estrada-De los Santos F., Mendoza-Facio , Jimenez-Arévalo O. (2014). *Caracterización de materiales compuestos reforzados con fibra de carbono fabricados por el método de infusión para aplicaciones aeronáuticas*. *Revista Avances de Ingeniería Mecánica A.C. UNAM*
- Miravete, A. (2012). Capítulo I Materias Primas. En A. Miravete, *Materiales compuestos. Volumen 1*. Editorial Reverté.
- Núñez Valle, M. J. y Pantoja Ponce, G. F. (2008). *Diseño y construcción de un banco de pruebas para control de vacío (liposuccionador)* [trabajo de grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. Repositorio institucional ESPOCH. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1688/1/15T00396.pdf>

# Integración de capacidades de la vigilancia aérea urbana aplicadas a la seguridad ciudadana en Bogotá\*

| Fecha de recibido: 26 de abril del 2021 | Fecha de aprobación: 17 de noviembre del 2021 |

## Diego Alejandro Arellano Muñoz

Especialista en Seguridad

Escuela de Posgrados de Policía  
Miguel Antonio Lleras Pizarro  
Colombia

Rol del investigador: teórico y escritura  
✉ diego.arellano@correo.policia.gov.co

## Carlos Andrés Cárdenas Ayala

Especialista en Seguridad

Escuela de Posgrados de Policía  
Miguel Antonio Lleras Pizarro  
Colombia

Rol del investigador: teórico y escritura  
✉ carlos.cardenas@correo.policia.gov.co

## Douglas Eduardo Molina Orjuela

Magíster en Desarrollo Rural

Docente, Pontificia Universidad Javeriana  
Escuela de Posgrados de Policía  
Miguel Antonio Lleras Pizarro

Grupo de Investigación INVESPOL-DINAE  
Rol del investigador: teórico y escritura  
<https://orcid.org/0000-0003-0788-9538>  
✉ douglasemolina@gmail.com

\* Investigación adscrita al “Proyecto de fortalecimiento en materia de prevención de la violencia con enfoque comunitario (Unidos Fase II)”, Convenio Organización Internacional para las Migraciones (OIM) - Dirección de Carabineros y Seguridad Rural (Dicar) - Escuela de Posgrados Policía Nacional de Colombia (Espol).

**Cómo citar este artículo:** Arellano Muñoz, D. A., Cárdenas Ayala, C. A. & Molina Orjuela, D. E. (2022). Integración de capacidades de la vigilancia aérea urbana aplicadas a la seguridad ciudadana en Bogotá. *Ciencia y Poder Aéreo*, 17(1), 98-115. <https://doi.org/10.18667/cienciaypoderaereo.744>



## Integración de capacidades de la vigilancia aérea urbana aplicadas a la seguridad ciudadana en Bogotá

## Integration of urban aerial surveillance capabilities applied to citizen security in Bogotá

## Integração de capacidades da vigilância aérea urbana aplicada à segurança cidadã em Bogotá

**Resumen:** Este documento contiene una propuesta sobre la proyección de las capacidades de aviación en un despliegue más efectivo de las estrategias para la seguridad ciudadana en Bogotá; esto, considerando las dificultades que se viven por el crecimiento de amenazas que vulneran la seguridad y la tranquilidad de los ciudadanos. Ahora bien, con el aprovechamiento de los avances y las transformaciones de la aviación policial han surgido iniciativas como el helicóptero Halcón, la Unidad de Intervención de Vigilancia Aérea Urbana (UIVAU) y las Unidades de Comando y Control Móvil del Sistema Aéreo Remotamente Tripulado (SIART), que aportan resultados importantes para el Modelo Nacional de Vigilancia Comunitaria por Cuadrantes (MNVCC) y permiten conseguir éxitos operacionales que los uniformados en tierra no habrían podido alcanzar.

Así, el objetivo propuesto para la investigación fue diseñar una estrategia para la gestión efectiva de las capacidades de los componentes del Programa de Vigilancia Aérea Urbana, aplicada a la seguridad ciudadana en Bogotá en el MNVCC. Se asumió un enfoque cualitativo con herramientas e instrumentos de recolección de información como entrevistas semiestructuradas, revisión de la doctrina y observación no participante. Como resultado, se observó que estas capacidades de la aviación (Halcón y SIART) proporcionan amplias ventajas para el despliegue del servicio de policía, pero a su vez requieren parámetros concretos para articularlos al modelo actual y definir responsabilidades y metas en la operatividad para la seguridad ciudadana.

**Palabras clave:** aviación; capacidades; Modelo Nacional de Vigilancia Comunitaria por Cuadrantes; policial; sistema; vigilancia.

**Abstract:** This document contains a proposal on the projection of aviation capabilities in a more effective deployment of strategies for citizen security in Bogota. This, considering the difficulties that are experienced by the growth of threats that undermine the security and tranquility of citizens. Now, by taking advantage of the advances and transformations in police aviation, initiatives such as the Halcón helicopter, the Urban Aerial Surveillance Intervention Unit (UIVAU) (for its acronym in Spanish) and the Mobile Command and Control Units of the Remotely Manned Aerial System (SIART) (for its acronym in Spanish) have emerged, which provide important results for the National Model of Community Surveillance by Quadrants (MNVCC) (for its acronym in Spanish) and allow achieving operational successes that the uniformed on the ground would not have been able to achieve.

Thus, the proposed objective of the research was to design a strategy for the effective management of the capabilities of the components of the Urban Aerial Surveillance Program, applied to citizen security in Bogota in the MNVCC. A qualitative approach was assumed with information gathering tools and instruments such as semi-structured interviews, doctrine review and non-participant observation. As a result, it was observed that these aviation capabilities (Halcón and SIART) provide ample advantages for the deployment of the police service, but at the same time require concrete parameters to articulate them to the current model and define responsibilities and goals in the operability for citizen security.

**Keywords:** Aviation; capabilities; National Model of Community Surveillance by Quadrants; police; system; surveillance.

**Resumo:** Este documento contém uma proposta sobre a projeção das capacidades da aviação em uma implementação mais efetiva de estratégias de segurança cidadã em Bogotá. O anterior considerando as dificuldades sentidas pelo crescimento de ameaças que violam a segurança e tranquilidade dos cidadãos. Aproveitando os avanços e transformações da aviação policial, surgiram iniciativas como o helicóptero Halcón, a Unidade de Intervenção de Vigilância Aérea Urbana (UIVAU), e as Unidades Móveis de Comando e Controle do Sistema Aéreo Tripulado Remotamente (SIART), que fornecem resultados importantes para o Modelo Nacional de Vigilância Comunitária por Quadrantes (MNVCC), e permitem sucessos operacionais que os militares no terreno não teriam conseguido.

Assim, o objetivo proposto para a pesquisa foi estabelecer uma estratégia para a gestão eficaz das capacidades dos componentes do Programa de Vigilância Aérea Urbana, aplicada à segurança cidadã em Bogotá no MNVCC. Foi realizada uma abordagem qualitativa com ferramentas e instrumentos de coleta de informações, como entrevistas semi-estruturadas, revisão da doutrina e observação não participante. Como resultado, observou-se que essas capacidades aeronáuticas (Halcón e SIART) proporcionam amplas vantagens para a implantação do serviço policial, mas, ao mesmo tempo, requerem parâmetros específicos para articulá-las ao modelo atual e definir responsabilidades e objetivos na operação para a segurança cidadã.

**Palavras-chave:** aviação; capacidades; Modelo Nacional de Vigilância Comunitária por Quadrantes; policial; sistema; vigilância.

## Introducción

El trabajo que ejecuta la Policía Nacional en el país se orienta a garantizar la seguridad y la convivencia ciudadana; para ello, se han generado instrumentos, competencias y compromisos materializados a través de las diferentes direcciones operativas y administrativas que hacen parte de su estructura organizacional y que se dirigen al logro de la misión, visión, objetivos y políticas que están incluyen su marco estratégico institucional.

Lo anterior condujo a la implementación de estrategias como el Modelo Nacional de Vigilancia Comunitaria por Cuadrantes (MNVCC), con el cual se pretendió reducir el delito e impulsar la prestación de los servicios de policía focalizados, priorizando y ajustando las condiciones problemáticas que tengan altos impactos en la ciudadanía (Policía Nacional de Colombia, 2010). Esta dinámica facilitó el desarrollo de respuestas a las problemáticas derivadas de la violencia y la criminalidad que inciden en la convivencia y la seguridad ciudadana (Policía Nacional de Colombia, 2014), las cuales se implementaron en diferentes ciudades de Colombia, generando “efectos positivos frente a la previsión y atención del delito; sin duda, ha significado un aumento en la seguridad ciudadana” (Tamayo y Norza, 2018, citados en Páez et al., 2020, p. 86).

Teniendo en cuenta lo mencionado, y a partir de los procesos de modernización y reingeniería que se venían presentando en la Aviación Policial, se diseñó un Sistema de Vigilancia Aérea Urbana que desplegaría actividades para utilizar las aeronaves en labores de patrullaje y vigilancia en las ciudades (Losada, 2015, p. 3), misión complementada con el trabajo sinérgico del personal en tierra, impulsando el desarrollo de acciones operativas de impacto para la disminución de índices delincuenciales.

Este programa ha conseguido reconocimiento en medios de comunicación y en la opinión pública por sus aportes para la captura de delincuentes en las diferentes ciudades del país, así como ha mostrado la actuación coordinada entre el personal del MNVCC y los pilotos, y en el uso de las tecnologías dispuestas desde

el Centro Automático de Despacho (CAD). Gracias a esto, se implementó el programa en Medellín, Cali, Barranquilla, Pereira y Bucaramanga, y a mayo de 2020 se logró un promedio de 19,4 horas voladas por día y un total de 10 918,4 horas (Aviación Policial, 2020).

Frente a ello, se propone un despliegue más efectivo de las capacidades institucionales para responder a las necesidades del contexto y las transformaciones de las problemáticas asociadas a la seguridad y la convivencia, incluso las generadas en la vigilancia aérea urbana a través del Programa Halcón, el cual se desarrolla desde 2016 con un helicóptero BELL 407 equipado con sistemas de visualización, identificación y comunicación de última tecnología, mediante sobrevuelos de patrullajes en las zonas diferenciadas por el alto índice delictivo. Estas capacidades y fortalezas ofrecen ventajas como rapidez, cobertura y simultaneidad en tiempo real de la transmisión de información, frente a los hechos que afectan la convivencia, la tranquilidad y la armonía de los habitantes de Colombia.

Igualmente, mediante la incorporación de los Sistemas Aéreos Remotamente Tripulados (SIART), se amplió la disponibilidad de las capacidades y tecnologías incorporadas por la Aviación Policial en apoyo a las diferentes Direcciones y Unidades, con lo que se han adaptado a los procedimientos institucionales que han permitido al Área de Aviación implementar ventajas competitivas al MNVCC para elevar los niveles de calidad del servicio en garantía de la seguridad ciudadana y su convivencia.

Lo descrito antes dio origen al presente proyecto, con el cual se quiere aportar al despliegue realizado por la institución a través del aprovechamiento de sus capacidades actuales y los avances obtenidos desde la Aviación Policial, considerando las ventajas que puede ofrecer a las patrullas en tierra y que hacen parte del MNVCC, en respuesta a estas problemáticas que demuestran el aumento de la percepción de inseguridad y la falta de credibilidad en el servicio de policía.

Así, se presenta una estrategia para la articulación efectiva de las capacidades desarrolladas en el Programa de Vigilancia Aérea Urbana con los helicópteros Halcón y los SIART con el MNVCC, frente a la consolidación de una iniciativa que ha proporcionado

resultados óptimos para la seguridad ciudadana en las diferentes capitales del país y que necesita ampliar su cobertura al resto del territorio nacional en apoyo a la seguridad ciudadana y en la proyección de la Aviación Policial. Igualmente, se proporciona un papel activo a la Aviación Policial dentro de los planes establecidos en la seguridad ciudadana del MNVCC, como otra de las especialidades que, junto con la Investigación Criminal y la Seccional de Inteligencia, trabajan de forma coordinada en un desarrollo estratégico del servicio de policía.

En este sentido, se desarrolla una metodología con enfoque cualitativo, mediante herramientas e instrumentos de recolección de información como entrevistas semiestructuradas, revisión de la doctrina, observación no participante y visita *in situ*. El objetivo a alcanzar con la investigación se dirige a: diseñar una estrategia para la gestión efectiva de las capacidades de los componentes del Programa de Vigilancia Aérea Urbana aplicadas a la seguridad ciudadana en Bogotá en el MNVCC.

Conforme con lo anterior, el texto se desarrolla siguiendo el interrogante: ¿cómo diseñar una estrategia para la gestión efectiva de las capacidades de los componentes del Programa de Vigilancia Aérea Urbana aplicadas a la seguridad ciudadana en Bogotá en el MNVCC?

## Materiales de investigación

### Desarrollo de la problemática

Actualmente, existen varios problemas de seguridad que exigen la potenciación y el despliegue de las capacidades de la Policía Nacional para el efectivo cumplimiento de su misionalidad constitucional. De acuerdo con ello, en la más reciente encuesta presentada por la Cámara de Comercio de Bogotá (2020) en percepción y victimización, se destaca que ítems como la percepción de seguridad en el barrio disminuyó a 41%, la cifra más baja en los últimos cuatro años. Otros resultados evidenciaron que “el sitio del espacio público

más inseguro de la ciudad es la calle pasando de 28% a 35%, seguido de los puentes peatonales que pasaron de 21% a 23%” (Cámara de Comercio de Bogotá, 2020, párr. 4).

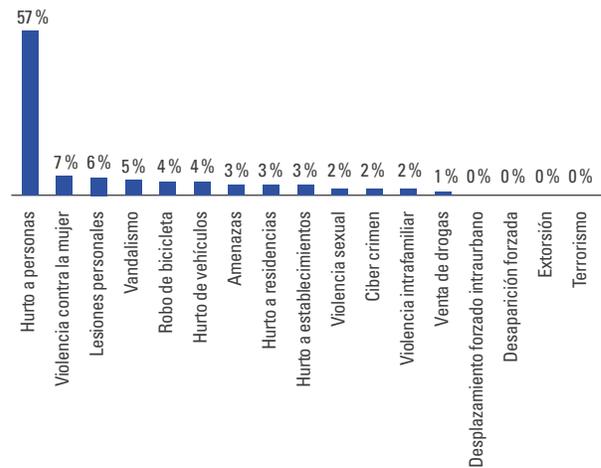


Figura 1. Delitos más graves producidos en Bogotá durante el segundo semestre de 2019

Fuente: Cámara de Comercio de Bogotá (2020).

Conforme a lo expuesto en la figura 1, se encuentran en orden: el hurto, la violencia contra la mujer, las lesiones personales, el vandalismo y el robo de bicicletas, entre otros, como los delitos más graves en Bogotá durante el segundo semestre de 2019. En la victimización, se identificó en el estudio que por cada mil ciudadanos el 12,9% fue víctima de hurto, en Bogotá.

El hurto, como mayor delito que afecta a las personas, tiene cifras en las que el 36% manifiesta haber sido víctima del robo del celular y el 23%, de dinero. El 55% de los participantes en este estudio asevera que el hecho se presentó en la calle, mientras que el 16% asegura que fue en Transmilenio; a esto se suma que el 43% señala que fue amenazado con arma blanca (Cámara de Comercio de Bogotá, 2020).

Lo anterior concuerda con las cifras de la Policía Nacional, que en delitos como el hurto a personas y el hurto a celulares presenta las cifras más altas comparadas entre 2019 y octubre de 2020. Tal y como se observa en la tabla 1, la violencia intrafamiliar también ocupa un lugar preponderante en los delitos de impacto para la Policía Metropolitana de Bogotá (Mebog).

Tabla 1.  
Comparativo para delitos de impacto en la Mebog

MEBOG	Acumulado					Promedio día	
	2019	2020	DIF	VAR		2019	2020
Homicidio*	814	822	8	1 %	✘	2,7	2,7
Lesiones personales	19.032	13.097	-5.935	-31 %	✓	63,2	43,5
Hurto de automotores	2.980	2.636	-344	-12 %	✓	9,9	8,8
Hurto de motocicletas	3.418	2.679	-739	-22 %	✓	11,4	8,9
Hurto a personas	102.740	65.111	-37.629	-37 %	✓	341,3	216,3
Hurto a comercio	15.854	9.158	-6.696	-42 %	✓	52,7	30,4
Hurto a residencias	8.145	6.389	-1.756	-22 %	✓	27,1	21,2
Hurto a celulares (nº equipos)	49.057	37.823	-11.234	-23 %	✓	163,0	125,7
Extorsión	789	789	0	0 %	→	2,6	2,6
Homicidio menores de edad	44	33	-11	-25 %	✓	0,1	0,1
Homicidio mujeres	79	78	-1	-1 %	✓	0,3	0,3
Hurto abigeato (caos)	14	7	-7	-50 %	✓	0,0	0,0
Hurto abigeato (cabezas)	14	7	-7	-50%	✓	0,0	0,0
Delitos sexuales	5.304	3.593	-1.711	-32 %	✓	17,6	11,9
Violencia intrafamiliar	29.807	29.244	-563	-2 %	✓	99,0	97,2

Fuente: Mebog (2020).

Las estrategias establecidas hasta ahora por la Policía han funcionado de manera positiva, pero es claro que se deben implementar otras alternativas que, desde el aprovechamiento de las capacidades, favorezcan la consecución de los resultados esperados por los ciudadanos, la institución y el Estado colombiano; por ello, es importante fortalecer el MNVCC, que se establece como la “estrategia principal del accionar de la Policía Nacional de Colombia” (Rodríguez, 2020, p. 46).

El cambio constante de los fenómenos sociales exige que instituciones como la Policía Nacional se adapten a estas transformaciones y se actualicen constantemente para abordar las problemáticas inherentes a su misionalidad, en una respuesta acertada a los retos vigentes y futuros. Esos cambios exigen tomar medidas que se caractericen en un ámbito estratégico para que, desde las facultades y capacidades generadas por la institución, se puedan lograr modelos estratégicos y de actuación que representen la eficacia del actuar del Estado, llevando a que la Policía Nacional cumpla a cabalidad con la naturaleza para la que fue creada.

El surgimiento de nuevos códigos penales o de procedimiento policial, en el caso colombiano, del

Código Nacional de Seguridad y Convivencia Ciudadana (Ley 1801 de 2016), se estableció en una vigilancia orientada a la comunidad, la cual difiere de las formas tradicionales porque en ella se tiene como objetivo las causas del crimen, que se contrarrestan por medio del empoderamiento de los ciudadanos, el establecimiento de alianzas entre la comunidad y la Policía, y el análisis más efectivo de las estadísticas de criminalidad (Morash y Ford, 2002). Hasta el momento, los SIART se utilizan de manera aislada en los diferentes contextos del servicio que desarrolla la Policía Nacional; por ello, es fundamental que se proporcione un eje con el cual se consoliden las capacidades y organizaciones de estas tecnologías para que sean útiles desde todo punto de vista para el servicio de policía. Frente al despliegue, es importante centralizar la información que estos dispositivos producen, incluso es algo que se puede hacer desde el nivel regional.

En Medellín, por ejemplo, en 2019 se utilizaron 264 horas de vuelo mientras que en Bogotá fueron 340,5 horas, en apoyo de operaciones relevantes (Aviación Policial, 2019). Sin embargo, es evidente que la vinculación del Programa de Vigilancia Aérea Urbana debe ser una estrategia policial que integre los

sistemas aéreos disponibles y el servicio de vigilancia de policía como herramienta estratégica de apoyo al mando institucional, puesto que están operados bajo un enfoque sistémico de priorización del componente aeronáutico con la capacidad de apoyo al MNVCC, y que con la transmisión de imágenes y datos a través de las unidades de comando y control a los CAD se tomen decisiones acertadas para contrarrestar el delito.

Se debe anotar, sin embargo, que al momento no existe una doctrina o documentación que defina los espacios de uso para cada una de las capacidades aéreas disponibles (Halcón y SIART), lo cual dificulta su articulación y apoyo efectivo. Es necesario definir los criterios previos que evidencien y permitan la gestión de estas capacidades de acuerdo con las necesidades del MNVCC.

Lo descrito evidencia la razón de ser para que estas capacidades de la Aviación Policial se agrupen en un sistema organizado dentro del despliegue operacional en seguridad ciudadana. El objetivo es articular de manera eficiente cada recurso para su correcta administración y proporcionar información en tiempo real que permita ejercer un adecuado mando y control de cada situación en cuanto a comunicación, visualización y transmisión de imágenes para la toma de decisiones eficaces por parte del mando institucional en las operaciones relacionadas con la seguridad ciudadana.

## Desarrollo teórico y conceptual

En esta parte del artículo, se desarrolla el postulado teórico y conceptual a partir del cual se relaciona la necesidad de articular el Programa de Vigilancia Aérea Urbana para atender el MNVCC. Igualmente, se exponen las bases conceptuales y legales que fundamentan el Programa de Vigilancia Aérea Urbana en la Policía Nacional, así como el MNVCC.

### Teorías relacionadas con la seguridad

La seguridad pública y la seguridad ciudadana se establecen como “una construcción social inherente a la modernidad sólida” (Escobar de Morel, 2012, p. 2).

Esto implica que hay una participación y una articulación entre todos los actores sociales para lograr los entornos deseados, en los que se puedan ejercer las libertades sin ninguna amenaza o riesgo, confiando en las instituciones y creyendo en el Estado que tiene un vínculo interdependiente con la ciudadanía (Osakpa, 2012).

Cuando se carece de esa confiabilidad, se hace relación a la teoría de la disonancia cognitiva, según la cual el “Estado genera información que al ser restringida a la opinión pública genera síntomas de indignación, inconformidad, desconfianza y zozobra” (Cely, 2017); la comunidad se organiza, pero también da lugar a comunicaciones erróneas o equivocadas frente a lo que representa la actuación del Estado y de instituciones como la Policía Nacional.

En la teoría de la fiabilidad social, elegida debido a su relación con la credibilidad y la confianza de la sociedad en la Policía como institución que cumple los fines del Estado, se les da mayor importancia a las relaciones que se conforman con las comunidades que a las políticas públicas, los programas sociales y todo lo que contribuya a que se genere un proceso afectivo que permita a los individuos depositar la confianza de la comunidad en quienes los representan y toman decisiones públicas por ellos (Carreón y García, 2013). En este caso, se hace referencia a ese acercamiento a la comunidad que debe ejercer la Policía y que se enfoca, principalmente, en brindar espacios de seguridad que reduzcan esa percepción de miedo y de vulneración que provoca la delincuencia.

El Subsistema de Formación para el Trabajo (SFT) plantea que los individuos, a través de las responsabilidades y los compromisos que conceden a sus representantes legítimos, en este caso la Policía, están delegando también confianza a pesar de que, a veces, las “autoridades son visualizadas como externas a los usos y costumbres locales” (Carreón y García, 2013).

La confianza es esencial en la interacción entre la sociedad y las autoridades. Sin embargo, a pesar de los esfuerzos, lo que más predomina es la desconfianza que influye en la corresponsabilidad entre ciudadanos. Para que la confianza se dé, se parte de la

seguridad, pues la sociedad civil se encuentra en un estado de indefensión en el que las autoridades deben responder a esas necesidades para que se reduzca la percepción de inseguridad (Carreón y García, 2013).

El enfoque de la teoría del patrón delictivo, planteada por Brantingham y Brantingham, (1984), también tiene una relación cercana con la vigilancia aérea urbana, y establece que las “personas interactúan con su entorno físico y producen más o menos oportunidades para el delito”, observando la distribución geográfica del delito, focalizándolo, y estableciendo lugares, horas y días de la semana en los que se presenta con mayor frecuencia e impacto (Tanner-Smith, 2019).

Ahora bien, la seguridad ciudadana se define como una función y una responsabilidad atribuidas al Estado colombiano, dirigidas a “cuidar, salvaguardar, proteger la integridad y los derechos de las personas, así como mantener o aportar al orden y la paz públicas” (Rodríguez, 2020, p. 26). Esto implica que las instituciones deban diseñar estrategias para responder a ese compromiso enfrentando delitos, previniéndolos y aportando en la disminución de hechos que afectan la seguridad y la convivencia.

Se puede afirmar que la seguridad se inscribe dentro de las agendas políticas como uno de los puntos prioritarios para atender por parte de los funcionarios, teniendo en cuenta además una serie de variables de carácter social, político y económico con las que se enriquece el concepto, y lo complican cuando se considera para la toma de decisiones (Granados, 2018). Esto se relaciona directamente con lo determinado por Patricio Tudela, quien se basa en el concepto de seguridad y el error al abordarlo como un fin en sí mismo, “ya que debe ser una garantía para el ejercicio de los derechos que construyan espacios para obtener el bien común” (2010, p. 9).

La vigilancia aplicada en las operaciones aéreas se desenvuelve en campos de acción como la seguridad ciudadana, definida en el Manual de Aviación de la Policía Nacional como una actividad que tiene “como objetivo apoyar las unidades policiales en cualquier nivel de despliegue (estratégico, táctico y operacional) para garantizar el cumplimiento de la misionalidad

institucional en el marco del Modelo Nacional de Vigilancia Comunitaria por Cuadrantes” (Aviación Policial, 2019, p. 63).

Estas labores deben diferenciarse de las realizadas por la Fuerza Aérea Colombiana (FAC), ya que también cumple misiones de “vigilancia y control sobre las vías principales e intermedias en todo el territorio nacional, asegurando el normal transitar de los vehículos que se movilizan, así como de la infraestructura energética, velando por la seguridad y tranquilidad de los colombianos” (FAC, 2021). A pesar de ser similares, se encaminan hacia la seguridad de Estado, pero se diferencia de las que se dirigen a la preservación de la seguridad ciudadana, aunque puedan incidir en ella.

Las operaciones de vigilancia aérea están orientadas a complementar las estrategias desplegadas con el MNVCC, que es definido a partir de su formulación como metodología de trabajo y servicio de policía. Se generan los instrumentos para la caracterización y solución de las problemáticas relacionadas con las manifestaciones de criminalidad y violencia y que afectan la convivencia y la seguridad ciudadana en los diferentes contextos del país (Policía Nacional de Colombia, 2010, p. 14).

Entre los principios que fundamentan el MNVCC se encuentra la prevención, orientada a “identificar, comprender, caracterizar, priorizar y anticipar los riesgos y amenazas en un territorio” (Policía Nacional de Colombia, 2014), de manera que se reduzca la probabilidad de que se den las causas de delitos y contravenciones que se presentan en una jurisdicción. Para ello, se efectúa la priorización y la focalización con las que se define el orden de atención de una problemática, considerando entre las variables de evaluación su impacto y su frecuencia en un territorio específico (Policía Nacional de Colombia, 2010), a fin de que incida en la reducción, minimización y estabilización de la incidencia delictiva y contravencional a nivel local.

La vigilancia aérea se inscribe en la condición de polivalencia, que se refiere a la respuesta institucional al ciudadano, en la que el policía actúa de manera efectiva en la “protección del ejercicio de los derechos

ciudadanos, la prevención del delito, el desarrollo de actividades comunitarias, el control de la delincuencia y contravenciones y la comunicación con la ciudadanía” (Policía Nacional de Colombia, 2014, p. 15).

## Método

Este apartado presenta el diseño metodológico a través del cual se desarrolló la investigación. Se exponen las características del enfoque, la definición de las herramientas, las técnicas de recolección de la información utilizadas, y la forma en que se realizó el análisis de la información recolectada y estudiada.

### Enfoque metodológico

La investigación se desarrolló siguiendo un enfoque cualitativo; se recolectaron datos e información a través de “técnicas que no pretenden medir ni asociar las mediciones con números, tales como observación no estructurada, entrevistas abiertas, revisión de documentos o discusión en grupos” (Hernández-Sampieri et al., 2014, p. 112). Igualmente, se seleccionó este enfoque para ampliar la información inicial de acuerdo con la experiencia de los autores en el fenómeno estudiado, y también para caracterizar el problema de estudio:

En lugar de comenzar con una teoría y luego “voltear” al mundo empírico para confirmar si esta es apoyada por los datos y resultados, el investigador comienza el proceso examinando los hechos en sí y revisando estudios previos, ambas acciones de manera simultánea, a fin de generar una teoría que sea consistente con lo que está observando que ocurre. (Hernández-Sampieri, 2018, p. 7)

Así, los datos que se obtienen de estas técnicas aplicadas generan una mayor comprensión de los fenómenos estudiados, al conseguir información amplia de algunos temas desde diferentes perspectivas. Esto último, sobre todo, cuando nos referimos a fenómenos

como la seguridad ciudadana, tema en el cual es necesario contar con la percepción de diferentes actores sociales que permitan acercarse de mejor manera a la realidad empírica del problema abordado.

### Diseño fenomenológico

El diseño aplicado es fenomenológico, que de acuerdo con Hernández-Sampieri et al. (2014), hace referencia a “entender las experiencias de personas sobre un fenómeno o múltiples perspectivas de este” (2014, p. 14). Aplicado a esta investigación, el diseño se concentra en la integración y la organización de las capacidades de la Aviación Policial dentro de un sistema para la gestión eficiente de los recursos del Área de Aviación Policial en la mejora operativa para la consecución de resultados efectivos en la seguridad ciudadana desplegada desde el MNVCC.

Lo anterior, en concordancia con el enfoque propuesto para la investigación, invita a tener en cuenta la experiencia y la percepción de los actores que participan en un fenómeno determinado, y que aportan a la comprensión de hechos inmersos en la vida cotidiana (Rodríguez et al., 1996), que para este caso son las capacidades de la Aviación Policial en relación con la seguridad ciudadana.

### Población, muestra y fases

La unidad de análisis se concentra en la población de la Aviación Policial y la muestra se definió en Bogotá, compuesta por tres altos directivos de la institución debido a su cargo y conocimiento sobre la temática. Se realizó muestreo no probabilístico en el que la selección de los sujetos que participaron en el estudio dependió de ciertas características, criterios definidos por los investigadores (Otzen y Manterola, 2017). Para este caso, con la elección de expertos que contribuyen a conocer y entender las características y las capacidades de la aviación de la Policía Nacional y cómo estas pueden ser organizadas para conseguir resultados positivos frente a su asignación y aprovechamiento de acuerdo con las necesidades específicas de la operación (Questión Pro, 2020).

El muestreo de expertos fue intencional, ya que fueron elegidos según criterio de los autores, quienes seleccionaron a los participantes de acuerdo con su conocimiento de la Aviación Policial, los drones, el Halcón y las problemáticas de seguridad ciudadana que afectan al país, por lo que sus aportes son vitales para este estudio. Finalmente, para el desarrollo de la investigación se establecieron las fases expuestas en la tabla 2.

**Tabla 2.**  
Fases para el desarrollo del proyecto

1	Definición del fenómeno de interés
2	Elección y delimitación del contexto y participantes
3	Visita in situ, búsqueda de antecedentes, exploración documental
4	Entrevista a expertos, recolección de experiencias
5	Registro y análisis de la información conforme a unidades de análisis y objetivos definidos
6	Elaboración reporte final y sustentación

Fuente: elaboración propia con información de Hernández-Sampieri et al. (2014).

## Instrumentos y técnicas de recolección de información

Las herramientas para la recolección de datos están constituidas por la observación, la exploración *in situ*, entrevistas y análisis de documentos. Posterior al análisis individual de los datos que genera cada instrumento de medida, se realiza triangulación de información para identificar los principales elementos que evidencian el problema y construyen la solución. Así, la técnica principal de recolección de la información para esta investigación fue la entrevista de investigación, ya que “pretende, a través de la recogida de un conjunto de saberes privados, la construcción del sentido social de la conducta individual o del grupo de referencia de ese individuo” (Blasco y Otero, 2008, p. 1), con lo que nos acercamos al fenómeno estudiado desde las respuestas de los expertos.

Es de resaltar que, según las herramientas, se obtienen puntos de vista de los participantes frente a la conveniencia de la estructuración de un sistema de

capacidades para la organización eficiente de los recursos de los que dispone la Aviación Policial, y que cuenten con los parámetros de operación que permita una aplicabilidad oportuna y efectiva de estas capacidades.

Los entrevistados fueron funcionarios de la Policía en labores cercanas o directas a la aviación, quienes proporcionaron diferentes perspectivas desde su conocimiento misional. En las entrevistas, se incluyó un consentimiento informado para los participantes, a fin de darles a conocer los alcances del trabajo y establecer el uso de las opiniones que presenten, el cual tiene fines académicos y no representa consecuencia en su carrera profesional. Del mismo modo, los textos y las citas utilizadas se encuentran debidamente referenciados conforme a las normas preestablecidas en el Manual de Investigación de la Escuela de Posgrados Miguel Antonio Lleras Pizarro y en las normas APA séptima edición para la adecuación y presentación de proyectos de investigación y el reconocimiento de la autoría.

## Resultados y discusión

Este apartado da cuenta de los hallazgos y análisis obtenidos tras la recolección de información en las diferentes fuentes y en correspondencia a la pregunta problema formulada y a los objetivos definidos para la investigación. Para ello, se toman en cuenta las categorías de análisis expuestas.

### Seguridad ciudadana en Bogotá: retos para la actividad policial en el MNVCC

En Bogotá, la seguridad se asocia a la convivencia y es considerada como una problemática prioritaria. Esto llevó a que durante décadas las autoridades de la ciudad comprendieran la importancia de fortalecer la Policía, incrementando el flujo de recursos que se destinaban a través del Fondo de Vigilancia y Seguridad. Para el año 2016 mediante el Acuerdo 637 del Concejo Distrital, se propició la creación de la Secretaría de

Seguridad Ciudadana y Convivencia, que adoptó las funciones que al respecto venían desempeñando la Secretaría de Gobierno y el Fondo de Vigilancia y Seguridad (Acero, 2002).

En la Política Marco de Convivencia y Seguridad Ciudadana, se enfatiza que la seguridad ciudadana se localiza principalmente en calles y vecindarios de cascos urbanos y áreas rurales. De tal modo, es primordial que se fortalezcan y se transformen las metodologías existentes en la generación de un despliegue operacional actualizado y efectivo, conforme a lo determinado en el Modelo de Transformación Institucional en el que las tecnologías “permiten optimizar recursos y aumentar la capacidad de vigilancia y control respecto al delito y los comportamientos contrarios a la convivencia” (Presidencia de la República de Colombia, 2019, p. 71).

La proyección de la Aviación Policial demostró, desde un inicio, que era necesario un componente aéreo para las operaciones de la Policía; sin embargo, esta no fue tenida en cuenta en la doctrina establecida en el MNVCC. En su momento, incluso el cuadrante fluvial y otros instrumentos fueron planteados para la integración de las especialidades al MNVCC, pero no se tuvo en cuenta esta especialidad desde la óptica de la vigilancia y tampoco se definió el cuadrante aéreo (W. Romero, comunicación personal, 1 de diciembre de 2020).

No obstante, los hechos que vienen afectando a la seguridad ciudadana y que caracterizan el entorno de ciudades como Bogotá originaron necesidades frente a la reestructuración del MNVCC, con el fin de ajustarse a esos cambios y tendencias en la consecución de resultados efectivos en la minimización de riesgos y problemáticas que afectan la convivencia y la seguridad ciudadana.

Frente a ello, la vigilancia aérea también debió abordar esos cambios operacionales y adaptarse de forma eficaz a las necesidades de la institución. El teniente coronel Jimmy Ernesto Palacios Narvárez, comandante de una de las estaciones más importantes en la Mebog, afirma entonces que es necesario tener un mecanismo de medición que pueda reflejar los resultados de su despliegue operativo. Para este oficial, el trabajo de la aviación en la seguridad ciudadana:

[...] se debe medir igual que las otras especialidades conforme a la estadística delictiva de cada jurisdicción, es decir, si estamos haciendo un apoyo a una unidad y disminuye la estadística delictiva estamos haciendo algo, de lo contrario, no estamos haciendo nada. (J. Palacios, comunicación personal, 1 de diciembre de 2020)

Para todos los casos que se apoyan, es fundamental observar los resultados en comparación con las operaciones en las que se está participando.

Este factor “es un aspecto fundamental en la ejecución de políticas de seguridad” (Tudela, 2012), teniendo en cuenta que cada resultado se convierte en una herramienta de análisis para la toma de decisiones y mejoramiento continuo del servicio. En el apoyo aéreo, esto permite establecer su real participación en el diseño de soluciones a las problemáticas que afectan la seguridad de ciudades como Bogotá. El teniente coronel Wilmer Alexander Romero, pionero del Programa Halcón, destaca frente a ello que “la medición permite determinar si en el punto específico donde se voló y en las horas que operó, existió una disminución de delitos” (comunicación personal, 1 de diciembre de 2020) en la cuantificación de resultados en temas de seguridad, incluyendo la percepción que tiene la ciudadanía para sentirse segura.

El apoyo y la articulación de la Aviación Policial a la seguridad con un enfoque preventivo es complejo para el mayor Nelson Yesid Prieto González, jefe de grupo del Direccionamiento Nacional MNVCC. Pero de acuerdo con los lineamientos institucionales determinados en el Sistema de Gestión Integral, todo debe medirse, por lo cual es fundamental identificar esos mecanismos para establecer el beneficio proporcionado por el Área de Aviación Policial, en contraste con los costos que representa, según operativos o resultados operativos, pero sin establecer unas metas propiamente dichas, ya que esto es complejo para esta especialidad (N. Prieto, comunicación personal, 2 de diciembre de 2020).

Palacios se refiere al apoyo que puede prestar el Área de Aviación Policial a la reestructuración del MNVCC, que define como fundamental, ya que está:

[...] convencido de que el futuro del Modelo está en la vigilancia aérea, tenemos que llegar al punto que desde cada CAI se pueda hacer la vigilancia con un dron, en lugar de poner a una patrulla a dar vueltas en la calle deberíamos salir con un dron y hacer la vigilancia desde el aire, ese es un proyecto que escuché hace como cinco años en el Congreso de la República a unos estudiantes de los Andes y que hoy debe ser liderado por ARAVI para que cada CAI conozca qué está pasando en su jurisdicción. (J. Palacios, comunicación personal, 1 de diciembre de 2020)

En ese espacio, conforme a lo argumentado por el teniente coronel Romero, sería importante “incorporar dentro de la nueva doctrina que se emita para el Modelo”, considerando que los equipos y el servicio de la Aviación Policial en cuanto a los Halcones se refiere se den focalizando un delito, estructurando puntos críticos y asistiendo a los Comités de Vigilancia. Así, se permite que “este sea un patrullaje planificado, desde la óptica en que el patrullaje no sea disuasivo, reactivo, sino también preventivo”, conforme a las demás capacidades de la institución “en los Centros de Investigaciones Criminológicas (CICRI), Inteligencia y la misma Vigilancia” (W. Romero, comunicación personal, 1 de diciembre de 2020).

Romero se refiere al respecto afirmando que es “de vital importancia en la medida en que la correcta articulación desde el componente aéreo y la vigilancia puedan desarrollar procedimientos efectivos y se puedan plantear buenos objetivos con excelentes resultados” (comunicación personal, 1 de diciembre de 2020). Esto implica en la Aviación Policial una necesidad para que amplíe su campo visual en la vigilancia con un conocimiento más preciso que ofrece entender la seguridad ciudadana en tierra, pero aportando como complemento la perspectiva desde el aire.

Por ello, es sustancial que el personal del MNVCC conozca las capacidades de la aviación, tanto como que esta última tenga claras las necesidades frente a focalización y priorización conforme a cada localidad, estación o CAI, según las problemáticas que afectan a cada jurisdicción y así esté preparada para actuar de acuerdo con esas necesidades.

## Capacidades de la Vigilancia Aérea Urbana (aplicadas en operaciones aéreas)

En esta categoría, se identificaron varios aspectos. Se determinó el avance obtenido por la Aviación Policial en la última década en temas como el diseño del Programa de Vigilancia Aérea Urbana con el helicóptero Halcón y las aeronaves remotamente tripuladas, y la implementación de la Unidad de Intervención de Vigilancia Aérea Urbana (UIVAU) y de las Unidades de Comando y Control Móvil SIART. Estas últimas integraron las diferentes capacidades de la Aviación Policial en el suministro de información en tiempo real y complementaron el ejercicio de un adecuado control, visualización y transmisión de imágenes para contribuir a la correcta toma de decisiones por parte del mando institucional.

En su misionalidad, es prioritario el aporte para la consecución de las metas institucionales y las políticas de gobierno, pues se alinea a las perspectivas actuales consignadas en la Política Marco de Convivencia y Seguridad Ciudadana. Allí, se manifiesta la razón de ser de las instituciones y se orienta hacia la garantía de los “derechos, construir y mantener las condiciones necesarias para su pleno ejercicio, aplicando la ley, ejerciendo la autoridad, al mismo tiempo que se promueve la autorregulación ciudadana y la cohesión social” (Presidencia de la República de Colombia, 2019).

La vigilancia aérea involucra el uso de aeronaves en ciudades, dotadas de equipos que permitan comunicación directa con las unidades en tierra y los CAD en articulación con los Centros de Información Estratégica Policial Seccional (CIEPS). Así, se posiciona la esencia de la Aviación Policial como un servicio efectivo para la institución y para la comunidad alineada con las políticas y estrategias institucionales.

De acuerdo con el marco implementado en diferentes ciudades, el fortalecimiento policial y la presencia institucional deben ser complementados con el mejoramiento de la infraestructura policial, adecuando los avances y las tecnologías implementados por la institución para la atención de las principales necesidades de las comunidades. La dotación de los medios

tecnológicos y operativos para las labores de control e inteligencia deben apoyar el MNVCC en la mitigación de la ocurrencia de delitos en las zonas de alta incidencia de criminalidad (Alcaldía de Santiago de Cali, 2016; ver figura 4).

En consecuencia, el Programa de Vigilancia Aérea Urbana, al dotar las aeronaves con equipos de misión tecnológica, facilita la articulación de las aeronaves con las unidades policiales en tierra, con lo que contribuye a contrarrestar de manera más dinámica y efectiva los fenómenos sociales o naturales que afectan la comunidad en la convivencia y seguridad ciudadana (Chaparro, 2015).

Las diferentes actividades realizadas por la Aviación institucional con el despliegue del Programa Halcón y los SIART para mayo de 2020 sumaban más de 10 900 horas voladas en apoyo a la seguridad ciudadana (Aviación Policial, 2020). La vigilancia aérea proyecta a la Aviación Policial hacia escenarios de decisión, como los Comités de Vigilancia, y la convierte en un instrumento estratégico no solo para la operatividad, sino también en la percepción ciudadana y la consecución de resultados más eficaces frente a las problemáticas de seguridad. En el diagnóstico realizado desde la matriz DOFA a la vigilancia aérea, se pueden establecer alternativas conforme a datos del Área de Aviación Policial (2020).

Por su parte, las UIVAU constituyen herramientas estratégicas que aportan a incrementar la cobertura en el servicio de policía mediante la implementación de un sistema de videovigilancia, que en Bogotá fue adquirido con el apoyo de la administración local, para la supervisión de “zonas de alta aglomeración, para identificar a los vándalos cuando se presentan manifestaciones, vigilar accesos en las estaciones de TransMilenio, será una vigilancia silenciosa, pero efectiva para la ciudad” (Estupiñán, 2019).

Esta tecnología facilita el registro de procedimientos, lo cual sirve como antecedente para el desarrollo de los procedimientos y a un menor costo. Por tal razón, es fundamental que los operadores cuenten con las competencias necesarias, siendo monitoreadas y evaluadas tanto en sus conocimientos técnicos, como en lo que corresponde al chequeo médico físico y de salud mental para hacer que las operaciones con equipos no tripulados cumplan estándares de calidad óptimos.

El uso de aeronaves remotamente tripuladas, en este caso drones, en la seguridad ciudadana ha sido reconocido por el presidente Iván Duque (2018-2022) como tecnologías con altas bondades, debido a los aportes que ofrecen en las capacidades de inteligencia y contrainteligencia en los centros rurales y urbanos. Proporcionan ventajas en el monitoreo a distancia y



Figura 2. Ventajas de la vigilancia aérea  
Fuente: Aviación Policial (2019).

con precisión, en los diferentes lugares donde los criminales sienten mayor libertad o ventajas para desenvolverse, facilitando su seguimiento y la consecución de información sensible para el desarrollo de las operaciones policiales, con datos confiables y objetivos que facilitan la georreferenciación de los delitos (Estupiñán, 2019).

Los drones constituyen herramientas estratégicas que apoyan al mando institucional, y en desarrollo del servicio de policía, se han incorporado al componente aeronáutico y a las unidades en tierra de las diferentes especialidades para proporcionar información útil, aprovechando sus características específicas, contenidos en video y datos. La Unidad de Mando y Control remite dicha información al CAD, que efectúa las acciones correspondientes para atender los requerimientos en seguridad y convivencia en la jurisdicción donde estén operando (Vargas, 2019).

Las capacidades del Programa Halcón, por ejemplo, se han comprobado en operativos como los realizados en Bogotá en el barrio Diana Turbay y en el parque Entre Nubes durante el año 2020. Allí fue indispensable para apoyar los procedimientos de capturas, ya que permitió vigilar con mayor cobertura la ubicación de los delincuentes para que no huyeran por la zona rural, garantizando efectividad en los procedimientos realizados (J. Palacios, comunicación

personal, 1 de diciembre de 2020). En ese escenario, se destaca que en 2020 el helicóptero Halcón de la ciudad de Bogotá ha apoyado un gran número de procedimientos de capturas, incautación de armas de fuego, armas blancas y estupefacientes (figura 3).

Al identificar la doctrina existente y el conocimiento que se tiene en las unidades que integran el MNVCC sobre las funcionalidades del Programa de Vigilancia Aérea Urbana, el teniente coronel Palacios respondió que no conocen documentación ni doctrina relacionada con la integración de los Sistemas de Vigilancia Aérea (Halcones-drones) en apoyo a los programas de seguridad y convivencia de la Policía (J. Palacios, comunicación personal, 1 de diciembre de 2020).

En ese sentido, el teniente coronel Romero destaca el antecedente que se presentó en el Comité de Revisión Estratégica e Innovación Policial (CREIP-AV), en donde se definieron las proyecciones para el desarrollo doctrinal de la Aviación Policial orientada a la seguridad ciudadana. Allí se mencionaron “los equipos, tipos de patrullajes, alturas, altitudes, cómo se realizarían los patrullajes, qué tipos y con respecto a la integración, la manera como se iban a utilizar para generar un solo proceso de imagen y producción de información en tiempo real para articularse con la policía en tierra” (W. Romero, comunicación personal, 1 de diciembre de 2020).

Equipos SIART matriculados por unidades			
ARAVI	21	DEURA	1
ARECI	10	DICAR	2
COEST	1	DIJIN	4
DEANT	1	DIPOL	2
DEARA	1	ESMAD	25
DEBOY	2	DITRA	2
DECAS	3	ESTIC	2
DECHO	1	FORPO	2
DEMAN	1	MEBAR	2
DENOR	1	MEBOG	3
DEPUY	2	MEVAL	4
DERIS	2	OFITW	5
DEVIL	1		
<b>Total</b>		<b>101</b>	

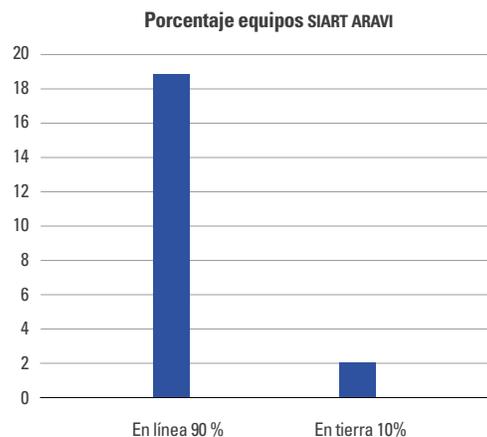


Figura 3. Equipos SIART matriculados en la Policía Nacional  
Fuente: Aviación Policial (2019).



Figura 4. Estadística de casos y logros de la vigilancia aérea con el Halcón en 2020  
Fuente: Aviación Policial (2020).

Lo descrito evidenció un vacío inicial de fundamentos que permiten a todas las unidades de la vigilancia y de la misma Aviación determinar las capacidades puntuales que se han generado, y con ello, aprovecharlas con más eficiencia para obtener excelentes resultados operacionales. Al respecto, el mayor Prieto expresa que conoce la existencia del helicóptero y los drones, pero no cuenta con información más específica frente a estas tecnologías y herramientas (N. Prieto, comunicación personal, 2 de diciembre de 2020).

Como resultado, es evidente la necesidad de definir en la doctrina las funcionalidades de cada programa, tanto del Halcón, como de los SIART, ya que, con ello, se pueden establecer medidas más efectivas frente al apoyo que se va a realizar a las patrullas en tierra, la información que se requiere y también en correspondencia al alcance de cada una de las capacidades. Estos elementos, aplicados a la Aviación Policial y sus funcionalidades, facilitan la comprensión de la naturaleza y el despliegue de su quehacer específico en la seguridad ciudadana en ciudades como Bogotá.

### Sistema integrado de capacidades

El sistema integrado de capacidades para la Aviación Policial implica la generación de un eje conector entre el Centro Estratégico de Monitoreo Aviación Policial (Cemap) y los UAVI que proporcione elementos

objetivos para la operación en la conexión con la seguridad ciudadana desplegada por el MNVCC. Se busca que el sistema sea más efectivo y eficiente en los procedimientos y deje de lado los criterios subjetivos que impidan articular los sistemas para el despliegue óptimo de los procedimientos de policía (W. Romero, comunicación personal, 1 de diciembre de 2020).

Esto da respuesta a lo descrito, pues doctrina puede dar paso a la implementación de herramientas que son necesarias para el desempeño de la vigilancia aérea y que determinan aspectos significativos frente a su actuación en apoyo a la convivencia y seguridad y la consecución de metas. Según el teniente coronel Palacios:

[...] esto debe estar presente en una norma o manual que se constituya en una base jurídica para la ejecución de los procedimientos, junto con una tabla de priorización de roles, estandarización de los procedimientos, una unidad de comando y control y un comandante o jefe que pueda integrar las dos capacidades. (J. Palacios, comunicación personal, 1 de diciembre de 2020)

En ese contexto, la implementación de un sistema que integre las aeronaves (Halcones) y los equipos SIART (drones) es necesaria, con el fin de definir roles y tener clara una metodología para ser más eficiente

en el servicio. Deben tenerse en cuenta los aspectos de eficiencia en el gasto y de mejor uso de las capacidades disponibles que reafirma la proyección de la Aviación Policial hacia escenarios más estratégicos donde se proporcione un apoyo fundamental al MNVCC.

Para lograr esa integración más efectiva, el teniente coronel Palacios (comunicación personal, 1 de diciembre de 2020) establece las necesidades para complementar las medidas vigentes, que son netamente reactivas. Esto implica el desarrollo de patrullajes disuasivos en horas críticas, conforme a los estudios de seguridad, los puntos calientes y la priorización realizada en los diagnósticos de seguridad y operativos de la Policía Nacional. No se trata de dejar atrás la reacción, pero:

[...] debe haber una comunicación más directa en la que se solucionen problemas de *teléfono roto* para mejorar tiempos de respuesta entre la necesidad del Modelo (comandante de estación, comandante de CAI) y el puesto de control, demostrando la significación e impacto que tiene la asignación de roles como tema indispensable para que el comandante de estación interactúe directamente con ARAVI para que establecer cuál es el tipo de apoyo que necesitan y de esa forma en Aviación se tomen las decisiones sobre la capacidad que aplica en ese caso: si es un dron o directamente con la aeronave. (J. Palacios, comunicación personal, 1 de diciembre de 2020)

Lo anterior permite establecer prioridades frente al sistema y la gestión eficiente de las capacidades de las que dispone la Aviación Policial actualmente, con miras a incluir las que se generen a futuro y que tengan una gestión coherente con las necesidades de seguridad, la administración de costos y gastos en la sostenibilidad de la aviación de la Policía Nacional, y la consecución de metas en la reducción de fenómenos que afectan la convivencia ciudadana y su seguridad.

El salto tecnológico que está dando la Policía, según lo afirmado por el mayor Prieto (comunicación personal, 2 de diciembre de 2020), debe incluirse en el MNVCC y en las reformas que se están realizando, a fin de lograr que esos instrumentos permitan anticiparse

a la evolución de los fenómenos desde la identificación de sus causas, asumiendo principalmente la perspectiva preventiva y no reactiva, que impida la evolución de las problemáticas hacia escenarios más complejos.

## Conclusiones

Esta investigación permitió establecer elementos significativos frente a la “integración de las capacidades de la vigilancia aérea urbana aplicadas a la seguridad ciudadana en Bogotá” y las necesidades frente a su centralización alrededor de un eje que coordine estos instrumentos para lograr su mayor beneficio.

Inicialmente, se pudo establecer que ciudades como Bogotá y otras en el país están experimentando problemáticas graves de seguridad que exigen un mayor despliegue institucional. Para la Policía, las necesidades que se presentan en el contexto actual son difíciles de enfrentar dada la ausencia de pie de fuerza para cubrir todas las necesidades que se presentan y que reclaman la presencia de sus integrantes. Además, se encuentra una evolución de las estructuras delincuenciales, que se han adaptado a las transformaciones del entorno y a los avances tecnológicos, con lo cual sus acciones ilegales son aún más impactantes y recurrentes en espacios tan concurridos como el servicio de transporte público, centros comerciales, parques y calles.

La Aviación Policial ha generado diferentes capacidades que le han proporcionado a la Policía nuevas perspectivas de actuación para contrarrestar las problemáticas que son inherentes a la misionalidad institucional en seguridad y convivencia ciudadana. Ya no solo se trata de la lucha antinarcoóticos; ahora la Aviación, utilizando referentes de otros países, implementó sistemas y herramientas con los que desde sus helicópteros y drones puede apoyar la seguridad ciudadana. Esto facilita el trabajo de patrullas en tierra, pero principalmente la planeación estratégica y la toma de decisiones de las operaciones institucionales, que le dan una mayor eficiencia, eficacia y efectividad

a la Policía no solo desde el uso de los recursos, sino también en escenarios cada vez más complejos.

De ese modo, las proyecciones del Área de Aviación Policial permiten a la institución solucionar de algún modo esas deficiencias que se tienen en cobertura, mediante el uso de las ventajas tecnológicas que proporciona un helicóptero vigilando o un dron ubicado en lugares con alta presencia delincencial o que son peligrosos incluso para los uniformados en tierra.

La implementación de tecnologías como los helicópteros y los SIART facilitó insumos para la toma de decisiones de los comandantes y para la obtención de resultados efectivos. Sin embargo, se han utilizado de forma arbitraria, es decir, no existe doctrina ni parámetros que estandaricen los procedimientos para asignarlos conforme a las operaciones que se deben realizar. Aunque esto ha propiciado buenos resultados hasta el momento, no proporciona elementos técnicos que se ajusten a una planeación estratégica y que mejoren el despliegue operativo de la Policía, en donde el Área de Aviación Policial y los funcionarios del MNVCC conozcan los aportes que una puede integrar a la otra.

También, se identificó que en el MNVCC no existe un conocimiento más preciso del apoyo que la Aviación les puede proporcionar. Por ello, no se incluye en los planes operativos, ignorando una ayuda significativa si se tienen en cuenta todas las herramientas y los equipos de los que dispone un helicóptero o las funcionalidades que puede tener un dron. Esto demostró necesidades en cuanto a la generación de doctrina operacional con la que se proyecte una mejor y potenciada funcionalidad de las capacidades de Aviación Policial en ajuste a las labores que ejerce el MNVCC, y que pueda ser difundida en ambas unidades para que se logre un conocimiento que beneficie el trabajo articulado entre estas.

## Referencias

Acero, H. (2002). Seguridad y convivencia en Bogotá: logros y retos 1995-2001. En Carrión, F (Ed.), *Seguridad Ciudadana, ¿espejismo o realidad?* (pp.451-474). Facultad

Latinoamericana de Ciencias Sociales. <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/45086.pdf>

Alcaldía de Santiago de Cali. (2016). *Plan de Desarrollo Municipal 2016-2019 "Cali Progresamos Contigo". Eje 3 "Cali Progresamos en Paz con Seguridad y Cultura Ciudadana"*. Alcaldía de Santiago de Cali. <https://www.cali.gov.co/planeacion/loader.php?lServicio=Tools2&lTipo=descargas&lFuncion=descargar&idFile=47992>

Aviación Policial. (2019, 3 de mayo). *Resolución 01808 de 2019. Por la cual se expide el Manual de Aviación Policial de la Policía Nacional*.

Aviación Policial. (2020). *Informe Programa de Vigilancia Aérea Urbana*. Imprenta Nacional.

Blasco Hernández, T. y Otero García, L. (2008). Técnicas conversacionales para la recogida de datos en investigación cualitativa: la entrevista (I). *Nure Investigación*, (33). <https://www.nureinvestigacion.es/OJS/index.php/nure/article/view/408>

Brantingham, P. L. y Brantingham, P. J. (1984). *Patterns in crime*. Nueva York: Macmillan.

Cámara de Comercio de Bogotá. (2020). *Encuesta de percepción y victimización segundo semestre 2019. Seguridad y convivencia en Bogotá: la mirada empresarial*. [https://bibliotecadigital.ccb.org.co/bitstream/handle/11520/25171/Encuesta\\_Percepcion\\_%20victimizacion\\_Seguridad\\_IISemestre2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://bibliotecadigital.ccb.org.co/bitstream/handle/11520/25171/Encuesta_Percepcion_%20victimizacion_Seguridad_IISemestre2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Carreón, J. y García, C. (2013). Teorías de la seguridad pública y percepción del delito. *Margen*, (71). <http://www.margen.org/suscri/margen71/carreon.pdf>

Cely, B. (2017). *Estrategia de intervención psicosocial en pro del cambio social y minimización de la problemática de inseguridad que prevalece en el barrio "Divino Niño"* [trabajo de grado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia]. Repositorio institucional UNAD. <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/13188/40943554.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

Chaparro, F. (2015). *Aviación policial para la convivencia y seguridad ciudadana*. Comité de Revisión Estratégica e Innovación Policial.

Congreso de la República. (2016, 29 de julio). Ley 1801 de 2016. Por la cual se expide el Código Nacional de Policía y Convivencia. Diario Oficial N.º 49.949.

Drone Services. (2020). *Drones para la seguridad ciudadana*. <https://www.droneservices.com.ar/industria-4-0/drones-para-seguridad-ciudadana/>

Escobar de Morel, M. (2012). La participación ciudadana en Paraguay. Análisis a partir de la transición democrática.

- Revista Internacional de Investigación en Ciencias Sociales*, 8(1), 119-140. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3999483>
- Estupiñán, K. (2019). *Con drones de última tecnología se refuerza seguridad en Bogotá*. Alcaldía Mayor de Bogotá. <https://bogota.gov.co/mi-ciudad/seguridad/drones-para-la-seguridad-en-bogota>
- Fuerza Aérea Colombiana. (2021). *Misiones de patrullaje y vigilancia aérea se realizan en todo el territorio nacional para garantizar la seguridad en este inicio de año*. <https://www.fac.mil.co/misiones-de-patrullaje-y-vigilancia-a%C3%A9rea-se-realizan-en-todo-el-territorio-nacional-para-garantiz-0>
- Goyeneche, F. E. y Muñoz Guerrero, U. A. (2011). Determinantes de las muertes por homicidios en Colombia en el periodo de 1970-2008. *Saber, Ciencia y Libertad*, 6(2). <https://doi.org/10.18041/2382-3240/saber.2011v6n2.2499>
- Granados Becerra, J. C. (2018). Seguridad ciudadana en Bogotá. Análisis del presupuesto y la eficiencia en el gasto local 2011-2016. *Revista Digital de Derecho Administrativo* (20), 201-238. <https://doi.org/10.18601/21452946.n20.09>
- Hernández-Sampieri, R., Baptista Lucio, P. y Fernández Collado, C. (2014). *Metodología de la Investigación*. McGraw-Hill.
- Hernández-Sampieri, R. (2018). *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill.
- Lechner, M. (2016). Tecnologías aplicadas a la seguridad ciudadana: desafíos para la justicia transicional ante nuevos mecanismos de control social. *Divulgatio*, (1). <https://dialnet.unirioja.es/ejemplar/574099>
- Losada, M. (2015). *La Aviación Policial como apoyo fundamental a la convivencia ciudadana mediante la vigilancia y patrullaje aéreo* [trabajo de grado, Universidad Militar Nueva Granada]. Repositorio institucional UMNG. <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/13869/Trabajo%20Grado%20EAG,%20Milton%20Losada%20Cod%205200283.pdf;jsessionid=7811DE30CE5925083C2D9FE2D0E007E3?sequence=2>
- Morash, M. y Ford, J. K. (2002). *The move to community policing: Making change happen*. Sage Publications.
- Osakpa, D. (2012). Political violence and secondary school education in Nigeria: A case study of Bette-Bendi people of Cross River State. *Mediterranean Journal of Social Sciences*, 3(15), 62. <https://www.richtmann.org/journal/index.php/mjss/article/view/11521>
- Otzen, T. & Manterola, C. (2017). *Técnicas de muestreo sobre una población a estudio*. International Journal of Morphology, 25(1), 227-232. <https://scielo.conicyt.cl/pdf/ijmorphol/v35n1/art37.pdf>
- Páez Murillo, C. A., Sandoval Garrido, L. E. y Peón Escalante, I. E. (2020). Caracterización del Modelo Nacional de Vigilancia Comunitaria por Cuadrantes en Bogotá desde un enfoque sistémico. *Revista Científica General José María Córdova*, 18(30). <https://doi.org/10.21830/19006586.591>
- Policía Metropolitana de Bogotá (Mebog). (2020, 27 de octubre). *Estadística Mebog a octubre de 2020*. Sistema de Información Estadístico, Delincuencial, Contravencional y Operativo de la Policía Nacional.
- Policía Nacional de Colombia. (2008). *Lineamientos generales de la política para la Policía Nacional de Colombia*. Imprenta Nacional.
- Policía Nacional de Colombia. (2010). *Estrategia institucional para la seguridad ciudadana: Plan Nacional de Vigilancia Comunitaria por Cuadrantes (PNVCC)*. Policía Nacional de Colombia. <https://www.oas.org/es/sap/dgpe/innovacion/banco/ANEXO%20I.%20PNVCC.pdf>
- Policía Nacional de Colombia. (2014). *Modelo Nacional de Vigilancia Comunitaria por Cuadrantes*. Imprenta Nacional.
- Policía Nacional de Colombia. (2019). Drones: aporte tecnológico al programa de vigilancia urbana. *Revista de la Policía Nacional*, 66-67. <https://www.policia.gov.co/sites/default/files/publicaciones-institucionales/revista-policia-nacional-edicion-317.pdf>
- Presidencia de la República de Colombia. (2019). *Política Marco de Convivencia y Seguridad Ciudadana*. Presidencia de la República.
- Question Pro. (2020). *Muestreo intencional. Características y ejemplos*. <https://www.questionpro.com/blog/es/muestreo-intencional/>
- Ramírez, A. (2016). Los Hot Spots: una estrategia fallida para Bogotá. *Desafíos*, 28(2), 255-296. <http://dx.doi.org/10.12804/desafios28.2.2016.07>
- Rodríguez Roncancio, P. A. (2020). *Análisis del Modelo Nacional de Vigilancia por Cuadrantes de la Policía Nacional en el periodo 2016-2019 en Bogotá* [monografía de grado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia]. Repositorio institucional UNAD. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/34398>
- Rodríguez Gómez, G., Gil Flores, J. y García, Jiménez, E. (1996). Tradición y enfoques en la investigación cualitativa. En G. Rodríguez Gómez, J. Gil Flores y E. García Jiménez, *Metodología de la investigación cualitativa*. Ediciones Aljibe.
- Tamayo Arboleda, F. L. y Norza Céspedes, E. (2018). Midiendo el crimen: cifras de criminalidad y operatividad

policial en Colombia. *Revista Criminalidad*, 60(3), 49-71. <http://www.scielo.org.co/pdf/crim/v60n3/1794-3108-crim-60-03-00049.pdf>

Tanner-Smith, E. E., Wilson S. J., Lipsey, M. W., Felson, M., Clarke, R. V., Sampson, R. J., Sherman, L. W., Goldstein, H., Braga, A. A., Flynn, E. A., Kelling, G. L., Cole, C. L., Weisburd, D., Eck, J. E., Nagin, D. S., Cullen, F. T., Andrews, D. A., Zinger, I., Hoge, R. D. y Bonta, J., et al. (2019). *La seguridad ciudadana, lecturas fundamentales*. Banco de Desarrollo de América Latina.

Tudela Poblete, P. (2010). *Conceptos y orientaciones para políticas de seguridad ciudadana*. Centro de Investigación y Desarrollo Policial.

Tudela Poblete, P. (2012). *La evaluación del desempeño de la policía: explorando relaciones entre opinión pública y labor policial en Chile*. *Criminalidad*, 54(1), 379-404. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3992212>

Vargas, J. (2019). *Despliegue estandarizado de Unidades de Comando y Control Móvil SIART para las Metropolitanas*. Policía Nacional de Colombia.

# Nuevos roles militares y otras medidas asociadas a la gestión del riesgo en relación con la pandemia de la COVID-19 en Colombia\*

| Fecha de recibido: 02 de junio del 2021 | Fecha de aprobación: 16 de noviembre del 2021 |

## Alejandra Cerón Rincón

Doctora en Estudios Políticos y Relaciones Internacionales

Docente, Escuela Superior de Guerra  
Colombia

Rol del investigador: experimental y escritura

<http://orcid.org/0000-0002-5642-7949>

✉ [alejandra.ceron.rincon@gmail.com](mailto:alejandra.ceron.rincon@gmail.com)

## Yuber Rico Venegas

Magíster en Ciencias Militares Aeronáuticas

Fuerza Aérea Colombiana  
Colombia

Grupo de Investigación en Seguridad Integral, Inteligencia y Ciberdefensa (GISIC)

Rol del investigador: experimental y escritura

<http://orcid.org/0000-0002-1005-9925>

✉ [yuber.rico@fac.mil.co](mailto:yuber.rico@fac.mil.co)

\* Producto de Investigación derivado del proyecto “Activos vitales en Colombia desde el enfoque de la seguridad humana” de la Maestría en Dirección y Gestión de la Seguridad Integral de la Escuela de Posgrados de la Fuerza Aérea Colombiana, 2020.

**Cómo citar este artículo:** Cerón Rincón, A., & Rico Venegas, Y. (2022). Nuevos roles militares y otras medidas asociadas a la gestión del riesgo en relación con la pandemia de la COVID-19 en Colombia. *Ciencia y Poder Aéreo*, 17(1), 116-127. <https://doi.org/10.18667/cienciaypoderaereo.745>



## Nuevos roles militares y otras medidas asociadas a la gestión del riesgo en relación con la pandemia de la COVID-19 en Colombia

## New military roles and other risk management measures associated with the COVID-19 pandemic in Colombia

## Novas funções militares e outras medidas associadas à gestão de risco em relação à pandemia de COVID-19 na Colômbia

**Resumen:** La actual crisis mundial, originada por la pandemia de la COVID-19, ha exigido la respuesta efectiva del Estado a través de la coordinación interagencial de sus instituciones y la sociedad civil. Este artículo explora cómo desde los comienzos del siglo XXI en Colombia se han desarrollado las condiciones necesarias para que las Fuerzas Armadas proyecten, construyan y desplieguen en el territorio nuevas capacidades relacionadas con el control de nuevos desafíos presentes en los contextos de seguridad. Dichos contextos inicialmente estuvieron relacionados con el proceso de construcción de paz en el territorio, pero en la coyuntura de la nueva enfermedad y su contagio ha mutado hacia situaciones asociadas con brigadas de salubridad, la atención de emergencias y la contención de la población civil en situación de crisis. Con la discusión de algunas medidas que se han implementado en el país, desde el comienzo de la emergencia sanitaria declarada en marzo de 2020, se pretende analizar cómo los esfuerzos y programas asociados a la construcción de nuevos roles militares en Colombia pueden ser la base para nuevas apuestas en la gestión del riesgo.

**Palabras clave:** Colombia; nuevos roles; pandemia; seguridad humana.

**Abstract:** The current global crisis, originated by the COVID-19 pandemic, has demanded the effective response of the State through the interagency coordination of its institutions and civil society. This article explores how, since the beginning of the 21st century in Colombia, the necessary conditions have developed for the Armed Forces to project, build and deploy in the territory new capabilities related to the control of new challenges present in the security contexts. These contexts were initially related to the peace building process in the territory, but in the context of the new disease and its contagion, they have mutated into situations associated with health brigades, emergency care and containment of the civilian population in crisis situations. By discussing some of the measures that have been implemented in the country since the beginning of the health emergency declared in March 2020, the aim is to analyze how the efforts and programs associated with the construction of new military roles in Colombia can be the basis for new risk management strategies.

**Keywords:** Colombia; new roles; pandemic; human security.

**Resumo:** A atual crise mundial, provocada pela pandemia do COVID-19, tem exigido do Estado uma resposta efetiva por meio da coordenação interagencial de suas instituições e da sociedade civil. Este artigo explora como, desde o início do século XXI, se desenvolveram na Colômbia as condições necessárias para que as Forças Armadas projetem, construam e implantem no território novas capacidades relacionadas ao controle de novos desafios presentes em contextos de segurança. Estes contextos estavam inicialmente relacionados com o processo de construção da paz no território, mas devido à nova doença e do seu contágio, transformou-se em situações associadas às brigadas de saúde, aos cuidados de emergência e à contenção da população civil em situação de crise. Com a discussão de algumas medidas que foram implementadas no país, desde o início da emergência sanitária decretada em março de 2020, pretende-se analisar como os esforços e programas associados à construção de novos papéis militares na Colômbia podem ser a base para novas apostas na gestão de risco.

**Palavras-chave:** Colômbia; novos papéis; pandemia; segurança humana.

## Introducción

El estado de emergencia mundial declarado por la pandemia de la COVID-19 en el año 2020 implicó el desarrollo de acciones internacionales, lideradas por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2020), en las que se hacía manifiesta la necesidad de que los países comenzaran a prepararse de manera sostenible y continua ante este tipo de retos; no solo para la atención de la situación coyuntural desatada en 2019 en Asia, sino también desde una perspectiva de institucionalidad al reconocimiento de este tipo de situaciones como frecuentes y esperadas. En efecto, Estados como Francia, Finlandia e Indonesia, en conjunto con la OMS, declararon la importancia de una “preparación sostenible para la seguridad sanitaria y la resiliencia: adoptar un enfoque de toda la sociedad y romper el ciclo de «pánico y olvido»” (2020). Para llevar a cabo dicha iniciativa, es claro que los Estados deben pensar sus planes de gestión de emergencias sanitarias a partir de la integración y coordinación de todos los estamentos del poder público de manera integrada con la sociedad.

En este punto, y en especial en el marco de las acciones destinadas para la contención de la enfermedad de la COVID-19, así como la prevención de su contagio, las Fuerzas Militares (FF. MM.) han brindado apoyo a la gestión pública en sus países de origen, con su participación en diferentes roles y tareas como mantener el orden público en relación con las restricciones de circulación y los confinamientos, acompañar el proceso de distribución de medicamentos y vacunación de la población, apoyar la entrega de ayuda humanitaria para las poblaciones más afectadas, entre otras cuestiones cuya reflexión y análisis se define a partir de la proyección de los nuevos roles de las FF. MM.

Las acciones adelantadas por las FF. MM., a través de los roles mencionados, dinamizan las interacciones de militares con estamentos de la sociedad civil y dan lugar a un nuevo escenario de significados sobre dichas relaciones. Para la situación concreta originada por la pandemia de la COVID-19, un acercamiento al tema debe estar enmarcado en el ámbito de

la investigación sobre las relaciones civiles militares; que para el caso de Colombia ha estado concentrado principalmente en las relaciones que se establecen entre las FF. MM. y el poder público, y en la manera como entre estos dos escenarios se establecen relaciones de confianza mutua (entre uniformados y civiles<sup>1</sup>). No obstante, con los cambios en las dinámicas y las necesidades asociadas al sector de la seguridad, y en los roles y las participaciones de los militares en diversos ámbitos de la sociedad, dichas relaciones se han transformado en varios sentidos, lo cual amerita una revisión del tema desde el contexto de la intervención de las FF. MM. de Colombia en escenarios de pandemia.

## Pandemia y seguridad, su relación en el siglo XXI

Los Estados-nación en el siglo XXI han enfrentado grandes desafíos e interrogantes en cuanto a su actuación y definición sobre los problemas de seguridad, debido a que el proceso de la globalización condiciona cada vez más el mantenimiento de la soberanía de esta unidad política. En efecto, la fuerte influencia que las relaciones entre los Estados pueden tener en las dimensiones económicas, políticas y culturales en el nivel local evidencia parte de la crisis actual en términos de seguridad. Sobre esta situación en particular, Colomer comenta que:

El influjo sobre las estructuras políticas de los Estados, a los que condiciona en la autonomía de sus decisiones tanto económicas como de alianzas y pactos, es cada vez más creciente y ello ha convertido hacia el exterior en verdadera ficción jurídica el concepto de

<sup>1</sup> Al respecto, se comparte la interpretación de José David Moreno (2014), quien argumenta cómo la configuración de estas relaciones civilo-militares en Colombia, construidas desde el siglo XIX y con la misma tendencia en el siglo XX, se ha caracterizado por el fuerte alejamiento de las FF. MM. respecto a los asuntos de la política. Por tanto, en esta marcada posición de no intervención, los estamentos civiles han actuado con supremacía, pero así también con una profunda separación en cuanto a la gestión de lo público.

soberanía y hacia el interior también se han debilitado y convertido en mito jurídico político los conceptos de ley como expresión de la voluntad general y de representación política. (2013, p. 282)

La respuesta de la ciudadanía ante este desconcierto es la conformación de redes de acción social cada vez más integradas y que promueven causas como la defensa de los derechos humanos y medioambientales, el comercio justo, la disminución de la desigualdad y la pobreza; todos estos hechos aumentan las demandas y expectativas de la sociedad en general frente al dilema de la seguridad y, por tanto, las formas de interacción con las FF. MM..

Dicho contexto y el cambio de paradigmas en las ciencias sociales, que está haciendo más vigentes los enfoques interpretativos<sup>2</sup>, también han permitido la construcción de nuevas nociones del dilema de la seguridad y la conceptualización de nuevas amenazas, y con ellas un marco de interpretación variado en relación con la definición de los roles de las FF. MM..

En cuanto a la definición de nuevas amenazas, es necesario tener como referente la declaración de la Conferencia Especial sobre Seguridad en México de 2003, en especial en relación con el hecho de que allí se alertó sobre el creciente desarrollo de aquellas amenazas que “han supuesto un corolario de cuestiones y asuntos que conformaron la denominada ‘nueva agenda de seguridad’, en la que despunta el narcotráfico, el fenómeno guerrillero, el terrorismo, los conflictos étnicos, raciales, nacionalistas o religiosos, etc.” (Sain, 2001).

La situación mundial de control de la pandemia de la COVID-19 causó una fractura importante de las formas de interacción entre las personas, las instituciones y otras formas de asociación, lo cual ha hecho que una pausa momentánea en las relaciones interpersonales tenga un impacto notable en las cifras de crecimiento económico y, en general, de los datos financieros

globales de 2020 y 2021. La situación también tuvo un impacto en la seguridad, al menos protagónicamente, por la creciente importancia de la seguridad humana y ambiental.

La definición aceptada en esta forma de interpretar la seguridad viene dada desde la discusión promovida por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), en la que el acercamiento a la *seguridad humana* está basado en los conceptos y las herramientas de interés para la discusión y la forma de abordar el problema en términos y planes políticos. Este enfoque tiene la intención de consolidar varias dimensiones del problema.

En estas exploraciones a la noción de seguridad humana, continuando con la interpretación señalada desde la acción internacional, la Secretaría Distrital de Planeación de Bogotá (SDP, 2013) utilizó estos fundamentos en busca de garantizar un máximo nivel de bienestar y una serie de libertades para todos los seres humanos. Entre estas dimensiones se logran asociar los siguientes aspectos:

1. Seguridad económica: Garantizada por medio de la protección a amenazas como desempleo y pobreza crónica, además de la garantía de ingresos justos.
2. Seguridad alimentaria: Con esta se busca la protección frente a amenazas como la hambruna, mediante la accesibilidad a alimentos básicos.
3. Seguridad de la salud: Protección ante amenaza de enfermedades, acceso a servicios sanitarios básicos y servicios de salud.
4. Seguridad ambiental: Esta se asocia a la protección de amenazas de tipo medioambiental, como los desastres naturales, y a la protección de los recursos.
5. Seguridad personal: Protección frente a amenazas de violencia física o psicológica y frente a acciones delictivas que pongan en riesgo la integridad personal.
6. Seguridad comunitaria: se asocia a la protección de amenazas relacionadas con la intolerancia frente a diferencias étnicas, culturales o religiosas.

<sup>2</sup> Entre ellos están el enfoque constructivista y el aporte de la Escuela Inglesa de las Relaciones Internacionales y la Escuela de Copenhague, cuya revisión se plantea en Cerón y Ortiz (2020).

7. Seguridad política: protección ante amenazas de vulneración de los derechos humanos y los derechos civiles. (SDP, 2013, p. 7-8)

Así las cosas, y en respuesta a estos fenómenos y demandas de la sociedad civil, el Estado, a través de las FF. MM., ha explorado nuevas opciones de participación para el control de fenómenos no contemplados en las visiones tradicionales, como es el caso del terrorismo, el crimen organizado, el tráfico de personas y el tráfico de especies, entre otros flagelos que afectan al planeta.

## Relaciones civiles militares: la participación de las FF. MM. en emergencias sanitarias

Desde el siglo xx, los acontecimientos históricos han demostrado que el único fin de un ejército no es la guerra, aunque sea considerado el más importante, como tampoco la seguridad está compuesta solo de la acción frente a amenazas externas e internas para el Estado. Lo anterior, a raíz de los acontecimientos posteriores al fin de la Primera Guerra Mundial, momento en que primero Europa y después otros lugares del mundo resultaron contagiados con la influenza o “gripa española”, que contagió a alrededor de quinientos millones de personas en todo el mundo, de las cuales murieron por la enfermedad casi cincuenta millones (Centro Nacional de Vacunación y Enfermedades Respiratorias [NCIRD], 2018).

Estos trágicos hechos opacaron la celebración mundial por el restablecimiento del equilibrio de la paz que se había alcanzado por medio de los acuerdos políticos firmados en Compiègne, Francia, el 11 de noviembre de 1918, y que al mismo tiempo demostraban que el contexto de la seguridad necesita un marco de análisis amplio y complejo para alejarse de los enfoques clásicos del pensamiento en relaciones internacionales y los estudios estratégicos. Las principales víctimas de la “gripa española” fueron soldados que

después de sobrevivir a la guerra se reagrupaban para regresar a sus lugares de origen. Esta dura lección dejó en los ejércitos principios como su preservación para garantizar su operatividad.

Un siglo después, el mundo volvió a quedar paralizado por una crisis de salud asociada a la expansión progresiva de la covid-19. No obstante, a diferencia de la crisis de la influenza del siglo xx, el rol que hoy en día desempeñaron las FF. MM. en los países más contagiados fue diferente, pues en la mayoría de los lugares donde la emergencia sanitaria era desproporcionada, los ejércitos suspendieron sus prácticas habituales para concentrarse en ofrecer sus capacidades para el control de la expansión del virus. Al menos esa es la situación que se vive en España, Italia y Francia.

Después de ser declarada la emergencia sanitaria por el contagio del virus de la covid-19 en marzo de 2020, fue necesaria la implementación de diversos planes para la contención de la pandemia, entendiendo que las magnitudes de este fenómeno no se presentaban en el mundo desde comienzos del siglo xx. Como resultado de este nuevo requerimiento para la seguridad del Estado, los roles desempeñados por las FF. MM. han transitado desde el apoyo a la movilidad, pasando por el control del orden público y el apoyo a los procesos de vacunación, hasta la asistencia a los programas sociales en diversas regiones del mundo.

En el caso de Italia, por ejemplo, con el incremento de la curva de contagios y decesos presentada durante 2020 en las grandes ciudades del norte del país, se observó cómo las FF. MM. comenzaron a intervenir gradualmente en la vida de las ciudades, sobre todo controlando a aquellos ciudadanos que, al no tener conciencia de la gravedad del problema, hacían caso omiso de las medidas de confinamiento. Paulatinamente, la participación del ejército fue aumentando hasta el punto de prestar los vehículos de servicio militar para el transporte de los cuerpos de las víctimas de la pandemia.

En el caso de España, el ejército decidió suspender sus maniobras habituales para atender la emergencia sanitaria en el país. De igual modo, construyó una lista de capacidades que fueron informadas al Gobierno con la intención de coordinar acciones

conjuntas en la medida en que así se requiriera. En otras partes del mundo, la medida se empezó a implementar de manera tardía. Es el caso de Rusia, que tras semanas de haber decretado un confinamiento voluntario de la población y haber evaluado la poca efectividad de la decisión, impuso cuarentena obligatoria en ciudades como Moscú, San Petersburgo y en otras quince regiones del país. El cumplimiento del toque de queda estuvo a cargo de las FF. MM.

Pero si en algunos lugares del planeta las medidas de confinamiento no se cumplieron porque hubo poca conciencia respecto a la gravedad del asunto, sobre todo de los más jóvenes, en otros lugares el incumplimiento se dio porque las medidas representaban más hambre y desesperación que la enfermedad misma. Es el caso de poblaciones que hoy en día sufren situaciones de marginalidad, abandono y pobreza extrema; al menos es así como llegó el coronavirus al África Sahariana. En Kenia, por ejemplo, la desesperación de la gente se unió a la falta de preparación del cuerpo policial con un resultado desafortunado:

[...] la policía disparó gases lacrimógenos contra una multitud de personas el primer día del toque de queda impuesto por el gobierno. “Nos horrorizó el uso excesivo de la fuerza policial. Continuamos recibiendo testimonios de víctimas, testigos oculares y videos que muestran a la policía agrediendo alegremente a la población”, declaró Amnistía Internacional en Kenia. (*El Espectador*, 30 de marzo de 2020)

## Antecedentes de nuevos roles en la región de América Latina

El hemisferio occidental, en la actualidad, presenta un escenario de vacilaciones en materia de seguridad. Su panorama es un tanto sombrío en cuanto al balance de la acción de las llamadas “nuevas amenazas, preocupaciones y otros desafíos de naturaleza diversa” (Organización de Estados Americanos [OEA], 2003) frente a la respuesta de los Estados; y nos enseña una

ecuación a favor del primer término planteado, es decir, beneficia los intereses de las denominadas nuevas amenazas. Sectores subregionales están siendo afectados por: la agresión creciente de estructuras de crimen organizado transnacional; la desestabilización provocada por las migraciones irregulares amén de causas políticas, sociales y económicas; el aumento de la depredación medioambiental y el incesante flujo de desastres naturales, aspecto que en la actualidad preocupa a los gobernantes, especialmente a las autoridades encargadas de vigilar y proveer niveles normales de seguridad.

En la actualidad, a nivel global y regional, el tema de la transformación de las Fuerzas Armadas (FF. AA.) representa un asunto de sensible interés para la seguridad internacional: “[...] los conceptos clásicos de seguridad y defensa están siendo superados por las complejidades del mundo actual que demandan compromisos nacionales e internacionales, sean estas misiones de estabilización post-conflicto, catástrofes humanitarias, climáticas y otras del tipo no convencional” (Guzmán Martínez, 2013, p. 25). Hay ejemplos de esto como el terrorismo, la delincuencia organizada transnacional, el problema mundial de las drogas, la corrupción, el lavado de activos, el tráfico ilícito de armas y las conexiones entre ellos, tal como fue previsto en la Declaración sobre Seguridad en las Américas.

La construcción del debate en torno a la transformación de las FF. MM. y sus roles en las sociedades modernas no es un interés particular de Colombia o de las naciones del hemisferio, debido a diversas manifestaciones de las amenazas transnacionales como el crimen organizado, el terrorismo, los problemas de control fronterizo, la proliferación de organizaciones de crimen transnacional organizado en regiones como el Triángulo del Norte, etc.

Un tema de absoluta actualidad en las agendas de defensa a nivel global y regional consiste en la indagación en materia de los alcances que a mediano y a largo plazo puedan presentarse en el campo de la seguridad y defensa, desde el enfoque de la asunción por parte de las FF. MM. de roles diferentes a los encomendados en el escenario estrictamente tradicional.

El debate de este asunto es, sin duda, un adeudo eminentemente de los políticos, quienes por competencia deben decidir sobre las cuestiones relativas a la política pública en defensa y seguridad. Sin embargo, y por el hecho de que el tema sea de la esfera política, los militares no están vedados a estudiar y opinar institucionalmente sobre sus impactos, incluso amén de la correcta acepción en la que las FF. MM. deben sustraerse del principio de la deliberancia política, pues la tarea de observación que cumplan los militares en este aspecto será solo desde el ámbito de la estrategia y la doctrina.

La transformación de las FF. MM. a nivel global tiende a convertirlas en fuerzas multidimensionales enfocadas en misiones de seguridad, cuya misión las proyecte en distintas dimensiones y puedan enfrentar diferentes tipos de amenazas. Sin embargo, un cambio de esta magnitud trae consigo el riesgo de limitar a una fuerza militar e impedirle actuar para combatir varios factores de amenazas. Sin duda, unas FF. MM. que se precien de aplicar los últimos desarrollos en seguridad y defensa tendrán incorporar en su doctrina conceptos de seguridad humana y multidimensional. Adicionalmente, es necesario garantizar que en un país como Colombia no se pierdan sus capacidades y, más aún, fortalecer las herramientas jurídicas que garanticen la aplicación de la coerción a fenómenos de violencia criminal organizada.

## Pandemia, nuevos roles y conflictos sociales

El 25 de mayo de 2020, George Floyd, un afroamericano de 46 años de edad, murió luego de ser arrestado por la policía en la ciudad de Minneapolis en Estados Unidos. Aunque a la fecha no han sido emitidos conceptos definitivos sobre la investigación del caso, la Fiscalía del Estado presentó cargos al ex agente de la policía Derek Chauvin, que fue arrestado y trasladado a una cárcel de máxima seguridad. Los otros tres policías presentes el día del arresto también fueron acusados y detenidos.

Tras los hechos del 25 de mayo, comenzaron a verse multitudinarias protestas en contra del racismo y la violencia, inicialmente en Estados Unidos y después en otros lugares del mundo. A pesar de la pandemia de la COVID-19 y de las recomendaciones de salud pública por mantener el distanciamiento social, multitudes de personas salieron a las calles de Australia, Alemania, Reino Unido, Francia y Grecia. Se vio marchar a grupos extensos de jóvenes en la ciudad de Tokio, en Japón, con el argumento de que, como resultado de la globalización, las sociedades orientales son hoy en día multiculturales y por tanto deben enfrentar estos dilemas (Deutsche Welle, 6 junio 2020).

Las protestas, lejos de ser pacíficas, desencadenaron el caos, enfrentamientos con la policía, amotinamientos y saqueos, por lo que, ante la encrucijada por mantener la estabilidad y el control social, la respuesta de los diferentes Estados alrededor del mundo fue enviar a la fuerza policial a las calles para recuperar el control y, en caso de agravarse la situación, a las fuerzas especiales. El resultado fue varios días de combate y amotinamiento, sobre todo en las ciudades norteamericanas.

Si bien es cierto que el motivo central de esta oleada de protestas fue el racismo, no por ello puede omitirse el hecho de que otro tipo de inconformidades, unidas a la crisis económica derivada de la pandemia, y junto a intereses políticos de cara a las próximas elecciones en Estados Unidos, hacen parte del complicado escenario que hoy se vive en torno a la seguridad ciudadana.

Tras las protestas, se encendió un debate público sobre el futuro y la posible transformación de la policía, en el que Donald Trump y Joseph Biden han mostrado una distancia importante en la interpretación del problema. Trump declaró en un discurso que: “Nuestras policías nos han permitido vivir en paz y puede que recientemente hayamos sido testigos de cosas horribles, pero el 99 por ciento son gente magnífica” (*El Mundo*, 9 de junio de 2020). Trump defendió la idea de fortalecer la institución, mientras que el entonces candidato Biden (con un discurso próximo a la transformación, la modernización e incluso la reducción de los cuerpos policiales), afirmó que Trump en sus discursos

hacia un “llamado a la violencia contra ciudadanos estadounidenses durante un momento de dolor” (BBC Mundo, 30 de mayo de 2020).

Pero a pesar de que el debate político estaba apenas comenzando, el recrudecimiento de la violencia y la preocupación por el orden y la estabilidad social estaba a la orden del día. En Richmond, por ejemplo, un miembro del Ku Klux Klan chocó su camioneta contra manifestantes del grupo Black Lives Matter (*El Mundo*, 9 de junio de 2020). Este tipo de hechos motivaron que se declarara el toque de queda en varias ciudades de Estados Unidos en mayo de 2020, y que en el caso del estado de Minnesota, el gobernador Tim Walz, desplegara las tropas de la Guardia Nacional, hecho que no ocurría hacía más de un siglo (*BBC Mundo*, 31 de mayo de 2020).

En el ámbito de las interpretaciones, el presidente Trump atribuyó los disturbios a “Antifa y otros grupos radicales de izquierda”, y aseguró que la memoria de Floyd estaba siendo “explotada por alborotadores, saqueadores y anarquistas”, mientras que “el alcalde de Minneapolis, Jacob Frey, apuntó a supremacistas blancos como presuntos agitadores de las protestas” (*BBC Mundo*, 31 de mayo de 2020).

En este contexto, se puede apreciar que las tensiones y repercusiones sobre la seguridad en las ciudades, a medida que la crisis aumentaba, hizo necesaria la presencia de las FF. AA. para reestablecer el control social, hecho que pudo resultar en el uso de las armas contra los manifestantes. En ese momento, se renunció a la responsabilidad política y el control social que debe ejercer la sociedad que se autogobierna libremente mediante el sistema de la democracia, en espera de que las tropas, entrenadas para defender los intereses de la nación, se convirtieran en árbitros de situaciones cuya naturaleza es eminentemente política.

## El contexto latinoamericano

El compendio de políticas que fueron anunciadas el 16 de marzo de 2020, de manera coordinada entre todos los países vecinos en la región (Colombia, Perú,

Ecuador, Brasil y Venezuela), comprendió el cierre de fronteras terrestres y marítimas con la intención de controlar la movilización de ciudadanos entre Estados. Al igual que los países asiáticos y europeos, en Latinoamérica se implementaron decisiones como el control migratorio epidemiológico en los aeropuertos, la restricción de clases y actividades académicas en los centros educativos, y la cancelación de eventos con afluencia masiva de público.

Un estimado global sobre el riesgo que estas medidas reportaron para el equilibrio de la economía deja en claro que, en su toma de decisiones, los Gobiernos dieron prelación al valor supremo que es la defensa de la vida humana. Por lo anterior, estos planes de acción respecto al control de la movilidad de las personas debían ir acompañados de un paquete de inversiones de los Gobiernos para salvaguardar sus economías.

Para el caso concreto de Colombia, por ejemplo, el cierre temporal de fronteras estuvo proyectado hasta el 30 de mayo de 2020, con algunas excepciones, como mencionó el presidente Iván Duque: “En el caso de Perú, el presidente Martín Vizcarra tomó la decisión de cerrar todos los puntos fronterizos. Siempre se exceptuará el transporte de carga” (*Red Más Noticias*, 30 de mayo de 2020).

El resultado más evidente de estas decisiones tuvo que ver con la estabilidad del mercado en toda la región, por lo que estos cambios han pretendido ser amortiguados invocando la figura de la cooperación humanitaria a nivel internacional. Este hecho facilitaría el apoyo de organizaciones cuya naturaleza es la preocupación por el bienestar y el equilibrio de los mercados, por lo cual la estrategia de los Gobiernos es poder contar con el apoyo de organizaciones como “[...] el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y el Banco de Desarrollo de América Latina (CAF) para el diseño de futuros planes de reactivación económica y empleo en las comunidades que resulten más afectadas por esta pandemia” (*Portafolio*, 16 de marzo de 2020).

Para la contención del virus en Colombia, se activó el Plan Buen Vecino y Plan de Prevención y Acción (Ministerio de Defensa), que propone la movilización de pelotón de apoyo humanitario para la gestión del

riesgo. Entre las funciones básicas de estos militares se encontraban: restricción de ingreso de personas no residentes a los territorios nacionales, vigilancia permanente en zonas rurales y urbanas que pueden ver afectadas sus dinámicas de seguridad por la cuarentena, así como difusión y apoyo a las medidas impartidas por el Gobierno en territorios marginados o de difícil acceso.

Ante esta nueva amenaza mundial de la COVID-19, es evidente la necesidad de continuar explorando la configuración de nuevos roles para las FF. AA. no solo desde una visión local, sino también en una interrelación mundial, facilitando de esta manera los espacios para la cooperación, la gobernanza y la innovación en la gestión del riesgo.

Pero no solo las economías entraron en crisis. Las organizaciones y la vida institucional, en términos generales, comenzaron a enfrentar un cambio cualitativo trascendental que obligó a repensar las formas de la comunicación y la interacción entre los miembros de la sociedad.

A raíz de la recesión económica y la inestabilidad de los mercados, llegó una onda de pánico generalizado que planteó grandes dilemas para los estamentos militares. En primera instancia, con la cuarentena de la población y la restricción a varias de las posibilidades de movilización social, las FF. MM. se vieron obligadas a asumir el control de la vida civil sin coordinación con otros estamentos e instituciones que podían generar el nexo con la sociedad civil y el ejercicio de la política. En este panorama, fenómenos como la criminalidad transnacional y las constantes amenazas a la seguridad ciudadana comenzarían a ser objeto de contención casi mayoritariamente por el aparato de fuerza del Estado.

En segunda instancia, también es importante tener en cuenta el hecho de que el pánico generalizado motivó la compra de armas en el mundo entero, aunque actualmente es en Estados Unidos donde más se registra este fenómeno. En este segundo acontecimiento, y ante la ausencia de un equilibrio de poderes y mecanismos de legitimización de las decisiones políticas, el escenario podría tornarse más difícil y complejo.

Con estos referentes, las FF. MM. de Colombia respondieron al desafío mediante varios planes y acciones para el apoyo a la contención de la COVID-19, estableciendo dos objetivos principales (Ejército Nacional de Colombia, 2020):

- El primero fue aplicar el Modelo Colombiano de Intervención Transversal y Transformadora, que propone la atención humanitaria a todos los sectores de la comunidad bajo parámetros constructivos de armonía y concordia, y desde un enfoque solidario, en la medida en que los recursos disponibles de las FF. MM. son puestos al servicio de la comunidad para proteger la integridad del sistema social como a los individuos, formando así una unidad de esfuerzo mutuo para sobrepasar la adversidad. (Escuela Superior de Guerra - ESDEG, 2020).
- El segundo objetivo fue aportar al fortalecimiento de las relaciones cívico-militares a través de acciones decisivas que combinan tareas de estabilidad y Apoyo de la Defensa a la Autoridad Civil.

Para la implementación de estos principios, se utilizó la Operación San Roque como parte de las acciones propuestas para la contención de la pandemia de la COVID-19. En su propuesta general, esta iniciativa estableció conducir operaciones militares de forma conjunta, coordinada e interinstitucional bajo el concepto de operaciones terrestres unificadas (OTU), en el que a las operaciones distintas a la guerra se les dio la misma importancia que tienen las operaciones de combate (Benson, 2012).

El Ejército Nacional impulsó a la acción integral para que, orientado al trabajo de las tropas en el marco de la Operación San Roque, fuera posible planear y ejecutar exitosamente las operaciones de atención y ayuda humanitaria a la población del país durante la emergencia sanitaria provocada por la COVID-19 (Ejército Nacional de Colombia, 2020). Esto fue a través de las siguientes acciones:

- La conformación de unidades tácticas de forma coordinada e interagencial.

- A través de tareas ofensivas y defensivas con seguridad civil, apoyar la cooperación en seguridad y apoyar a las autoridades civiles en tareas de la defensa.

Las líneas de esfuerzo de las FF. MM. de Colombia frente a la COVID-19 en la Operación San Roque estuvieron centradas en cuatro aspectos principales que son los siguientes:

1. Preservar la integridad de las FF. MM. a través de acciones y protocolos relacionados con:
  - Implementación de un puesto de mando alternativo.
  - Reducción en la asistencia del personal a los lugares de trabajo.
  - Fortalecimiento a la red hospitalaria de la institución, trabajo que reunió las siguientes características:
    - Con presencia en doce regiones del país.
    - Distribución de pruebas para detección del virus.
    - Mejoras en la capacidad de las instituciones y construcción de campañas.
    - Elaboración de elementos de protección.
2. Mantener la capacidad operacional mediante las siguientes acciones:
  - Acuartelamiento dentro de las bases/unidades militares con el propósito de aumentar el control con los protocolos de seguridad y de evitar el contagio.
  - Con la Adenda 002-2020 del 19 de marzo de 2020 al Plan 00005302 del 9 de marzo 2020, se emitieron órdenes para la detección temprana, el control y la atención al virus.
3. El desarrollo de operaciones y el control de las fronteras: se hizo un esfuerzo interinstitucional con los organismos sanitarios y de control para establecer puestos de control en las vías de acceso donde se emiten las normas vigentes para

evitar el contagio y se realizaron actividades de desinfección en coordinación con los organismos sanitarios.

4. Asistencia a la autoridad civil: en relación con esta línea se realizaron 7514 actividades de Apoyo de la Defensa a la Autoridad Civil con sus capacidades y las herramientas de acción integral, y se benefició a 26 422 104 personas.

## Proyección de los resultados para la contención de la COVID-19 en el ámbito de seguridad y defensa

La Operación San Roque se alineó a la doctrina de las FF. MM. y a la Política de Defensa y Seguridad del Gobierno Nacional (Ejército Nacional, 2020), y debió entenderse desde sus principios, enmarcados en cuatro campos de acción:

1. Disuasión y diplomacia para la Defensa y la Seguridad.
2. Control institucional del territorio.
3. Desarticular el crimen organizado y garantizar la seguridad ciudadana.
4. Institucionalidad para la Defensa y la Seguridad. (Escuela Superior de Guerra - ESDEG, 2020).

La movilización del pelotón de apoyo humanitario para la gestión del riesgo demostró nuevas capacidades a través de acciones como: la restricción de ingreso de personas no residentes a los territorios nacionales, la vigilancia permanente en zonas rurales y urbanas que pueden ver afectadas sus dinámicas de seguridad por las cuarentenas, así como la difusión y el apoyo a las medidas impartidas por el Gobierno en territorios marginados o de difícil acceso.

## Conclusiones

La actual crisis mundial, originada por la pandemia de la COVID-19, exigió en la mayoría de países del mundo

una respuesta rápida y efectiva para contener el contagio. En este escenario, la participación de las FF. MM. ha sido fundamental, en primera instancia, porque la desproporción de la crisis ha influido en que los ejércitos hayan suspendido sus prácticas habituales para concentrarse en ofrecer sus capacidades para el control de la expansión del virus; y en segunda instancia, porque dicha participación ha promovido una integración de las FF. MM. con los poderes públicos del Estado, a través principalmente de la coordinación interagencial de sus instituciones y la sociedad civil.

En Colombia, en particular, dicha participación ha evidenciado nuevos roles para las FF. MM. en el sentido de que proyecten, construyan y desplieguen en el territorio nuevas capacidades relacionadas con el control de nuevos desafíos presentes en los contextos de seguridad. Tales desafíos inicialmente estuvieron relacionados con el proceso de construcción de paz en el territorio, pero en el contexto de la nueva enfermedad y su contagio han mutado hacia situaciones asociadas con brigadas de salubridad, la atención de emergencias y la contención de la población civil en situación de crisis; todos los elementos anteriores pueden ser la base para nuevas apuestas en la gestión del riesgo.

## Referencias

- Andrade Becerra, Ó. D. (2012). Relaciones cívico-militares en Colombia: apuntes para un estado del arte. *Revista Análisis Internacional*, (6), 145-171. <https://revistas.uta.deo.edu.co/index.php/RAI/article/view/850>
- BBC Mundo. (2020, 20 de marzo). Coronavirus en Italia: las imágenes de los vehículos militares cargados con ataúdes en Bérgamo que han impactado a los italianos. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-51977246>
- BBC Mundo. (2020, 30 de mayo). Muerte de George Floyd: “Trump está haciendo todo lo posible para empeorar las cosas”. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-internacional-52857914>
- BBC Mundo. (2020, 31 de mayo). George Floyd: el dolor y la ira sacuden unas 50 ciudades de EE.UU. tras la muerte del hombre afroestadounidense bajo custodia policial. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-internacional-52857918>
- Benson, B. (2012). Operaciones terrestres unificadas: La evolución de la doctrina del Ejército para lograr el éxito en el siglo XXI. *Military Review*. [https://www.armyupress.army.mil/Portals/7/military-review/Archives/Spanish/MilitaryReview\\_20120630\\_art005SPA.pdf](https://www.armyupress.army.mil/Portals/7/military-review/Archives/Spanish/MilitaryReview_20120630_art005SPA.pdf)
- Centro Nacional de Vacunación y Enfermedades Respiratorias (NCIRD). (2018). *Recordamos la pandemia de la influenza de 1918*. <https://www.cdc.gov/spanish/especialescdc/pandemia-influenza-1918/index.html>
- Cerón, L. A. y Ortiz Ríos, A. (2020). Aproximaciones contemporáneas a la noción de seguridad. *Enfoques y gestión en seguridad integral* (Y. Rico Venegas, D. E. López Cortés y L. A. Cerón Rincón, comps.). Escuela de Posgrados Fuerza Aérea Colombiana.
- CNN en Español. (2020, 16 de marzo). Cierre de fronteras, restricción de entrada y otras: las medidas contra el coronavirus en Latinoamérica. <https://cnnespanol.cnn.com/2020/03/16/cierre-de-fronteras-restriccion-de-entrada-y-otras-las-medidas-contra-el-coronavirus-en-latinoamerica/>
- Colomer Viadel, A. (2013). La crisis del Estado y la reconstrucción del estado de derecho en las organizaciones regionales de integración de estados. *Teoría y Realidad Constitucional*, (31), pp. 279-397
- Deutsche Welle (DW). (2020, 6 de junio). Ola mundial de protestas contra el racismo y la violencia policial. Disponible en: <https://www.dw.com/es/ola-mundial-de-protestas-contra-el-racismo-y-la-violencia-policial/a-53708790>
- Escuela Superior de Guerra - ESDEG (2020). *Las Fuerzas frente a la pandemia. Tarea de las Fuerzas Militares de Colombia contra la pandemia por COVID-19*. CSEDN / CUADERNO COVID-19. Documento Interno.
- El Mundo. (2020, 9 de junio). George Floyd ya descansa en paz en un país dividido: “Es la hora de la justicia racial”. <https://www.elmundo.es/internacional/2020/06/09/5edfd67fdddf199d8b45b6.html>
- El Espectador. (2020, 30 de marzo). En vivo: van 14 muertos y 798 casos por COVID-19 en Colombia. <https://www.elespectador.com/coronavirus/en-vivo-van-13-muertos-y-798-casos-por-covid-19-en-colombia-articulo-906414>
- Ejército Nacional de Colombia (EJC), 2020. *Operación San Roque*. Disponible en: <https://www.cgfm.mil.co/es/san-roque>
- González, M. (2020, 12 de marzo). El Ejército suspende todos sus ejercicios y maniobras para luchar contra la pandemia. *El País*. <https://elpais.com/espana/2020-03-13/el-ejercito-suspende-todas-sus-ejercicios-y-maniobras-y-se-ofrece-contra-la-pandemia.html>

- Guzmán Martínez, V. (2013). Rol y funciones de las Fuerzas Armadas en el siglo XXI: un enfoque desde las nuevas estrategias de Seguridad. *Revista Política y Estrategia*, (122). 173-201. <https://www.politicayestrategia.cl/index.php/rpye/article/download/94/197/>
- Kaufmann, D., Kraay, A. y Mastruzzi, M. (2004). *Governance Matters III: Governance Indicators for 1996, 1998, 2000, and 2002*. Banco Mundial. <http://hdl.handle.net/10986/17136>
- Morgan, G. (1995). *Imágenes de la organización*. Alfaomega.
- Mahecha, C. A. (2015). Fuerzas armadas y posconflicto: reformas, rediseño y posibles tensiones en el proceso de paz colombiano entre las FARC-EP y el Estado (2012-...) [trabajo de grado, Universidad de los Andes]. Repositorio institucional Uniandes. <http://hdl.handle.net/1992/17505>
- Marcus, J. (2019, 18 de septiembre). Ataque en Arabia Saudita: qué países tienen drones en Medio Oriente (y cómo China está haciendo que sean un arma cada vez más accesible). *BBC Mundo*. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-internacional-49736688>
- Marcus, J. (2020, 17 de febrero). Qué significa que el gasto militar esté aumentando en un mundo tan inestable. *BBC Mundo*. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-internacional-51518988>
- Moreno Mancera, J. D. (2014). Relaciones cívico-militares en Colombia: supremacía y control de los partidos políticos sobre la organización militar. *Revista Científica General José María Córdova*, 12(13), 333-352. <https://doi.org/10.21830/19006586.166>
- Organización de Estados Americanos (OEA). (2003, 28 de octubre). *Conferencia Especial Sobre Seguridad/Ser.K/XXXVIII, CES/dec.1/03 rev. 1*. Ciudad de México.
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (1999). Plan de preparación para la pandemia de influenza. El rol de la Organización Mundial de la Salud y Guías para la Planificación Nacional y Regional. OMS. <https://www.who.int/csr/resources/publications/influenza/whoplanspanish.pdf>
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2020, 29 de marzo). *Pandemia de COVID-19 deja más de 30.000 muertos a nivel mundial*. [http://spanish.xinhuanet.com/2020-03/30/c\\_138929340.htm](http://spanish.xinhuanet.com/2020-03/30/c_138929340.htm)
- Osborne, D. y Gaebler, T. (1992). *Reinventing government; how entrepreneurial spirit is transforming the public sector*. Addison-Wesley.
- Portafolio. (2020, 16 de marzo). Colombia cierra las fronteras durante los próximos 75 días. <https://www.portafolio.co/economia/gobierno/colombia-cierra-sus-fronteras-539113>
- Red Más Noticias. (2020, 16 de marzo). Colombia cierra todas sus fronteras hasta el próximo 30 de mayo. <http://www.redmas.com.co/colombia/colombia-cierra-todas-fronteras-proximo-30-mayo/>
- Rojas Aravena, F. (2007). Seguridad humana: aportes en la reformulación del concepto de seguridad. *Seguridad humana y nuevas políticas de defensa en Iberoamérica* (I. Sepúlveda Muñoz, coord.; pp. 49-74). Instituto Universitario General Gutiérrez Mellado.
- Sain, M. F. (2011, 6-8 de septiembre). *Las «nuevas amenazas» y las Fuerzas Armadas en la Argentina de los 90* [ponencia]. Sesión “Democracia, militares y nuevas amenazas: Argentina y Brasil (DEM-17)”, Latin American Studies Association XXIII International Congress, Washington D.C., Estados Unidos.
- SDP (2013). “Seguridad Humana en Bogotá D.C.”. En: Ciudad de Estadísticas. Boletín No. 53. Secretaría Distrital de Planeación. Disponible en: [https://www.sdp.gov.co/sites/default/files/dice137-boletinseguridadhumana-2013\\_0.pdf](https://www.sdp.gov.co/sites/default/files/dice137-boletinseguridadhumana-2013_0.pdf)
- Von Hein, M. (2020, 17 de febrero). *Conferencia de Seguridad de Múnich: “Amienemigos” trasatlánticos*. Deutsche Welle. <https://www.dw.com/es/conferencia-de-seguridad-dem%C3%BAnich-amienemigos-trasatl%C3%A1nticos/a-52411450>

# Modelo de administración para optimizar recursos del sistema de seguridad y defensa de bases aéreas

| Fecha de recibido: 25 de agosto del 2021 | Fecha de aprobación: 05 de noviembre del 2021 |

## Giovanna Estefanía Ramírez Ruiz

Magister en Desarrollo y Gerencia  
Integral de Proyectos

Docente, Maestría en Dirección y  
Gestión de la Seguridad Integral  
Escuela de Postgrados de la  
Fuerza Aérea Colombiana  
Colombia

Grupo de Investigación en Seguridad Integral,  
Inteligencia y Ciberdefensa (GISIC)

Rol de investigador: experimental y escritura  
<https://orcid.org/0000-0003-1686-7381>

✉ [giovanna.ramirez@epfac.edu.co](mailto:giovanna.ramirez@epfac.edu.co)

## Raúl Orlando Antolinez Díaz

Magíster (c) en Dirección y  
Gestión de la Seguridad Integral

Fuerza Aérea Colombiana  
Colombia

Grupo de Investigación en Seguridad Integral,  
Inteligencia y Ciberdefensa (GISIC)

Rol de investigador: teórico, experimental y escritura  
<https://orcid.org/0000-0001-9903-8874>

✉ [raul.antolinez@fac.mil.co](mailto:raul.antolinez@fac.mil.co)

**Cómo citar este artículo:** Ramírez Ruiz, G. E., & Antolinez Díaz, R. O. (2022). Modelo de administración para optimizar recursos del sistema de seguridad y defensa de bases aéreas. *Ciencia y Poder Aéreo*, 17(1), 128-136. <https://doi.org/10.18667/cienciaypoderaereo.730>



## Modelo de administración para optimizar recursos del sistema de seguridad y defensa de bases aéreas

## Administration model to optimize resources of the security and defense system of air bases

## Modelo de administração para otimizar recursos do sistema de segurança e defesa de bases aéreas

**Resumen:** Esta investigación propone un modelo de administración para optimizar recursos del sistema de seguridad y defensa de bases aéreas de la Fuerza Aérea Colombiana (FAC), ya que hoy en día la institución emplea, para el cumplimiento de su misión, recursos como el personal de soldados, quienes son jóvenes que transitoriamente hacen parte de la institución y se desempeñan como soldados regulares o bachilleres realizando actividades de seguridad y defensa de bases aéreas.

El desarrollo del modelo inició con la observación y el análisis de los diferentes documentos que soportan los derechos, los beneficios y otras retribuciones a las que tiene derecho un soldado, haciendo un énfasis en los informes de rendición de cuentas de los últimos seis años. Es posible evidenciar que ha sido necesaria la destinación de aproximadamente 250 mil millones de pesos (\$250 000 000 000) para garantizar el sostenimiento de alrededor de 22 642 soldados, quienes han cumplido con su servicio militar obligatorio en la FAC, recursos económicos que en la actualidad representan un gasto fundamental sin un retorno de inversión tangible.

El propósito de este modelo es el de optimizar y fortalecer los medios para la seguridad actual, es decir, las medidas activas y pasivas, el armamento, las comunicaciones y la movilidad, entre otros, aplicando los conceptos de las “cinco D”: disuadir (*deter*), denegar (*deny*), detectar (*detect*), demorar (*delay*) y destruir (*destroy*), mediante la reducción de un porcentaje de la actual planta de soldados existente en la institución para lograr una eficiencia de los recursos económicos existentes, potencializar proyectos futuros y transformar el presente esquema de seguridad y defensa de bases aéreas, todo ello basado en la triada hombre-tecnología-procedimientos.

**Palabras clave:** administración; gasto; procedimientos; servicio militar; soldados; tecnología.

**Abstract:** This research proposes an administration model to optimize resources of the security and defense system of the Colombian Air Force (FAC) air bases. Since today, the institution uses resources to fulfill its mission like personnel of soldiers, who are young people temporarily part of the institution that work as regular soldiers or high school graduates carrying out security activities and defense of air bases.

The development of this model began with the observation and analysis of the different documents that support the rights, benefits and other rewards to which a soldier is entitled, with an emphasis on the accountability reports of the last six years. It is possible to show that the allocation of approximately 250 billion pesos (\$250,000,000,000) has been necessary to guarantee the support of 22,642 soldiers, who have completed their mandatory military service in the FAC, economic resources that currently represent a fundamental expense without a tangible return on investment.

The purpose of this model is to optimize and strengthen the means for current security, that is, active and passive measures, weapons, communications, mobility, among others, applying the concepts of the “five Ds”, defined as: Deter, deny, detect, delay and destroy, by reducing a percentage of the current plant of soldiers in the FAC, thereby achieving an efficiency of existing economic resources, potentiating future projects and transforming the current security and defense scheme of air bases, all based on the triad man-technology-procedures.

**Keywords:** Administration; spending; procedures; military service; soldiers; technology.

**Resumo:** Esta pesquisa propõe um modelo de gestão para otimizar recursos do sistema de segurança e defesa das bases aéreas da Força Aérea Colombiana (FAC), já que hoje a instituição emprega, para cumprir sua missão, recursos como o pessoal de soldados, que são jovens que fazem parte temporariamente da instituição e trabalham como soldados regulares ou graduados do ensino médio realizando atividades de segurança e defesa em bases aéreas.

O desenvolvimento do modelo se iniciou com a observação e análise dos diferentes documentos que fundamentam os direitos, benefícios e outras retribuições a que um militar tem direito, com destaque para os relatórios de prestação de contas dos últimos seis anos. Foi possível identificar que foi necessário destinar cerca de 250 bilhões de pesos (\$250.000.000.000) para garantir a manutenção de cerca de 22.642 soldados, que cumpriram o serviço militar obrigatório na FAC, recursos econômicos que atualmente representam uma grande despesa sem retorno tangível do investimento.

O objetivo deste modelo é otimizar e fortalecer os meios de segurança atuais, ou seja, medidas ativas e passivas, armamento, comunicações e mobilidade, entre outros, aplicando os conceitos dos “cinco Ds”: Dissuadir (*deter*), denegar (*deny*), detectar (*detect*), atrasar (*delay*) e destruir (*destroy*), reduzindo uma porcentagem do número atual de soldados na FAC para obter eficiência dos recursos econômicos existentes, potencializar projetos futuros e transformar o atual esquema de segurança e defesa das bases aéreas. O anterior, baseando-se na tríade homem-tecnologia-procedimentos.

**Palavras chave:** Administração; gastos; procedimentos; serviço militar; soldados; tecnologia.

## Introducción

El análisis de seguridad de instalaciones propone la elaboración de un estudio de varios factores con la intención de determinar cuál es el valor agregado de ese elemento, persona o recurso destinado para tal fin. Así mismo, hace necesario comparar su costo-beneficio, debido a que es prioridad mantener esa sensación de seguridad, cuánto se necesita y cuál es la mejor alternativa o la mejor decisión que se debe adoptar.

Adicionalmente, hoy por hoy han venido surgiendo un sin número de aplicaciones que, aunque no pretenden reemplazar el recurso humano (o por lo menos aun no existe la posibilidad de que tomen decisiones emocionales), son herramientas que fortalecen cualquier sistema de seguridad de instalaciones en una organización. Para esto es de gran ayuda la implementación de las “cinco D” definidas en el libro *Protección de activos: seguridad física*, de Michael E. Knoke.

El primer objetivo de la protección de activos es disuadir (*deter*) cualquier tipo de ataque; el segundo objetivo es denegar (*deny*) el acceso del adversario al activo, normalmente a través de medidas tradicionales de seguridad; el tercer objetivo, si los dos primeros fallan, es detectar (*detect*) el ataque o la situación, a menudo utilizando sistemas de vigilancia y detección de intrusión, observación humana, o un sistema de gestión que identifique las ausencias o inconsistencias. Una vez que un ataque o intento ya está en curso, el cuarto objetivo es demorar (*delay*) al intruso a través de la utilización de la seguridad física y de métodos de endurecimiento del objetivo, o el uso de la fuerza. Finalmente, en el entorno terrorista actual con más criminales violentos, podría ser necesario destruir (*destroy*) al agresor si la situación lo amerita (Knoke, 2014).

Se hace necesaria una evaluación continua de los sistemas de seguridad de instalaciones, teniendo en cuenta el impacto económico que estos demandan y su retorno de inversión o beneficio, mediante la comparación del costo que puede representar

la utilización de cualquier elemento que se considere usar. Cuando se hable de elementos en el presente artículo, se consideran todas aquellas medidas para la seguridad, incluidas el uso del factor humano. Este último, hasta el momento, es considerado como el principal medio para emplear en un sistema de seguridad de instalaciones, en razón a que desde los inicios de la aplicación de sistemas de seguridad fue el recurso humano quien asumió la mayor participación, como los encargados de observar y alertar sobre distintas situaciones que representaran amenazas a sus áreas protegidas.

## Justificación

Hoy en día, las diferentes Unidades Militares Aéreas de la FAC presentan una serie de aspectos por mejorar, especialmente relacionados con sus medidas pasivas y activas, y con su infraestructura para la seguridad, en razón a que el presupuesto destinado para la inversión y el mantenimiento de las medidas para la seguridad se ha reducido anualmente, elevando la posibilidad de materialización de riesgos asociados a la seguridad del componente físico del poder aéreo y espacial.

Además, el sistema de seguridad y defensa de bases utilizado se fundamenta en el uso masivo de recursos humanos para los cuales hay un presupuesto asignado, del cual no se obtiene un retorno de inversión eficiente. Esto permite plantear un modelo que busque realizar un análisis detallado de la utilización de los recursos existentes para el sistema de seguridad y defensa de bases aéreas, con el fin de optimizar su utilización en aquellas necesidades y de mantener el cumplimiento de la misión, a través de un análisis basado en la administración de riesgos y estudios de seguridad. Se busca optimizar los recursos económicos existentes mediante su distribución efectiva, en la que es necesario proyectar modificaciones a los lineamientos presupuestales en aras de destinar presupuesto equivalente a una disminución de la cantidad

de soldados existentes, con el fin de fortalecer las medidas de seguridad.

Tal disminución puede ser muy viable, toda vez que, considerando la aplicación de las “cinco D” en la gestión de la seguridad: disuasión, denegación, detección, demora y destrucción (Knoke, 2014), es posible evaluar una distribución adecuada de las medidas para optimizar su costo; es decir, no es necesario disponer del factor humano para cumplir con funciones de disuasión. Un análisis considerando todos estos conceptos permitiría plantear una propuesta que finalmente facilite la optimización de recursos económicos que puedan subsanar aquellas falencias del actual sistema de seguridad y defensa de bases aéreas.

Una vez analizadas y aplicadas las definiciones de las “cinco D”, se busca no solo optimizar los recursos económicos, sino que además cabe la posibilidad de que el principal esfuerzo y tiempo de trabajo de los oficiales y suboficiales de la especialidad de defensa de bases aéreas se destine a una apropiada labor de seguridad. En dicha labor, no se destina mayor tiempo al control y supervisión de soldados, sino que se dedica tiempo al análisis y la evaluación constante de las medidas para la seguridad, la generación de estrategias y el mejoramiento de procedimientos de seguridad, sin descuidar el cumplimiento de la misión.

Por otra parte, la implementación de esta propuesta permitirá a la FAC seguir siendo referente a nivel de fuerzas militares y a nivel internacional, como una institución que continuamente está en evolución de sus procesos, que además impactan en lo referente a sostenibilidad y medio ambiente, dado que la disminución de soldados que prestan el servicio militar obligatorio reduciría el consumo de recursos naturales, el consumo de energía y la producción de desechos, entre otros aspectos. Así mismo, en el interior de la FAC se permitiría una selección del personal más sobresaliente, cuando se trate de procesos de incorporación de soldados, ya que no será necesario contar con cantidad de personas, sino que, más bien, cabe la posibilidad de seleccionar el mejor talento humano durante la fase de incorporación.

## Metodología

El desarrollo del proyecto emplea una metodología mixta. A través de la recolección y el análisis de datos relacionados con la cantidad de soldados y el costo que estos generan, y mediante las variables “cantidad de recursos económicos”, “cantidad de soldados” y “tiempo”, se cuantifican la inversión económica, el comportamiento y la destinación que actualmente se emplean en el sostenimiento de los soldados que prestan su servicio militar obligatorio en la Fuerza Aérea Colombiana. El objetivo es plantear un modelo basado en el resultado del análisis que permita demostrar la posibilidad de implementar una nueva estrategia o de efectuar un cambio en el actual sistema de seguridad y defensa de bases aéreas, mediante la eficiencia de los recursos económicos existentes y la utilización y el fortalecimiento eficaz de medidas de seguridad. Se busca continuar con una seguridad y defensa de bases aéreas efectiva para mantener el cumplimiento de la misión, fundamentada en la protección del componente físico del poder aéreo y espacial.

La información se obtendrá mediante la observación estructurada y la revisión de documentos, los cuales contemplan la identificación de las variables “cantidad de recursos económicos”, “cantidad de soldados” y “tiempo”, con el fin de realizar un comparativo entre el actual sistema de seguridad y el sistema de seguridad planteado en el modelo propuesto, en el que se espera evidenciar la justificación y la viabilidad de la propuesta planteada.

La propuesta de modelo radica en la utilización de los actuales recursos humanos, tecnológicos y económicos. Al tomar como referencia las “cinco D”, se evidencia que en cada una de ellas existe el factor humano “cantidad de soldados”, es decir, esta variable se encuentra inmersa en cada una de las “cinco D”.

Si se hace un estudio de seguridad y análisis de riesgos, la variable “cantidad de soldados” podría ser utilizada en dos de las “cinco D”, con lo que se permite una reducción de la variable y una utilización de los recursos económicos en otras alternativas.

## Resultados

### Identificar el presupuesto invertido para satisfacer las principales necesidades que implica el servicio militar obligatorio en la FUERZA AÉREA COLOMBIANA

Se centra en aquellos servicios o necesidades básicas y fundamentales a las cuales tiene derecho un soldado que cumple con su servicio militar obligatorio en la FAC. Todo esto se encuentra regulado en la Ley 1861 de 2017, mediante la cual se reglamenta el servicio de reclutamiento, el control de reservas y la movilización (que contempla en su título V los derechos, las prerrogativas y los estímulos; y en su artículo 44, los derechos del conscripto durante la prestación del servicio militar).

Todo colombiano que esté prestando el servicio militar obligatorio, en los términos que establece la ley, tiene derecho a lo siguiente:

- Desde el día de su incorporación y hasta la fecha de su licenciamiento o desacuartelamiento, tiene derecho a ser atendido por cuenta del Estado en todas sus necesidades básicas atinentes a salud, alojamiento, alimentación, vestuario, bienestar, y disfrutará de una bonificación mensual hasta por el 30 % del salario mínimo mensual vigente del año en curso (Ley 1861, 2017).
- Al momento de su licenciamiento, se proveerá al soldado, infante de marina, soldado de aviación, auxiliar de policía o auxiliar del Cuerpo de Custodia del Instituto Nacional Penitenciario y Carcelario (Inpec) de una dotación de vestido civil equivalente a un salario mínimo mensual legal vigente. La dotación a la que se refiere el presente literal estará a cargo del Ministerio de Defensa Nacional.
- La última bonificación será el equivalente a un salario mínimo mensual legal vigente.

Asimismo, la Resolución 045 de 2010, “determina la dotación de uniformes, insignias, distintivos y equipo para el personal de soldados, que presten su

servicio militar obligatorio en la Fuerza Aérea Colombiana, donde se indica los elementos fundamentales para el desarrollo de servicio militar obligatorio”.

Teniendo como referencia estos dos documentos (Ley 1861 de 2017 y Resolución 045 de 2010), en la tabla 1 se resumen los derechos que deben ser suplidos por el Estado, representados en costos aproximados por cada una de las dos modalidades de servicio militar obligatorio.

Tabla 1  
Costos de derechos básicos en el servicio militar obligatorio

Derechos	Regular	Soldado
Bonificación mensual	\$4 476 795	\$2 896 750
Última bonificación	\$877 803	\$877 803
Alimentación días	\$4 999 285	\$3 348 145
Intendencia Ley 1861/10	\$877 802	\$877 802
Dotación intendencia	\$5 915 810	\$2 957 905
<b>Total</b>	<b>\$17 147 495</b>	<b>\$10 958 405</b>

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con los costos anteriores, los cuales tienen una alta relación con el valor del salario mínimo mensual legal vigente, y según la información obtenida a través de los informes anuales de gestión de la FAC, se puede evidenciar que, en los últimos seis años, para asumir el costo de los derechos fundamentales se ha realizado una inversión aproximada de \$259 140 825 909.

Tabla 2  
Resumen costos de derechos básicos en el servicio militar obligatorio

Año	Costo derechos básicos
2015	\$37 809 262 655,00
2016	\$47 426 133 123,00
2017	\$43 554 348 642,60
2018	\$40 674 042 189,60
2019	\$48 177 789 866,20
2020	\$41 499 249 432,60
<b>Total</b>	<b>\$259 140 825 909,00</b>

Fuente: elaboración propia.

## Estimar la necesidad de recursos humanos y medidas de seguridad, versus los recursos disponibles

En la actualidad, los recursos disponibles en la seguridad y defensa de bases aéreas se fundamentan en el empleo de oficiales, suboficiales y soldados, vehículos tipo camioneta y tipo motocicleta, junto con el empleo de medidas pasivas conformadas por malla perimetral, torres de vigilancia, zanjas de seguridad y medidas activas catalogadas en cuatro componentes (centro de monitoreo, cámaras perimetrales, control acceso principal y control acceso zona operativa).

Las actuales restricciones presupuestales, destinadas a cubrir necesidades de gastos por funcionamiento y por inversión, han generado que los actuales componentes de las medidas pasivas y activas con el tiempo se encuentren debilitados o desactualizados. Es decir, al referirnos a las medidas pasivas, es evidente que no todas las Unidades Militares Aéreas cuentan con una robusta malla perimetral y puestos de vigilancia; y si de medidas activas se trata, que componen principalmente los sistemas electrónicos de seguridad, existen falencias dado que la evolución tecnológica no se detiene y ha facilitado que en algunas Unidades se tengan equipos no eficientes y en estados de obsolescencia.

Así mismo, no se ha podido establecer un proyecto continuado que permita atender nuevas amenazas como, por ejemplo, el alto empleo de sistemas de aeronaves no tripuladas, lo cual a corto plazo fácilmente puede ser uno de los principales dolores de cabeza en los sistemas de seguridad y defensa de bases aéreas.

Una vez observados los diferentes informes de alistamiento y estados de medidas pasivas, se puede evidenciar que, a la fecha, ninguno de ellos se encuentra en un estado óptimo, pues en todos y cada uno de ellos hay falencias. De manera general, se podrían estimar algunas de estas necesidades en la tabla 3.

Tabla 3.  
Medios para la seguridad en la actualidad

Medios para la seguridad	Ideal	Actual	Falta
Malla perimetral	86652	57020	29632
Medidas activas	14	9	5
Vehículos	256	167	89

Fuente: elaboración propia.

## Elaborar un cuadro comparativo de los gastos observados versus la inversión en medios para la seguridad y defensa de bases aéreas

En la actualidad, la FAC dispone de una asignación aproximada de 3900 soldados, los cuales equivalen a cerca de \$53 000 471 220, teniendo en cuenta el valor del salario mínimo mensual legal vigente. Se aclara que esos costos equivalen solamente al sostenimiento de los derechos fundamentales de los que goza un soldado en la FAC.

Si se mantiene el actual y vigente modelo de seguridad, y de continuar con esa misma cantidad de soldados, e incluso aumentarla, en una línea de tiempo de cinco años, es decir, realizando una proyección hasta el año 2026 (anualmente el salario mínimo aumenta 2,5 % en promedio), el Estado colombiano destinaría en esos cinco años la cantidad aproximada de \$294 160 680 950, dinero que es fundamental para la seguridad y defensa de bases aéreas, pero que podría optimizarse con el fin de potencializar y mejorar las actuales medidas de seguridad con las que cuenta la FAC.

En la tabla 4, se hace referencia a la cantidad de dinero que se gastaría en el sostenimiento de las necesidades básicas para mantener al personal de soldados regulares y bachilleres. Dicha información se compara con una tabla adicional en la cual se propone la optimización de los recursos económicos que se emplean en este caso.

**Tabla 4**  
Gasto aproximado en el actual modelo

Año	Gasto sostenimiento soldados FAC
2021	\$53 000 471 220
2022	\$54 855 487 713
2023	\$56 775 429 783
2024	\$58 762 569 825
2025	\$60 819 259 769
2026	\$62 947 933 861

Fuente: elaboración propia.

Al hacer una disminución progresiva del personal de soldados, de acuerdo con la situación específica de cada Unidad Militar Aérea y su nivel de riesgo, podría plantearse que durante cada año se ejecutara una utilización equivalente al 20 % del presupuesto, con el fin de potencializar las actuales medidas para la seguridad. Esto quiere decir que cada año, a partir del 2022 para este caso, tomando como ejemplo que se implemente la presente propuesta, un aproximado de los gastos en el sostenimiento del sistema de seguridad y defensa de bases aéreas sería lo expuesto en la tabla 5.

**Tabla 5**  
Propuesta de inversión en medidas para la seguridad

Año	Gasto sostenimiento soldados FAC	Inversión en medidas para la seguridad
2021	\$53 000 471 220	\$0,00
2022	\$54 855 487 713	\$10 971 097 542,54
2023	\$45 420 343 826	\$9 084 068 765,22
2024	\$37 608 044 688	\$7 521 608 937,60
2025	\$31 139 461 002	\$6 227 892 200,34
2026	\$25 783 473 709	\$5 156 694 741,88

Fuente: elaboración propia.

## Conclusiones

Con el objetivo de proponer un modelo de optimización efectiva de los recursos económicos disponibles destinados al sostenimiento de la Tabla de Organización y Equipo (TOE) de soldados, mediante un análisis

que combine la eficiencia del presupuesto y la eficacia del factor humano y las medidas de seguridad, que permita fortalecer el empleo del oficial y suboficial de la especialidad de defensa de bases y las medidas de seguridad, en aras de continuar con la misión de proteger el componente físico del poder aéreo y espacial, y con base en lo ya mencionado, se presentan las siguientes conclusiones:

1. Hoy en día, existe un presupuesto disponible para el sostenimiento de un pie de fuerza militar, específicamente el destinado al sostenimiento de los soldados que cumplen con su servicio militar obligatorio en la FAC. Teniendo en cuenta que el conflicto militar ha venido transformándose a lo largo del tiempo, es decir, en la actualidad no es común la ocurrencia de ataques en masa, se supone que no es necesario el empleo de la cantidad actual de soldados a los que se tiene derecho la FAC. Pero debido a las diferentes debilidades del sistema de seguridad y defensa de bases aéreas, en lo referente a los medios para la seguridad, se observa posible la optimización de los actuales recursos económicos, de tal forma que se pueda invertir en el mejoramiento de medidas activas, medidas pasivas, comunicaciones, movilidad y armamento, entre otros ámbitos.

Durante la presente investigación solo se hizo énfasis o recopilación de la información relacionada con los costos que se asumen para garantizar unos derechos fundamentales y básicos; es decir, la alimentación, bonificación, dotación y equipo al que tienen derecho las personas que cumplen con su servicio militar obligatorio. Pero si se llegara a recopilar aquella información relacionada con los gastos de medicina, indemnizaciones y consumo de servicios públicos, se espera que la inversión que se realiza para mantener un pie de fuerza de soldados sea bastante considerable. A su vez, de acuerdo con lo consultado a los diferentes oficiales y suboficiales encargados de comandar al personal de soldados, se puede evidenciar del tiempo que un oficial o suboficial destina en su día a día, aproximadamente el 53 % es empleado en el control y la supervisión de los soldados, es decir, en evitar que un soldado se autolesione, genere daños, se suicide y realice actividades no relacionadas con

el servicio militar obligatorio, entre otras; es un tiempo ocupado considerable que no le permite al oficial o suboficial un empleo mayor en la gestión de la seguridad y defensa de bases aéreas.

Esto supondría una desventaja, toda vez que el empleo de un oficial o un suboficial debe ser enfocado en gran proporción a la administración de la seguridad, a la generación de estrategias y a la constante evaluación del sistema de seguridad mediante la creación, revisión y calificación de los estudios de seguridad en cada una de las Unidades Militares Aéreas, con el fin de disminuir y mitigar los niveles de riesgos asociados al proceso de seguridad y defensa de bases aéreas.

De igual forma, durante la investigación se consultó sobre la percepción del uso de herramientas tecnológicas como eslabón fundamental en el sistema de seguridad y defensa de bases aéreas, el cual puede ser un elemento eficiente e involucrarse en, por lo menos, tres o cuatro de las mencionadas “cinco D”. Para ello, se evidencia que la mayor parte del personal que participó en la encuesta considera estar muy de acuerdo con el empleo de equipos tecnológicos que sustituyan algunas de las acciones que realizan los soldados en la FAC. Por ejemplo, se considera más eficaz una cámara de vigilancia junto a un sensor de movimiento o un detector de movimientos de perímetro, como parte de la detección que, en teoría, debe realizar un centinela en su desarrollo de servicio militar obligatorio. Si se consideran las capacidades humanas versus las características técnicas de los equipos tecnológicos, muy seguramente será más eficiente el uso de la tecnología que, sin importar el ambiente, es decir, lluvia, calor, día o noche, podría realizar mejores detecciones en comparación con lo que una persona en un estado de descanso y entrenamiento adecuado podría realizar.

2. El presupuesto asignado para el sostenimiento de los soldados que cumplen con su servicio militar obligatorio en la FAC es variable. Esto en razón a que la bonificación mensual a la que tiene derecho un soldado está basada en el salario mínimo legal mensual vigente, y también se ve afectado por la cantidad de soldados que se incorporan.

Al observar los datos históricos, con énfasis en la cantidad de soldados que durante estos últimos seis

años se han incorporado en la FAC, se destaca una constante disminución de soldados. Es decir, si se hace una comparación entre 2016 y 2020, hubo una disminución de 1400 soldados, y aun así se siguió garantizando la seguridad y defensa de las bases aéreas, aunque uno de los motivos de esta reducción está ligado al presupuesto, toda vez que a partir de 2017 se modificó la Ley del Servicio Militar Obligatorio, en la cual se aumentó el valor de la bonificación mensual a la que tiene derecho un soldado.

Pero lo llamativo de esta disminución radica en que, desde mi punto de vista, sí es posible hacer una reducción en la planta del personal de soldados, ya que no se puede determinar si la cantidad de soldados obedece a un estudio o modelo que establezca la cantidad de soldados que una Unidad Militar Aérea debe tener. Por ello, la implementación de la presente propuesta podría suponer una organización y estructuración más eficiente del empleo de soldados en la FAC, apoyados con el empleo de unos medios para la seguridad óptimos, los cuales se deben mantener en excelente funcionamiento.

La propuesta también apunta a una posible hipótesis en la que, por motivos de orden público del acuerdo de paz firmado en 2016, el servicio militar ya no sea obligatorio. Esto impactaría el nivel de riesgo de las instalaciones de la FAC, dado que en la actualidad no hay suficientes medidas de seguridad, y parte de la justificación del pie de fuerza está sustentado en el empleo de los soldados como centinelas encargados de disuadir, detectar, denegar, demorar y destruir las posibles amenazas en las que se vea inmersa una Unidad Militar Aérea.

3. Sin considerar todos los gastos totales que involucra el servicio militar obligatorio, es decir, aquellos que no fueron objeto de la presente investigación (servicios públicos, sanidad militar, consumo de munición en entrenamientos de tiro, etc.), podría ser posible contar con unas Unidades Militares Aéreas con mejores instalaciones físicas y medios para la seguridad. Si parte de ese dinero se destinara al sostenimiento de la infraestructura que en la actualidad se requiere, muy seguramente el retorno de esa inversión sería más tangible, pues a pesar de la obligación social

de la FAC con respecto al servicio militar obligatorio, se debe considerar que es de vital importancia tener una infraestructura robusta y que permita también ofrecer esa sensación de seguridad a quienes prestan el servicio militar obligatorio en la FAC.

Además, si se considera comparar la inversión realizada en medios para la seguridad versus los gastos de sostener a un soldado en la FAC, muy seguramente la rentabilidad será mayor. Un soldado, de acuerdo con la ley que regula el servicio militar obligatorio, se desempeña como elemento del esquema de seguridad entre doce y dieciocho meses, los cuales una vez finalizados no generan un valor agregado a la institución, mientras que la implementación de medios para la seguridad (cámaras de vigilancia, sensores perimetrales, mallas de seguridad, movilidad, etc.) cuentan con una vida útil mayor, es decir, su uso puede prolongarse de tres a diez años, lo que significa una mayor rentabilidad.

4. A medida que el tiempo avanza, las nuevas generaciones de ciudadanos creen en otras alternativas para el desarrollo de sus vidas personales y profesionales; es decir, en un futuro muy cercano cada vez será más notorio el desinterés por la prestación del servicio militar obligatorio. Esto quiere decir que, en algún momento, tal vez la demanda de personas disminuya tanto que definitivamente no se cuente con una cantidad robusta de soldados para la realización de las operaciones de seguridad y defensa de bases aéreas. A su vez, teniendo en cuenta la incertidumbre relacionada con la asignación anual de presupuesto, posiblemente no se cuente con unos medios para la seguridad realmente óptimos y eficaces si no se realizan estrategias que permitan mejorar y potencializar los actuales. Por ello, plantear esta propuesta de modelo de administración para la optimización de los recursos económicos destinados al sistema de seguridad y defensa de bases aéreas en la FAC podría contribuir a enfrentar de una manera eficaz la hipótesis de una alta negativa a la prestación del servicio militar.

## Referencias

- Asamblea Nacional Constituyente. (1991). *Constitución Política de Colombia*. Legis.
- Bautista, C. (2017). Importancia de mantener el servicio militar obligatorio y su futuro tras el proceso de paz [tesis de especialización, Universidad Militar Nueva Granada]. Repositorio institucional UMNG. <http://hdl.handle.net/10654/15746>
- Congreso de la República. (2017, 4 de agosto). *Ley 1861 de 2017. Por la cual se reglamenta el servicio de reclutamiento, control de reservas y la movilización*. Diario Oficial N.º 50.315.
- Espitia, J., Ferrari, C., González, J. I., Hernández, I., Reyes, L. C., Romero, A., Tassara, C., Varela, D., Villabona, J. y Zafra, G. (2018). El gasto público en Colombia. Reflexiones y propuestas. *Revista de Economía Institucional*, 21(40), 291-326. <https://doi.org/10.18601/01245996.v21n40.11>
- Giha Tobar, Y., Riveros Reyes, H. y Soto Velasco, A. (1999). El gasto militar en Colombia: aspectos macroeconómicos y microeconómicos. *Revista de la CEPAL*, (69), 163-180. <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/12194>
- Grautoff, M. y Miranda, F. (2009). Análisis del gasto militar desde la perspectiva de la economía de la defensa: el caso colombiano 1950-2006. *Ecós de Economía*, 13(28), 199-237. <https://www.redalyc.org/pdf/3290/3290272780-06.pdf>
- Knoke, M. E. (2014). *Protección de activos: seguridad física*. ASIS International.
- Minian, I. y Martínez Monroy, Á. (2018). El impacto de las nuevas tecnologías en el empleo en México. *Problemas del Desarrollo*, 49(195), 27-53. <https://doi.org/10.22201/iiiec.20078951e.2018.195.64001>.
- Otero Prada, D. (2011). Estado del conflicto interno colombiano en cuanto a gastos y costos. *Revista Foro*, (73), 47-51. <https://www.proquest.com/openview/3c56db9ab1a0483f1dc2418274fa4bb6/1?pq-origsite=gscholar&cbl=28567>
- Standing, G. (1984). La noción de desempleo tecnológico. *Revista Internacional del Trabajo*, 103(2), 155-179.

# Comportamiento del uso de datos abiertos en Colombia (2016-2021)

| Fecha de recibido: 31 de agosto del 2021 | Fecha de aprobación: 11 de noviembre del 2021 |

**Jenny Paola  
Cervera Quintero**

Doctora en Administración y Política Pública

Docente, Universidad ECCI  
Colombia

Rol de investigador: teórico y escritura  
<https://orcid.org/0000-0003-1255-7503>.

✉ [jcerveraq@ecc.edu.co](mailto:jcerveraq@ecc.edu.co)

**Cómo citar este artículo:** Cervera Quintero, J. P. (2022). Comportamiento del uso de datos abiertos en Colombia (2016-2021). *Ciencia y Poder Aéreo*, 17(1), 137-149. <https://doi.org/10.18667/cienciaypoderaereo.742>



## Comportamiento del uso de datos abiertos en Colombia (2016-2021)

**Resumen:** Este artículo trata un estudio exploratorio acerca de la publicación de datos abiertos en el periodo 2016-2021 en Colombia; también, aborda la medida de su uso por parte de la población a partir del número de vistas y descargas. De allí surge como objetivo de investigación medir el avance en cantidad de datos abiertos, temáticas publicadas, cuáles entidades oficiales los publican y la interacción de la población con estos contenidos. Los resultados obtenidos muestran que las entidades han hecho un uso adecuado de la “Guía para publicación de datos abiertos” desarrollada por el Ministerio de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (MinTIC) desde el año 2016, y se cuenta con cumplimiento de los estándares de calidad de los datos presentados de acuerdo con la medición de las “Cinco Estrellas de Berners Lee”. En las conclusiones, se evidencia cómo la búsqueda de información sobre la covid-19 modificó sustancialmente los intereses de la población, siendo la categoría de salud y protección social la más consultada.

**Palabras clave:** datos abiertos; información; internet; Colombia.

## Behavior of the use of open data in Colombia (2016-2021)

**Abstract:** This article is an exploratory study about the publication of open data in the period 2016-2021 in Colombia. It also addresses the measurement of its use by the population based on the number of views and downloads. From there, the research objective is to measure the progress in the amount of open data, published topics, which official entities publish, and the interaction of the population with these contents. The results obtained show that the entities have made adequate use of the “Guide for the publication of open data” developed by the Ministry of Information and Communication Technologies (MinTIC) since 2016, and there is compliance with the quality standards of the data presented according to the measurement of the “Berners Lee Five Stars”. In the conclusions, it is evident how the search for information on covid-19 substantially modified the interests of the population, with the health and social protection category being the most consulted.

**Keywords:** Open data; information; internet; Colombia.

## Comportamento do uso de dados abertos na Colômbia (2016-2021)

**Resumo:** Este artigo trata de um estudo exploratório sobre a publicação de dados abertos no período 2016-2021 na Colômbia. Além disso, aborda o uso desses dados pela população, com base no número de visualizações e downloads. A partir daí, surge o objetivo da pesquisa mensurar o progresso na quantidade de dados abertos, tópicos publicados, quais entidades oficiais os publicam e a interação da população com esses conteúdos. Os resultados obtidos mostram que as entidades têm feito uso adequado do “Guia para a publicação de dados abertos”, desenvolvido pelo Ministério das Tecnologias de Informação e Comunicação (MinTIC) desde 2016, e há o cumprimento dos padrões de qualidade dos dados apresentados, de acordo com a medida das “Cinco Estrelas Berners Lee”. Nas conclusões, fica evidente como a busca por informações sobre a covid-19 modificou substancialmente os interesses da população, sendo a categoria de saúde e proteção social a mais consultada.

**Palavras-chave:** Dados abertos; informação; internet; Colombia.

## Introducción

Colombia se adhirió a la Alianza Gobierno Abierto (AGA) en el año 2012, con la presentación de su Primer Plan de Acción Nacional de Gobierno Abierto. En este plan, generó un compromiso entre el Gobierno, el sector privado y las organizaciones sociales para trabajar conjuntamente en este sistema para la gobernanza y así mejorar la apertura de los gobiernos hacia la ciudadanía, con el fin de fortalecer la confianza y el control ciudadano, fortalecer el desempeño gubernamental, fomentar la participación social y mejorar la capacidad de respuesta de los gobiernos a través de la implementación de tres pilares: transparencia, acceso a la información y participación ciudadana (AGA, 2021).

Desde ese Primer Plan de Acción, todos los Estados miembros asumieron el compromiso de mejorar los servicios del Estado, mediante la implementación de nuevas TIC (tecnologías de la información y las comunicaciones), y así acercar a las entidades a la población para generar tiempos de respuesta más cortos a través de acciones de gobierno en línea, regulación de servicios públicos, protección al servicio al consumidor, entidades más eficientes y datos abiertos. La última iniciativa promueve que cada entidad estatal publique y divulgue la información no sensible en formato abierto, a fin de que la población pueda acceder a esta y así desarrollar análisis e investigación, control ciudadano o diseñar aplicaciones (AGA, 2012).

En 2021, el Plan de Acción se encontraba en su versión número cuatro. De acuerdo con mediciones de la organización Word Justice Project, Colombia en 2020 se ubicó en el puesto 27 entre 128 naciones y en el cuarto puesto entre treinta países a nivel regional (América Latina y el Caribe), esto en cuanto a la implementación del gobierno abierto como factor en el índice de Estado de derecho. Este es el único factor cuya medición le es favorable a Colombia, debido a que los demás factores que miden un Estado de derecho, de acuerdo con World Justice Project (2020), lo dejan como un país que no garantiza condiciones de Estado de derecho a nivel global y regional.

De tal manera, el gobierno abierto y, por ende, la oferta de datos abiertos son factores destacables para Colombia. Por ello, su fortalecimiento y difusión son aspectos enriquecedores para que la población pueda dar el mayor uso posible a esta herramienta y se robustezca la participación ciudadana y una gobernanza conjunta entre la gente y los representantes. Esto se traduce en la ampliación de la capacidad de respuesta del Gobierno colombiano y, a su vez, en una sociedad más informada, lo cual la hace más capaz en la toma de decisiones y al mismo tiempo más activa en el conocimiento de sus derechos, el control político, la apertura de oportunidades de negocio, la investigación y el desarrollo, entre otros.

Teniendo en cuenta la Ley 1712 de 2014, referente a la Transparencia y el Acceso a la Información Pública Nacional, los datos abiertos comprenden información primaria sin procesar en formatos estándar custodiados por entidades públicas y privadas con función pública, y que son accesibles a la población para darles un uso libre (Ministerio de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones [MinTIC], 2021). En este sentido, el presente artículo busca encontrar el nivel de uso que la población hace de los datos abiertos, teniendo en cuenta el avance a través del tiempo, así como las necesidades y demandas que se generan para que esta información cumpla con los principios de transparencia, accesibilidad y oportunidad necesarios.

## Planteamiento del problema

Con la intención de cuantificar los avances en el uso de datos abiertos en Colombia, se plantea la siguiente pregunta de investigación: desde el año 2016, ¿cuál ha sido el uso de datos abiertos por parte de la población en cifras y áreas de interés? A partir de este interrogante, se puede encontrar el nivel de avance y las áreas en las cuales la población colombiana estaría más dispuesta a aprovechar el acceso a datos abiertos para la toma de decisiones, posibles investigaciones académicas, desarrollo de oportunidades de negocio y sociales, y control ciudadano, entre otros.

Con el fin de responder esta pregunta, se plantea el siguiente objetivo general: medir el inventario de datos abiertos disponible por parte de las entidades oficiales colombianas desde las temáticas disponibles en el periodo 2016-2021, tomando como referencia los temas consultados. Se espera profundizar en el comportamiento de los datos abiertos de acuerdo con la temática y el momento en el que ocurren; identificar las entidades públicas con mayor eficiencia en la disposición de datos abiertos en Colombia; y hallar las temáticas más exploradas por parte de la población a partir del número de descargas y vistas.

Este artículo está conformado por: la introducción y el planteamiento del problema; el marco referencial y teórico, en el que se abordan documentos de política pública y teoría respecto a los datos abiertos; la metodología cuantitativa y exploratoria para dar una interpretación a la información obtenida; los resultados obtenidos; la discusión sobre los resultados; y, para terminar, las conclusiones del artículo.

## Marco referencial y teórico

### “Guía para publicación de datos abiertos” para Colombia

Como se mencionó antes, MinTIC es la entidad encargada de la estrategia de gobierno digital y de datos abiertos en Colombia. Esta entidad ha puesto a disposición de la población colombiana un documento denominado “Guía para publicación de datos abiertos” cuya versión inicial fue generada en diciembre de 2016 con el objetivo de dirigir el proceso de apertura de datos en entidades públicas.

La guía lleva siete versiones y la última es de agosto de 2021. Con base en ella se diseñan los pasos para la apertura de los datos, la implementación de la Ley 1712 de 2014, el uso y aprovechamiento de datos abiertos, y el ciclo de datos de acuerdo con la máxima velocidad; en la versión más reciente se aborda el tema de hoja de ruta. Así las cosas, la guía puede ser de gran utilidad no solo para las entidades, sino

también para la ciudadanía interesada en los datos abiertos (MinTIC, 2021).

Según esta guía, los datos abiertos son publicados en páginas web, son gratis y de acceso público, y están dispuestos en formatos accesibles para su uso y reutilización, sin restricciones y bajo licencias abiertas. Entre estos formatos se encuentran: csv, XML, RDF, RSS, JSON, ODF, WMS y WFS. Respecto a las licencias, la más usada es Creative Commons, preferida en aproximadamente treinta países. Para el caso colombiano, se usa la Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International, la cual conserva la fuente en cada uso que la población desarrolle de algún dato, de manera que se respetan los derechos de autor de la información (MinTIC, 2021).

Colombia se ha adherido a la Carta Internacional de Datos Abiertos respecto a los principios de publicación de la información. Allí se destaca que tanto los gobiernos como las organizaciones del sector público cuentan con gran cantidad de datos que son recursos de interés para la población; por ende, los datos deben estar abiertos por defecto, ser comprobables e interoperables, brindarse de manera completa y oportuna, ser accesibles y utilizables, mejorar la gobernanza y la participación de la población, y promover el desarrollo incluyente y enfocado a la innovación en la población (MinTIC, 2021).

Sobre los beneficios de los datos abiertos, la guía menciona la transparencia y el control social en cuanto a la posibilidad que se abre para el desarrollo de procesos de investigación para la academia, el periodismo y las entidades públicas, y para el control ciudadano de campañas de gobierno, gobernanza, cumplimiento y avance de programas públicos, entre otros. El segundo beneficio es la mejora en la prestación de servicios públicos a la ciudadanía, pues se conocen las expectativas de bienes y servicios, tiempos y condiciones de calidad apreciadas por la ciudadanía, y zonas del país donde se requieren más ciertos servicios y demanda en general de trámites. Esta riqueza de detalles permite la optimización de los procesos internos de las entidades públicas (MinTIC, 2021).

Otros beneficios mencionados en la guía son el pronóstico y la prevención de fenómenos, debido a

que el análisis de los datos puede prevenir eventos criminales, desastres ambientales, enfermedades, etc., para los cuales se pueden preparar políticas y protocolos que eviten o minimicen los daños a la población. La generación de nuevo conocimiento que se da a partir de los datos abiertos es otro beneficio que se obtiene por su análisis en cada área mencionada (MinTIC, 2021).

La guía indica cómo la iniciativa de datos abiertos está enmarcada en la Política de Gobierno Digital, que busca fortalecer la confianza entre la población y el Estado. Esto con base en la Ley 1712 de 2014; el Decreto 1078 de 2015, en el cual se establece la Política de Gobierno Digital, y el documento Conpes 3920 de 2018 perteneciente a la Política Nacional de Explotación de Datos (*big data*). Esta última tiene como meta que a 2022 al menos 50 % de las entidades públicas desarrolle proyectos para aprovechar los datos y así mejorar los servicios que prestan a la población (MinTIC, 2021).

La guía menciona que las entidades públicas deben presentar el documento “Ciclo de datos abiertos” cada dos años, pues este es el periodo más adecuado para una planeación y ejecución efectivas. Este documento contiene cuatro componentes. Primero, está el establecimiento de un plan de apertura, en el que se identifican los datos a publicar, se analiza si el contenido de la información es publicable (las únicas restricciones son la seguridad nacional o la divulgación de datos personales) y se priorizan los datos para publicar, en ese orden. En el segundo componente, se estructuran y se publican los datos, teniendo en cuenta su licencia y formato abierto, operable y accesible (MinTIC, 2021).

El tercer componente está conformado por la comunicación y promoción del uso de los datos, cuyas labores son las de promoción y vinculación de actores a los datos disponibles para su posicionamiento y aprovechamiento. El cuarto componente corresponde al monitoreo del impacto, la calidad y el uso de los datos por parte de la población. Esta última fase se analiza de acuerdo con los indicadores propuestos por cada entidad para medir y controlar el cumplimiento del plan de apertura trazado (MinTIC, 2021).

## Datos abiertos y gobernanza

El valor de los datos en la sociedad es comparable con el oro y el petróleo, de manera tal que son un recurso valioso y explotable que permite generar riqueza a las naciones. Así mismo, la administración pública es una de las fuentes que más crea datos en un país; en el desarrollo de su quehacer reciben y generan gran cantidad de datos que pueden ser aprovechables por los mismos gobiernos para la toma de decisiones públicas, la evaluación de la efectividad de políticas públicas existentes para desarrollar mejores procesos para su población, y la generación de relaciones más estrechas con la ciudadanía (Cerillo, 2018).

Para el sector privado, el uso de datos es aprovechable en la generación de riqueza a partir del desarrollo de negocios (conocimiento de oportunidades, desarrollo de aplicaciones informáticas), y para la ciudadanía lo es en un control más activo, la colaboración para formular soluciones más eficaces a los problemas de una población específica y la exigencia de transparencia, pues se cuenta con la información de las acciones gubernamentales, el uso de recursos y la eficacia de las políticas y los programas desarrollados (Cerillo, 2018).

Es así como surge el concepto de gobernanza inteligente, en el cual este nuevo escenario de confianza y colaboración se construye entre el gobierno y la ciudadanía activa que usa los datos y así su rol crece. Esto abre nuevas posibilidades para que los gobiernos diseñen estrategias de gobernanza aprovechando el auge y el número de datos disponible, la masiva respuesta de la ciudadanía y su colaboración para el cumplimiento de metas conjuntas. De acuerdo con Cerillo (2018), la gobernanza sería un conjunto de principios, valores y normas que determinan la interacción de los actores dentro de determinada política pública.

La gobernanza inteligente es un paradigma de administración pública basado en la innovación tecnológica y con una orientación de la ciudadanía hacia la toma de decisiones públicas y hacia la colaboración entre ciudadanía y entidades. Este tipo de gobernanza requiere datos abiertos, transparencia, redes sociales, conocimiento externo de las organizaciones y

dinámicas de colaboración. Todo lo anterior produce una nueva generación de gobierno transparente a partir de portales de transparencia, diálogo continuo con la población, evaluación de la trazabilidad de las acciones de gobierno y generación de innovación social para solucionar problemáticas públicas (Criado, 2016).

## Características de calidad en los datos abiertos

Los datos abiertos pueden reutilizarse y redistribuirse por personas u organizaciones que lo deseen sin restricción alguna. La calidad de estos datos es indispensable para lograr su adecuada divulgación a partir de formatos abiertos y reutilizables para su explotación y su consumo. Existe un modelo de calidad en datos abiertos denominado “Cinco Estrellas de Berners-Lee”, en el cual se reconocen como fases de calidad: la revisión, el acceso y la reutilización de los datos; la creación de nuevos *database*; su evaluación, selección y su transformación, así como el registro y la publicación (Abella *et al.*, 2018).

El acceso hace referencia a las visitas, las páginas vistas, los comentarios, los contenidos compartidos y las tasas de abandono. La utilización hace referencia al número de descargas y al acceso a datos enlazados. La gestión corresponde a la cantidad de conjuntos de datos actualizados, a su distribución y publicación, a su actualización y a la atención de solicitudes de información. Un ejemplo de un nivel de calidad de cinco estrellas para datos abiertos sería: datos publicados en la red, en formato estructurado y libre, que se exportan en formato html, identificados mediante URL claras, vinculados con otros datos de modo que se genera un contexto que permite exportarlos desde diferentes localizaciones y en variedad de formatos (Abella *et al.*, 2018).

Para abrir los datos públicos de manera eficiente en una administración, se pueden seguir los siguientes pasos: voluntad política plasmada en acuerdos formales, inventariar los datos disponibles, elegir los datos que se quieren abrir, su gestión interna, el presupuesto disponible, cuestiones políticas asociadas y sostenibilidad de los datos abiertos. Ajustar el nivel de calidad

de tal manera que la ciudadanía pueda reutilizar la información, ponerlos a disposición y automatizar su actualización (Garriga-Portolá, 2011).

## Aplicaciones de uso de datos abiertos

El fenómeno de los datos abiertos ofrece posibilidades para que la información pública se convierta en un recurso para la ciudadanía y su empoderamiento, y para la evolución de las empresas y la generación de valor añadido a los datos. En el campo del periodismo, este fenómeno ha transformado la recolección de información, debido a que los aportes de la ciudadanía se convierten en fuentes y, por lo tanto, su rol pasivo de consumidor cambia (Gertrudis *et al.*, 2016).

La transparencia debe ser un valor intrínseco a los datos abiertos que lleva a explorar nuevas interacciones a partir del uso de técnicas de gestión, como la minería de datos o el modelado de políticas, de modo tal que los esfuerzos de las entidades se dirijan hacia una transparencia abierta, siempre evolutiva, que brinde a la ciudadanía la disponibilidad de acceso, redistribución y reutilización. De esta manera, se favorece la provisión de nuevos servicios para la ciudadanía, se promueve el derecho al acceso a la información pública y se generan valores económicos nuevos para las naciones. Por ejemplo, los datos de 2016-2020 en la Unión Europea generarían, en proyección del año 2017, un valor aproximado de 325 000 millones de euros (Vicente y Jordán, 2017).

En el campo político, la implementación de políticas de datos abiertos ha permitido que los gobiernos latinoamericanos mejoren su imagen internacional, así como el fortalecimiento de la cercanía y la confianza con su propia población. Así las autoridades de gobierno les apuestan a estas iniciativas y desarrollan estrategias robustas en contraposición al poder que otorgan a la ciudadanía al permitir el acceso a la información pública y el control político al Congreso y a otros actores relevantes (Abusleme, 2020).

En la presente investigación, el uso de datos abiertos disminuye la duplicación en términos de financiación, tiempo y esfuerzo, y brinda formalidad y oficialidad a la información obtenida; a su vez, optimiza

la gestión de recursos digitales y se amplían los resultados en función de las disciplinas y las regiones. Los datos pueden usarse de manera simultánea por varias instituciones y personas; los objetivos de interés general como la seguridad pública, las infraestructuras públicas, los datos personales y demás elementos de confidencialidad son protegidos (Ferrer y Peset, 2021).

En el tema de la salud, un adecuado uso de datos abiertos permite mejorar el sistema de salud, respecto a su transparencia y a la promoción articulada del trabajo entre universidad, empresa y Estado. La información sincronizada y actualizada permite crear proyectos, planes y programas que atiendan necesidades reales del sector a nivel regional y nacional. Así mismo, permite el desarrollo de aplicaciones e infraestructuras por parte del sector privado para mejorar el servicio de las Entidades Promotoras de Salud (EPS) y su cercanía con los pacientes en el caso colombiano (Arboleda y Anaya, 2018).

En tiempos del virus SARS-CoV-2, que desarrolla la enfermedad conocida como COVID-19, se ha producido un uso masivo de datos en comparación con el uso que antes se le había dado a esta fuente de información en otros sectores. A partir de estos datos, los gobiernos toman decisiones, se generan las noticias desde los medios de comunicación hacia la sociedad y los desarrolladores crean nuevos servicios. Los datos, en general, se presentan en estadísticas de número de contagiados, fallecidos y recuperados, visualizadas en mapas y curvas de porcentajes. De manera más específica, se presentan datos sobre hospitales y centros sanitarios que muestran número de camas disponibles, ingresos en Unidades de Cuidados Intensivos y casos de personal sanitario, entre otros. Y a partir de este cúmulo de información, se presentan informes oficiales que se actualizan rápidamente de acuerdo con las variaciones de los datos (Ferrer *et al.*, 2020).

## Metodología

Se eligen estudios cuantitativos de carácter exploratorio cuando el objetivo es examinar un tema poco

estudiado. Este tipo de metodología sirve para obtener información sobre prioridades en investigaciones próximas, y para detallar y describir fenómenos con el fin de medir información conjunta sobre conceptos o variables y así describirlas (Hernández-Sampieri *et al.*, 2010). Teniendo en cuenta esto, se ha elegido un estudio de carácter exploratorio que permita examinar y describir el fenómeno de la utilización de datos abiertos en Colombia, y descubrir así cuáles han sido los mayores temas de interés, el avance o la disminución en el uso que se ha obtenido en el tiempo, y analizarlos frente a indicadores internacionales para verificar su calidad.

Las unidades de análisis elegidas son los conjuntos de datos abiertos publicados por las entidades colombianas en el periodo 2016-2021. En esta *database*, se clasifican de acuerdo con sus variables más relevantes: temática, entidad origen, año de publicación y número de descargas y vistas; esto con el fin de explorar el impacto de cada variable en la información, y la interacción entre entidades y el público en torno a los datos publicados.

Se ha tomado como fuente primaria la base del Inventario de Datos Abiertos disponible en el portal web [www.datos.gov.co](http://www.datos.gov.co). La riqueza de este *dataset* es la información primaria, el uso y la reutilización a partir de la posibilidad de descarga a través de *software* como SODA API, OData, así como la posibilidad de descarga en formatos libres como CSV, JSON, RDF, RSS, TSV o XML. Para este caso, se descargó el inventario en formato csv y se trabajó en Microsoft Excel a través de tablas dinámicas para identificar temáticas, entidades y años de publicación.

El tema de datos abiertos y sus tópicos conexos es reciente, por lo que conceptualmente se encuentra en constante formulación. De tal modo, las consideraciones teóricas provienen de las distintas áreas del conocimiento e incluyen diferentes grados de profundidad en su abordaje. Al considerarse la escritura de artículos científicos sobre datos abiertos, se pretende plasmar y socializar un nuevo conocimiento sobre esta materia que origine un nuevo punto de debate entre investigadores y sus pares. Allí se ha encontrado que el uso de estudios exploratorios o de primera

aproximación son mayormente útiles para definir o atreverse a definir conceptos acerca de esta temática, sus características y su sistematización (Martínez y De León, 2021).

Esta investigación no aborda el tema de calidad implícita en las publicaciones de datos abiertos, lo cual indica que puede existir información sin estructura y almacenada de manera arbitraria. No obstante, el desarrollo y la organización de la *big data* va en avance y, debido a la exposición pública y continua, la información es cada vez más completa, más documentada y satisface las necesidades informativas de diferentes audiencias. Los trabajos exploratorios y descriptivos requieren ser continuados a partir de la analítica de datos (García Jiménez y García, 2021).

## Discusión y resultados

De acuerdo con lo observado en los datos obtenidos para esta investigación, se halla que los datos abiertos en Colombia tienen las características de calidad de las Cinco Estrellas de Berners Lee. Los datos están publicados en internet, bajo licencia abierta, con posibilidad de descarga en formato libre, son legibles tanto para seres humanos como para inteligencia artificial, y son datos enlazados con otras entidades, por lo cual una búsqueda a nivel global llevará a múltiples respuestas (Gómez *et al.*, 2021).

El inventario de datos descargado en agosto de 2021 arrojó 5600 datos de publicaciones que las diferentes entidades han desarrollado desde junio de 2016. Para la presente investigación, se extrajeron los datos correspondientes a: información de la entidad, título del dato, categoría, fecha de creación, fecha de actualización, vistas y descargas. En el año 2016, se publicaron 454 datos; en 2017, 534 datos; en 2018, 701 datos; en 2019, 1302 datos; en 2020, 1866 datos; y 743 datos hasta agosto de 2021, como se evidencia en la figura 1.

La figura 1 muestra el crecimiento de las publicaciones por año en el periodo 2016-2019; es decir que cada año se suman más publicaciones y más

entidades, lo que evidencia el avance en el interés de las entidades públicas por compartir mayor cantidad de datos, y a su vez a la población por conocer más información sobre las entidades y sus procesos. Adicionalmente, se nota el hito producido en 2020 a partir de la pandemia de COVID-19, durante la cual las publicaciones aumentaron considerablemente. En agosto de 2021, se evidencia un manejo similar al del año 2019; se espera que a final de año el comportamiento de crecimiento anual de las publicaciones vuelva a su ritmo habitual.

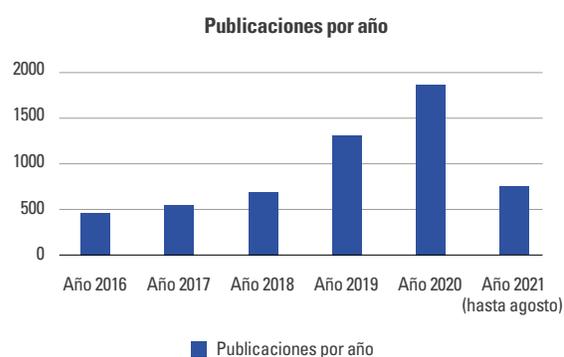


Figura 1. Publicaciones de datos abiertos por año (junio 2016-agosto 2021)  
Fuente: elaboración propia con base en el Inventario de Datos Abiertos de Colombia (MinTIC, 2021).

Las temáticas publicadas por las entidades colombianas han variado a lo largo del tiempo; tomaron mayor fuerza en 2019 antes de la pandemia y en 2021, tal y como se evidencia en la tabla 1 en los temas de educación, función pública, y salud y protección social.

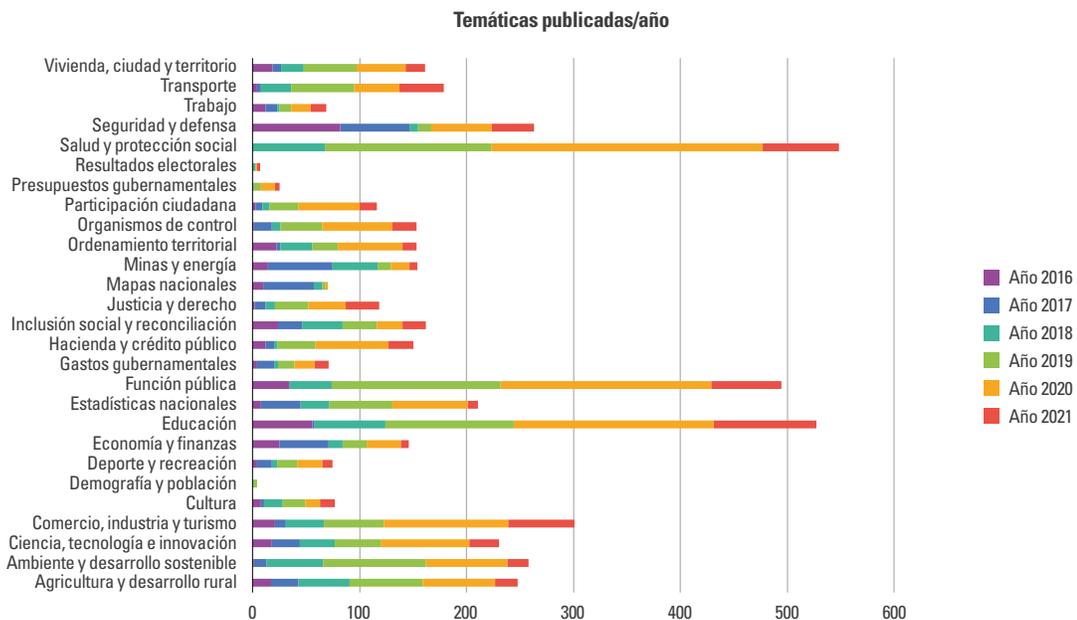
Sin embargo, por la pandemia en el año 2020 los datos publicados giran indiscutiblemente hacia el tema de salud y protección social, con lo que se duplica el interés en este, siendo más importante que cualquier otra categoría. Dicho fenómeno se generó por la necesidad de conocer datos acerca del número de personas contagiadas, recuperadas y fallecidas por COVID-19 para el desarrollo de acciones gubernamentales que velaran por la salud pública. Así mismo, el número de datos publicados en otras materias como educación, comercio, industria y turismo, y función pública aumentó en comparación con el año anterior como temas directamente afectados por el aislamiento.

Tabla 1.  
Temática publicada/año

Temática publicada	Año 2016	Año 2017	Año 2018	Año 2019	Año 2020	Año 2021
Agricultura y desarrollo rural	17	26	48	68	68	21
Ambiente y desarrollo sostenible	1	12	53	96	76	20
Ciencia, tecnología e innovación	18	26	33	43	83	27
Comercio, industria y turismo	21	10	36	56	116	62
Cultura	8	3	17	21	14	14
Demografía y población	0	0	1	3	0	0
Deporte y recreación	4	14	5	19	23	10
Economía y finanzas	25	46	13	23	32	7
Educación	56	2	66	120	187	96
Estadísticas nacionales	8	37	27	59	70	10
Función pública	34	1	39	158	197	65
Gastos gubernamentales	4	16	4	15	19	13
Hacienda y crédito público	12	8	3	36	68	23
Inclusión social y reconciliación	24	22	38	32	24	22
Justicia y derecho	2	10	9	31	35	31
Mapas nacionales	10	47	8	3	2	0
Minas y energía	14	61	42	12	18	7
Ordenamiento territorial	22	4	30	24	60	13
Organismos de control	1	17	8	39	66	22
Participación ciudadana	3	6	7	27	57	16
Presupuestos gubernamentales	0	0	1	7	13	4
Resultados electorales	0	0	3	0	1	3
Salud y protección social	0	0	68	155	254	71
Seguridad y defensa	82	65	8	12	57	39
Trabajo	12	11	2	11	18	15
Transporte	4	4	28	59	42	42
Vivienda, ciudad y territorio	19	8	21	49	46	18

Fuente: elaboración propia con base en el Inventario de Datos Abiertos de Colombia (MinTIC, 2021).

Figura 2. Publicaciones de datos abiertos por año (junio 2016-agosto 2021)



Fuente: elaboración propia con base en el Inventario de Datos Abiertos de Colombia (MinTIC, 2021).

Se identificaron 929 entidades diferentes en la base de datos, incluidas alcaldías, gobernaciones, hospitales, ministerios y universidades públicas, entre otros. En la tabla 2, se muestran las diez entidades con mayor número de publicaciones en el inventario del portal de datos abiertos en el periodo 2016-2021.

De estas diez entidades, la principal (de acuerdo con los datos publicados) es la Alcaldía Municipal de Medellín, la cual desarrolló 340 publicaciones en el periodo 2016-2021, más de tres veces el número de datos publicados por la segunda entidad, el MinTIC, institución encargada de la tarea de *open data* en el país. También, es notorio cómo el departamento de Risaralda, con una población menor a un millón de personas, aparece tres veces en este listado, junto a la Alcaldía Municipal de Pereira, la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Pereira y la Gobernación de Risaralda. La Unidad de Planificación de Tierras Rurales, Adecuación de Tierras y Usos Agropecuarios, que fue creada en 2011 y se encarga de la regulación del uso del suelo rural del país, se encuentra en el quinto lugar con 79 publicaciones, lo cual es relevante en un país con alto potencial agrícola como Colombia.

Pese a estas cifras, Colombia cuenta con un mayor número de entidades entre alcaldías locales, municipales y distritales, gobernaciones, entidades de control, secretarías y ministerios, cuerpos electorales a todo nivel y la Presidencia de la República. Por lo tanto, el nivel de datos abiertos evidenciado en el portal desarrollado para tal fin resulta insuficiente, así como la divulgación y difusión de esta herramienta para la población. Es de considerarse la responsabilidad de divulgación que tiene cada entidad, así como el acompañamiento técnico y metodológico sumado a la verificación que debe desarrollar MinTIC para lograr una mayor divulgación de datos abiertos por parte de las entidades.

En cuanto a las temáticas y su interacción con la ciudadanía, se observó que el mayor número de descargas corresponde a salud y protección social con 49 083 descargas en el Portal de Datos Abiertos; estas publicaciones han tenido 695 vistas. Las siguientes categorías más revisadas son Educación con 26 301 descargas y 571 vistas; y función pública con 20 177 descargas y 530 vistas, de acuerdo con la tabla 3.

**Tabla 2.**  
Diez entidades con mayor número de publicaciones de datos abiertos (2016-2021)

Entidades	Publicaciones (2016-2021)
Alcaldía Municipal de Medellín	340
Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones	97
Alcaldía Municipal de Pereira	94
Gobernación del Valle del Cauca	89
Unidad de Planificación de Tierras Rurales, Adecuación de Tierras y Usos Agropecuarios	79
E.S.P. Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Pereira S.A.	77
Universidad del Quindío	71
Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios	69
Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos	63
Gobernación del Risaralda	53

Fuente: elaboración propia con base en el Inventario de Datos Abiertos de Colombia (MinTIC, 2021).

**Tabla 3.**  
Temáticas vs. descargas y vistas

Temática	Descargas	Vistas
Salud y protección social	49 083	695
Educación	26 301	571
Función pública	20 177	530
Ambiente y desarrollo sostenible	17 114	275
Minas y energía	14 785	140
Comercio, industria y turismo	14 458	315
Agricultura y desarrollo rural	14 419	248
Justicia y derecho	8 230	130
Economía y finanzas	7 003	114
Hacienda y crédito público	6 369	158
Participación ciudadana	4 682	127
Cultura	4 497	84
Estadísticas nacionales	4 196	166
Organismos de control	3 139	140
Gastos gubernamentales	2 757	56
Mapas nacionales	2 753	33
Trabajo	2 384	54
Deporte y recreación	1 855	64
Presupuestos gubernamentales	584	25
Resultados electorales	226	8
Alcaldía Santiago de Cali	61	
Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones	30	
<b>Total general</b>	<b>304 539</b>	<b>5550</b>

Fuente: elaboración propia con base en el Inventario de Datos Abiertos de Colombia. (MinTIC, 2021).

Esto indica que la ciudadanía se ha enfocado prioritariamente en el tema de salud y protección social, seguido de las categorías de educación, función pública, ambiente y desarrollo sostenible, minas y energía, comercio, industria y turismo, justicia y derecho y economía y finanzas, las cuales ocupan porcentajes de hasta 3% en el *dataset* que ha agrupado datos desde junio de 2016 hasta agosto de 2021. Los datos vistos y descargados siguen la misma línea de interés y orden que llevan las entidades sobre aquella información que publican. La figura 3 contiene el número de vistas y descargas. Esta información es importante para las entidades que la originan, debido a que así pueden comprender el nivel de trascendencia que sus datos publicados tienen para la población y avanzar al ritmo de las expectativas de la ciudadanía.

Así como las entidades han enfocado sus esfuerzos en la publicación de datos abiertos sobre salud y protección social, la población también se ha centrado en el aprovechamiento de estos datos para mantenerse actualizada respecto a los datos variantes, la toma de decisiones individuales y comunitarias, la defensa de derechos humanos, las investigaciones académicas y el desarrollo de negocios.

Es de aclarar que podría encontrarse mayor número de descargas y vistas si se desarrollaran mayores esfuerzos en la divulgación de esta herramienta. Esto sobre todo en regiones apartadas de los centros

urbanos, así como en aquellas que tienen dificultad de conectividad debido a accidentes geográficos propios de sus regiones. Los gobiernos deben garantizar el derecho a la información y a la conectividad, y fomentar el uso de datos abiertos en la población, con el fin de promover de manera más amplia esta garantía propia de un Estado de derecho.

## Conclusiones

Tanto la publicación como el uso de datos abiertos en Colombia han ido en aumento. Esto amplía las posibilidades de interacción entre las entidades y la población, la participación activa de la ciudadanía y el reconocimiento de las expectativas de las personas por parte de cada entidad, lo cual es un insumo para la mejora continua en las organizaciones.

De acuerdo con el Inventario de Datos Abiertos, en el periodo 2016-2021 las entidades colombianas han puesto a disposición de la población 5600 publicaciones sobre diferentes temáticas, siendo las más relevantes: salud y protección social, educación, función pública, y ambiente y desarrollo sostenible. En comparación con la publicación y el uso de las otras temáticas, en 2020 aumentaron los datos sobre salud y protección social debido a la pandemia de coronavirus, y con esto,

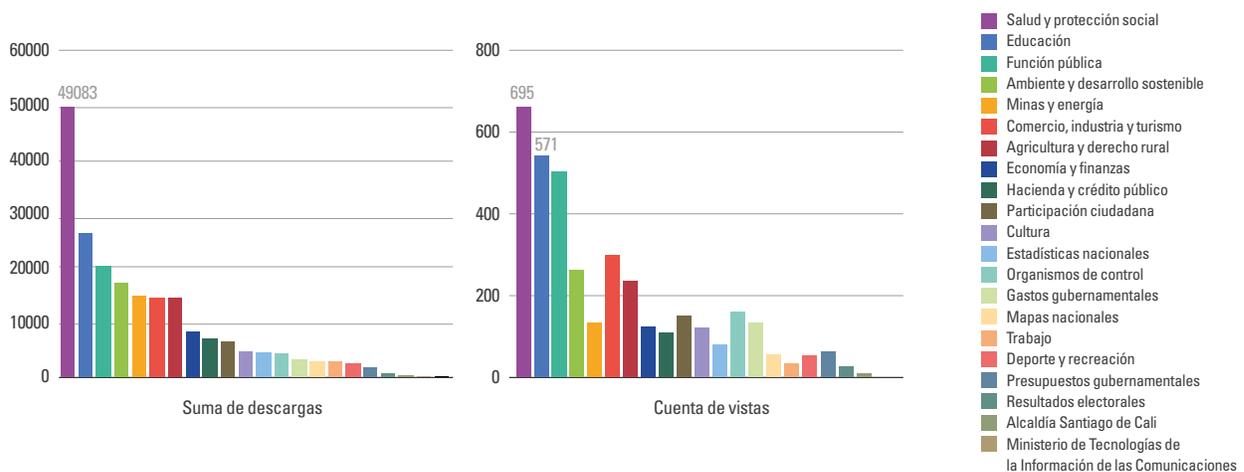


Figura 3. Descargas y vistas por tema

Fuente: elaboración propia con base en el Inventario de Datos Abiertos de Colombia (MinTIC, 2021).

la importancia de las cifras de personas contagiadas, recuperadas y fallecidas, del número de Unidades de Cuidado Intensivo disponibles, etc.

La pandemia ha llevado, en este caso, a una exponenciación de la necesidad de información diaria acerca de las fluctuaciones, por lo cual la toma de decisiones en lo público y en lo privado ha cambiado. Las entidades públicas han contestado al ritmo de estas necesidades, lo que ha producido un avance en las tecnologías y en los tiempos de respuesta de las organizaciones respecto a esta temática. Así mismo, los temas de educación y de comercio, industria y turismo también han contado con evolución en los datos y publicaciones, pues la pandemia ha llevado al aislamiento, al freno de la economía mundial y a la posterior reactivación, junto con las consecuencias sociales que esta situación ha causado en la población.

Se identificó a la Alcaldía de Medellín como la entidad pública con mayor publicación de datos abiertos en el periodo analizado, lo cual implica una riqueza de información importante tanto para esta entidad como para la población de esa ciudad. Tal esfuerzo es de destacar, al igual que el de las gobernaciones de los departamentos del Valle del Cauca y Risaralda, las cuales se encuentran en el listado de las diez entidades con mayor publicación de datos.

Si bien se encontraron alrededor de 930 entidades en el inventario, es de aclarar que Colombia tiene más de 1200 municipios, 32 departamentos, y un gran número de ministerios, secretarías y otras entidades públicas, las cuales, siguiendo la “Guía para publicación de datos abiertos”, deberían publicar información para la población. Se hace necesario que el MinTIC revise las cifras de datos abiertos publicados y si estas son similares a sus proyecciones para el año 2021.

Lo anterior tiene el propósito de diseñar nuevas estrategias que hagan masiva la publicación de información por parte de todas las entidades, de tal modo que sin importar el nivel o región del país en donde se encuentren, estén comprometidas en brindar datos a la ciudadanía que les permita conocer su gestión, acceder a su oferta y hacer control político en caso de requerirse, todo en aras de fortalecer la transparencia de las entidades públicas y generar confianza en la ciudadanía.

Los datos abiertos en Colombia cuentan con las condiciones de calidad previstas en estándares internacionales: son información primaria, publicada en internet, con licencia libre, formatos descargables y legibles, y con datos cruzados entre entidades. Estas consideraciones de calidad, explícitas en la “Guía para publicación de datos abiertos”, han sido puestas en práctica desde 2016 y le han permitido a Colombia posicionarse en el cuarto puesto en Latinoamérica en esta temática. Por lo tanto, se espera que los esfuerzos desarrollados sigan en el mismo curso para que Colombia pueda robustecer esta área que va en vía del fortalecimiento de derechos de la población y de la transparencia en las instituciones.

## Referencias

- Abella, A., Ortiz de Urbina-Criado, M. y De Pablos-Heredero, C. (2018). Indicadores de calidad de datos abiertos: el caso del portal de datos abiertos de Barcelona. *Profesional de la Información*, 27(2), 375-382. <https://doi.org/10.3145/epi.2018.mar.16>
- Abusleme, C. (2020). ¿Por qué los gobiernos promueven estrategias de datos abiertos? Los casos de México, Chile y Colombia. *Revista Estudios de Políticas Públicas*, 6(1), 20-41. <http://dx.doi.org/10.5354/0719-6296.2020.57804>
- Alianza Gobierno Abierto (AGA). (2012). *Primer Plan de Acción Gobierno Abierto*. AGA.
- Alianza Gobierno Abierto (AGA). (2021). *Página AGA Colombia*. <https://agacolombia.org/>
- Arboleda Mazo, W. H. y Anaya Hernández, R. (2018). Un acercamiento a datos abiertos en salud y su estado actual en Colombia. *Pensamiento Americano*, 11(21), 110-126. <https://doi.org/10.21803/pensam.v11i21.155>
- Cerillo Martínez, A. (2018). Datos masivos y datos abiertos para una gobernanza inteligente. *Profesional de la Información*, 27(5), 1128-1135. <https://doi.org/10.3145/epi.2018.sep.16>
- Criado, J. I. (2016). Las administraciones públicas en la era del gobierno abierto. Gobernanza inteligente para un cambio de paradigma en la gestión pública. *Revista de Estudios Políticos*, (173), 245-276. <https://doi.org/10.18042/cepc/rep.173.07>

- Ferrer Sapena, A. y Peset, F. (2021). *Ciencia abierta: la importancia de los datos abiertos en la I+D*. Webinario II Ciclo: Diálogos en el Territorio. <http://eprints.rclis.org/41900/>
- Ferrer Sapena, A., Calabuig, J.-M., Peset, F. y Sánchez del Toro, I. (2020). Trabajar con datos abiertos en tiempos de pandemia: uso de covidDATA-19. *Profesional de la Información*, 29(4). <https://doi.org/10.3145/epi.2020.jul.21>
- García Jiménez, A. y García, B. C. (2021). Una perspectiva documental y bibliotecología sobre el *big data* y el periodismo de datos. *Investigación Bibliotecológica: Archivonomía, Bibliotecología e Información*, 32(74), 77-99. <http://dx.doi.org/10.22201/iibi.24488321xe.2018.74.57910>
- Garriga-Portolá, M. (2011). ¿Datos abiertos? Sí, pero de forma sostenible. *Profesional de la Información*, 30(3), 298-302. <https://doi.org/10.3145/epi.2011.may.08>
- Gertrudis Casado, M.-C., Gertrudix Barrio, M. y Álvarez García, S. (2016). Competencias informativas profesionales y datos abiertos. Retos para el empoderamiento ciudadano y el cambio social. *Revista Comunicar*, 47, 39-47. <https://doi.org/10.3916/C47-2016-04>
- Gómez Sevillano, B. A., Morales Batista, M., Béliz Osorio, N., Villareal Cabuyales, Y. y González Jaén, E. (2021). Datos abiertos en Panamá. *Revista Prisma Tecnológico*, 12(1), 3-7. <https://doi.org/10.33412/pri.v12.1.2383>
- Hernández-Sampieri, R., Fernández Collado, C. y Baptista Lucio, M. (2010). *Metodología de la investigación* (5.ª ed.). McGraw-Hill.
- Martínez Musiño, C. y De León Alvarado, J. (2021). Las metodologías aplicadas en los artículos científicos de las ciencias bibliotecaria y de la información y Big Data. *Revista Científica Bibliotecas Anales de Investigación*, 17(2), 121-138. [https://redib.org/Record/oai\\_articulo3342807-las-metodolog%C3%ADas-aplicadas-en-los-art%C3%ADculos-cient%C3%ADficos-de-las-ciencias-bibliotecaria-y-de-la-informaci%C3%B3n-y-big-data](https://redib.org/Record/oai_articulo3342807-las-metodolog%C3%ADas-aplicadas-en-los-art%C3%ADculos-cient%C3%ADficos-de-las-ciencias-bibliotecaria-y-de-la-informaci%C3%B3n-y-big-data)
- Ministerio de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (MinTIC). (2021). *Guía para el uso y aprovechamiento de datos*. MinTIC.
- Vicente Paños, A. y Jordán Alfonso, A. (2017). Acceso a la información pública y su reutilización en las comunidades autónomas: evaluación de la reutilización de datos abiertos. *Profesional de la Información*, 26(3), 381-391. <https://doi.org/10.3145/epi.2017.may.04>
- World Justice Project. (2020). *Índice de Estado de Derecho 2020*. World Justice Project.

# Ciencia y Poder Aéreo

**Revista Científica de la Escuela de Postgrados  
Fuerza Aérea Colombiana**  
ISSN 1909-7050 - E-ISSN 2389-9468

— **Presentación.** La revista científica *Ciencia y Poder Aéreo* es una publicación semestral, editada por la Escuela de Postgrados Fuerza Aérea Colombiana. Su objetivo es comunicar los resultados de investigación en los temas de Desarrollo Espacial, AD Astra; Seguridad Operacional y Logística Aeronáutica; Gestión y Estrategia; Tecnología e Innovación; y Educación y TIC. La publicación busca, además, contribuir al desarrollo tecnológico y científico del país, generando nuevo conocimiento y propiciando espacios de discusión y reflexión.

— **Misión.** La misión de la revista *Ciencia y Poder Aéreo* es fomentar la divulgación del conocimiento en torno al sector aeroespacial mediante la publicación de artículos originales e inéditos en las áreas de Desarrollo Espacial AD ASTRA, Seguridad Operacional y Logística Aeronáutica, Gestión y Estrategia, Tecnología e Innovación, y Educación y TIC; producto de actividades científicas de investigación con alta calidad y pertinencia social. Se contribuye, de esta manera, al desarrollo económico, industrial y humano del país.

— **Visión.** La revista *Ciencia y Poder Aéreo*, alienada con la estrategia de la Fuerza Aérea Colombiana, será, para el 2042, un referente regional y global para la divulgación del conocimiento científico en la integración de capacidades militares y civiles del sector aeroespacial, en las áreas de Desarrollo Espacial AD ASTRA, Seguridad Operacional y Logística Aeronáutica, Gestión y Estrategia: modelos de planeación estratégica, Tecnología e Innovación, y Educación y TIC, tanto en el campo

de la ingeniería como en las ciencias sociales. Por lo tanto, la revista hará parte de las mejores bases de datos especializadas y estará indexada en Scopus y Web of Science.

— **Público.** La revista *Ciencia y Poder Aéreo* está dirigida a la comunidad científica nacional e internacional, estudiantes, profesores, docentes, investigadores; miembros de las Fuerzas Militares y del sector aeroespacial.

— **Política Editorial.** Dentro de la Política editorial de la revista *Ciencia y Poder Aéreo* se incluye un aparte dirigido a la ética frente a las responsabilidades del autor, del árbitro y el proceso de evaluación, así como del proceso editorial.

— **Ética de la Revista.** La revista se acoge a las *Ethical guidelines for journal publication* de Elsevier. Según estas, los artículos presentados a la revista deben ser originales e inéditos y estos no deben estar simultáneamente en proceso de evaluación ni tener compromisos editoriales con ninguna otra publicación. Si el manuscrito es aceptado, el editor espera que su aparición anteceda a cualquier otra publicación total o parcial del artículo. Cuando la revista tiene interés de publicar un artículo que ya ha sido previamente publicado, el autor deberá solicitar la autorización correspondiente a la editorial que realizó la primera publicación y dirigirla al editor.

— **Reserva de Derechos.** Excepto cuando se indique lo contrario, el contenido en este sitio es licenciado bajo una licencia Creative Commons Atribución 4.0 internacional. La licencia permite a cualquier usuario descargar, imprimir, extraer, archivar, distribuir y comunicar públicamente este artículo, siempre y cuando el crédito se dé a los autores de la obra: al autor (es) del texto y a la revista científica *Ciencia y Poder Aéreo* de la Escuela de Postgrados Fuerza Aérea Colombiana.

# Ciencia y Poder Aéreo

Scientific Journal of the Escuela  
de Postgrados Fuerza Aérea  
ISSN 1909-7050 - E-ISSN 2389-9468

— **Aim and Scope.** *Ciencia y Poder Aéreo* is a biannual scientific journal, of open access, which receives articles indistinctly in Spanish, English and Portuguese, and is edited by the Escuela de Postgrados Fuerza Aérea. It is aimed to contribute to the dissemination of research results on the fields Space Development, AD Astra; Operational Safety and Aviation Logistics; Management and Strategy; Technology and Innovation; and Education and TIC. The journal also seeks to contribute to Colombian technological and scientific development, generating new knowledge and creating opportunities for discussion and reflection.

— **Mission.** The mission of the *Ciencia y Poder Aéreo* journal is to promote the dissemination of knowledge about the aerospace sector through the publication of original and unpublished articles in the areas of AD Astra Space Development, Operational Safety and Aeronautical Logistics, Management and Strategy, Technology and Innovation and Education and TIC; product of scientific research activities with high quality and social relevance. In this way, it contributes to the economic, industrial and human development of the country.

— **Vision.** The journal *Ciencia y Poder Aéreo*, aligned with the strategy of the Fuerza Aérea Colombiana, will be, by 2042, a regional and global benchmark for the dissemination of scientific knowledge in the integration of military and civil capabilities of the aerospace sector, in the areas of AD Astra Space

Development, Operational Safety and Aeronautical Logistics, Management and Strategy, Technology and Innovation, and Education and TIC, both in the field of engineering and social sciences. Therefore, the journal will be part of the best specialized databases and will be indexed in Scopus and Web of Science.

— **Audience.** *Ciencia y Poder Aéreo* is addressed to the national and international scientific community, students, professors, trainers, researchers, members of the Colombian Military Forces, and members of the aerospace industry.

— **Editorial Policy.** In its editorial policy, *Ciencia y Poder Aéreo* includes a code of ethics on the responsibilities of authors and reviewers, and on the evaluation and the editorial process.

— **Journal Ethics.** The journal complies with Elsevier Ethical Guidelines for Journal Publication. According to these, submissions must be original and unpublished works and must not be simultaneously in evaluation nor have editorial commitments with any other publication. If the manuscript is accepted, the editor expects its appearance to precede any other full or partial publication. When the journal is interested in publishing a paper that has already been published, the author must request authorization from the publisher that made the first publication and refer this information to the editor.

— **Copyright and Licensing.** Except when otherwise indicated, this site and its contents are licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License. Under the terms of this license, users are free to download, print, extract, archive, distribute and publicly communicate the content of articles, provided that proper credit is granted to authors and *Ciencia y Poder Aéreo*, scientific journal of the Escuela de Postgrados Fuerza Aérea.

## Ciencia y Poder Aéreo

Revista científica da Escuela de Postgrados  
Fuerza Aérea  
ISSN 1909-7050 - E-ISSN 2389-9468

— **Enfoque e alcance.** A revista científica *Ciencia y Poder Aéreo* é uma publicação semestral, acesso aberto, que recebe artigos indistintamente em espanhol, inglês e português e é editada pela Escuela de Postgrados Fuerza Aérea. Seu objetivo é comunicar os resultados de pesquisa nos temas de Desenvolvimento Espacial, AD Astra; Segurança Operacional e Logística na Indústria Aeronáutica; Gestão e Estratégia; Tecnologia e Inovação; e educação e TIC. Além disso, a publicação busca contribuir ao desenvolvimento tecnológico e científico do país, gerando novo conhecimento e propiciando espaços de discussão e reflexão.

— **Missão.** A revista *Ciencia y Poder Aéreo* tem como missão promover a difusão do conhecimento sobre o setor aeroespacial por meio da publicação de artigos originais e inéditos nas áreas de Desenvolvimento Espacial AD Astra, Segurança Operacional e Logística Aeronáutica, Gestão e Estratégia, Tecnologia e Inovação, e Educação e TIC, produto de atividades de pesquisa científica de alta qualidade e relevância social. Desta forma, contribui para o desenvolvimento econômico, industrial e humano do país.

— **Visão.** A revista *Ciencia y Poder Aéreo*, alinhada com a estratégia da Fuerza Aérea Colombiana, será, até 2042, uma referência regional e global para a difusão do conhecimento científico na integração das capacidades militares e civis do setor aeroespacial, nas áreas de Desenvolvimento Espacial AD Astra, Segurança Operacional e Logística Aeronáutica, Gestão

e Estratégia, Tecnologia e Inovação, e Educação e TIC, ambos no campo da engenharia e ciências sociais. Assim, a revista fará parte das melhores bases de dados especializadas e será indexada na Scopus e Web of Science.

— **Público.** A revista *Ciencia y Poder Aéreo* está dirigida à comunidade científica nacional e internacional, estudantes, professores, docentes, pesquisadores; membros das Forças Militares, e da indústria aeroespacial.

— **Política Editorial.** Na Política editorial da revista *Ciencia y Poder Aéreo* é incluída uma seção destinada à ética em relação as responsabilidades do autor, do árbitro e do processo de avaliação assim como do processo editorial.

— **Ética da Revista.** A revista está sujeita às *Ethical guidelines for journal publication* de Elsevier. De acordo com estas, os artigos submetidos à revista devem ser originais e inéditos e não devem estar simultaneamente em processo de avaliação em outras publicações ou órgãos editoriais. Caso o manuscrito for aceito, o editor esperará que sua publicação seja antes de qualquer outra publicação total ou parcial do artigo. Quando a revista tiver interesse em publicar um artigo que já tenha sido previamente publicado, o autor deverá solicitar a autorização correspondente à editorial que fez a primeira publicação e enviá-la ao editor.

— **Direitos de autor e licença de uso.** Exceto quando for indicado o contrário, o conteúdo deste site será licenciado sob uma licença Creative Commons Attribution 4.0 Internacional. A licença permite que qualquer usuário baixe, imprima, extraia, archive, distribua e comunique publicamente este artigo, desde que seja dado o devido crédito aos autores: ao(s) autor(es) do texto e a *Ciencia e Poder Aéreo*, revista da Escuela de Postgrados Fuerza Aérea.

# Instrucciones para autores

## — Clasificación de los artículos científicos

La revista *Ciencia y Poder Aéreo* evalúa artículos que generen nuevo conocimiento. Dentro de estos se encuentran:

**a. Artículo de investigación.** Es un documento que presenta de manera detallada los resultados originales derivados de proyectos de investigación o desarrollo tecnológico. Debe estar estructurado en introducción, revisión de literatura, metodología, discusión y conclusiones. El resumen debe ser de 150-250 palabras, el cual debe tener la misma estructura del artículo de investigación. Se recomienda que referencie mínimo 20 documentos, en su mayoría artículos de revistas indexadas, capítulos de libros y libros con DOI. Las palabras clave deben ser máximo 6. Recomendamos que estas sean tomadas del Nasa Thesaurus o del Unesco Thesaurus (ciencias sociales).

**b. Artículo de reflexión.** Es un documento original que ofrece una perspectiva analítica, reflexiva o crítica sobre un tema específico. Estos artículos deben contener una propuesta teórica o conceptual original, que pueda contribuir científicamente en las áreas de interés de la revista. El artículo tendrá que ser claro, coherente y seguir una estructura lógica. El resumen debe ser de 150-250 palabras, el cual debe tener claro el contexto del estudio, cuál es el problema, cuál es la posición y cómo se argumentará en favor de esta. Se recomienda que referencie mínimo 20 documentos en su mayoría a artículos de revistas indexadas, capítulos de libros y libros. Recomendamos que estas sean tomadas del Nasa Thesaurus o del Unesco Thesaurus (ciencias sociales).

**c. Artículo de revisión.** Es un documento que organiza, sistematiza y analiza resultados de investigación relevantes para los temas generales de la revista. Este tipo de artículos son escritos por autores que tienen un dominio en un área de investigación representada en los artículos que ha publicado. Se aceptarán revisiones de literatura, sistemáticas o metaanálisis. Los resúmenes expondrán el objetivo, los métodos (para revisiones sistemáticas o metaanálisis), los resultados y las conclusiones. El mínimo de artículos de revistas indexadas, capítulos de libros y libros que deben referenciar estos documentos son 50.

Los artículos se publicarán en español, inglés y portugués. La revista *Ciencia y Poder Aéreo* admite la presentación de artículos cuyas áreas temáticas coincidan con los que se describen a continuación:

- Desarrollo Espacial, AD Astra
- Seguridad Operacional y Logística Aeronáutica.
- Gestión y Estrategia.
- Tecnología e Innovación.
- Educación y TIC.

Busca que los temas referidos estén en lo posible relacionados con el sector aeroespacial y afines, con énfasis en la ingeniería aeronáutica.

## — Directrices para autores

- Se recuerda que los artículos deben ser enviados por medio de la plataforma Open Journal System (<https://publicacionesfac.com/index.php/cienciaypoderareero>) o al correo [cienciaypoderareero@epfac.edu.co](mailto:cienciaypoderareero@epfac.edu.co)
- Es necesario cumplir con los requisitos para el documento depositados en la sección “Requisitos del texto”, dentro de los cuales se detalla el tipo de archivo preferido, el formato del documento, la fuente preferida, el puntaje de la letra, el interlineado, así como el manual de estilo seguido por *Ciencia y Poder Aéreo*.
- También se hace preciso seguir las recomendaciones éticas y del proceso consignadas en “Responsabilidades del autor”, como, el envío de una ficha de presentación; las consideraciones sobre la autoría y problemas con esta; la necesidad de proporcionar información veraz sobre la financiación y afiliación institucional; el permiso para enviar su documento a una evaluación por pares; el permiso a usar sus datos para plataformas como Publindex o Crossref; el compromiso de que el artículo es original, no se ha postulado simultáneamente a otras revistas, no es redundante, y la cesión de derechos de propiedad intelectual o patrimonial a la Escuela de Postgrados Fuerza Aérea Colombiana.

## Normas generales

Todo artículo debe:

- Ser un documento o artículo original, no publicado previamente y no considerado en otra revista.
- Estar científicamente documentado, presentar coherencia y cohesión.

- Explicar el tipo de artículo: si corresponde a un artículo de investigación, de reflexión o de revisión.
- Detallar el proyecto de investigación, el registro (en caso de contar con este) o datos relacionados con el trabajo a presentar.
- Exponer de manera veraz la filial institucional de los autores, su perfil profesional y datos de contacto, la función desempeñada (intelectual, experimental o de escritura). También contar con un ORCID y un CVLAC, en caso de estar vinculado a una institución colombiana. Se recomienda incluir su nombre normalizado preferido teniendo en cuenta las consideraciones de la International Registry of Authors-Links to Identify Scientists (<https://www.iralis.org/>).
- Detallar si se encuentra inmerso en conflictos de interés.
- Cada propuesta de artículo se somete a la evaluación de pares, cuyo concepto es importante para la decisión de su publicación.
- Exponer posibles conflictos de interés.
- Los datos aquí depositados serán usados para la plataforma Publindex y Crossref.

## — Requisitos y estructura de los artículos

### Requisitos del texto

- Los artículos deben tener una letra Times New Roman, 12 puntos, interlineado sencillo.
- Las figuras, tablas y ecuaciones siguen las normas APA, la séptima edición. Por ejemplo, numerarlas y citarlas dentro del documento, tener en cuenta cómo se titulan cada una de ellas, basarse en el tipo de notas que debe tener cada una de ellas, describir cuál es la fuente de cada una.
- Siglas: se citará la primera vez el nombre completo y entre paréntesis la sigla. Posteriormente, solo se usará la sigla. Las siglas que se introduzcan deberán usarse a lo largo del texto.
- Citación y referencias: la citación y referencias se deben editar con base en las normas APA, séptima edición.
- Las notas al pie de página se utilizarán solo para aportes sustantivos al texto.

### Estructura para los tipos de artículos

El título debe estar en español, inglés y portugués. Como nota al pie, indicar el tipo de artículo, la información sobre la financiación de la investigación y datos asociados a esta —su grupo de investigación, el registro de proyecto, la entidad

financiadora u otra información que se considere—. El título debe tener máximo 15 palabras. Tiene que aclarar el tema del artículo y ser específico.

**Resumen:** deben estar escritos en español, portugués e inglés entre 150 y 250 palabras.

Los resúmenes de artículos de investigación (resúmenes analíticos) tienen la estructura de introducción, objetivos, método, resultados, conclusiones.

Los resúmenes de artículos de reflexión (resúmenes analíticos sintéticos) presenta los aspectos significativos del texto de una manera lógica. Este también resalta los resultados que obtuvo el autor.

Los resúmenes de artículos de revisión presentan los principales puntos de análisis (resúmenes descriptivos) ofreciendo los principales hallazgos a partir de esta comparación. En el caso de artículos de revisión sistemática o metaanálisis se sigue una estructura como la de los artículos de investigación.

**Palabras clave:** debe tener 3 a 6 en orden alfabético (tener en cuenta las palabras temáticas que proporcionan los tesauros recomendados en “Clasificación de los artículos”). Estas separadas por punto y coma (;).

Los artículos de investigación deben tener una introducción (hacer mención al problema de investigación); un método; unos resultados; la discusión; las conclusiones, recomendaciones o agradecimientos (opcional).

Las referencias deben estar en orden alfabético, siguiendo las normas APA, séptima edición. Se recomienda que sean mayoritariamente artículos en revistas indexadas o libros de editoriales académicas, haber sido publicadas en los últimos cinco años, y tener doi.

En un fichero aparte se debe incluir datos del autor: nombres, apellidos, breve currículo, filial institucional, dirección electrónica y postal (dirección lugar de trabajo o de correspondencia), números telefónicos de contacto y adscripción académica o profesional, función dentro de la realización del artículo (intelectual, experimental o escritura).

## — Preparación de envíos

Como parte del proceso de envíos, los autores están comprometidos a comprobar que su envío cumpla todos los requisitos que se muestran a continuación. Se devolverán a los autores aquellos envíos que no cumplan estas directrices.

1. El trabajo enviado no ha sido publicado previamente ni se ha enviado simultáneamente a otra revista.
2. El manuscrito está en formato Microsoft Word (forma de fichero electrónico .doc).
3. Los artículos deben tener una letra Times New Roman, 12 puntos, interlineado sencillo.
4. Se han presentado las referencias bibliográficas en orden alfabético siguiendo los lineamientos de las normas APA, séptima edición.
5. Todas las figuras y tablas se han situado en la posición correspondiente y no al final del texto. Estas deben ser citadas a lo largo del documento. Todas las figuras (gráficos, imágenes, fotografías) y tablas deben ser enviadas por separado en la máxima calidad o en formato editable para efectos de diseño.
6. El trabajo enviado ha sido preparado para la revisión ciega por pares, es decir, se han eliminado las referencias y los nombres de los autores de todas las partes del artículo y se han sustituido por la palabra «autor» (propiedades del documento incluidas).
7. Se han adjuntado los datos del autor en un fichero aparte con nombre, apellidos, breve currículo, filial institucional, dirección electrónica y postal (dirección lugar de trabajo o de correspondencia), números telefónicos de contacto y adscripción académica o profesional, rol (intelectual, experimental o escritura).
8. Las referencias son en su mayoría a artículos de revistas indexadas o libros académicos de máximo cinco años. Estas poseen doi o en su defecto tienen un enlace que no está caído.
9. Cesión de los derechos de propiedad intelectual. La propiedad intelectual hace referencia a las creaciones artísticas, industriales o científicas. La revista rige sus políticas de cesión de derechos de acuerdo con los siguientes principios:
  - Se han diligenciado y firmado el formato: Carta de Presentación, Licencia de Uso y Cesión de Derechos Patrimoniales. Allí los autores dejan de manifiesto que son los autores originales de las obras (también se incluyen aspectos referidos a la licencia de uso y derechos patrimoniales).
  - El equipo editorial queda, por lo tanto, exonerado de cualquier obligación o responsabilidad por cualquier acción legal que pueda suscitarse derivada de la obra depositada por la vulneración de derechos de terceros, sean de propiedad intelectual o industrial, de secreto comercial o cualquier otro.

- Es responsabilidad de los autores obtener los permisos necesarios de las imágenes que estén sujetas a copyright.
- Si por último se decide no publicar el artículo en la revista, la cesión de derechos mencionada quedará sin efecto, de modo que el autor recuperará todos los derechos de explotación de la obra.
- El envío de los artículos no implica la obligatoriedad de publicarlos, pues serán sometidos a evaluación de pares ciegos; aquellos textos que a juicio del editor, el Comité Editorial o el Comité Científico llenen los requisitos exigidos y sean trabajos relacionados con el Desarrollo Espacial, AD Astra; la Seguridad Operacional y Logística Aeronáutica; la Gestión y Estrategia; la Tecnología e Innovación; y la Educación y TIC.
- Si no se indica lo contrario, se entienden aceptados la política de confidencialidad y el aviso legal de la revista en el momento de completar la entrega de su artículo y en el momento de ejecutar el formulario de registro en sitio web: [www.publicacionesfac.com](http://www.publicacionesfac.com).

Los autores son responsables del contenido de sus artículos y materiales asociados, garantizando su originalidad y carácter inédito. La revista *Ciencia y Poder Aéreo* realiza la verificación de todos los manuscritos presentados para publicación mediante el uso del software antiplagio *iThenticate*, de tal manera que se garantice la originalidad de los manuscritos. En caso de detectar plagio, el manuscrito será descartado para su publicación.

#### Nota:

Para información adicional sobre los siguientes aspectos consulte la página web de la revista

<https://publicacionesfac.com/index.php/cienciaypoderaereo/about/submissions>

**Política de prevención de plagio**  
**Política de dictaminación**  
**Política de revisión y publicación**  
**Política de acceso abierto**  
**Derechos de autor y licencia de uso**

---

#### Postule sus documentos a través de la plataforma:

<https://publicacionesfac.com/index.php/cienciaypoderaereo>

Dirija sus inquietudes al correo electrónico:

✉ [cienciaypoderaereo@epfac.edu.co](mailto:cienciaypoderaereo@epfac.edu.co)

---

# Guidelines for Authors

## — Classification of Articles

*Ciencia y Poder Aéreo* accepts submissions that involve the generation of new knowledge. Among these, the following are included:

**a. Research article.** Document that presents the original results of research or technological development projects in detail. It must include introduction, literature review, methodology, discussion, and conclusions. The abstract must be 150-250 words and follow the same structure as the content of the paper. The list of references should include a minimum of 20 peer-reviewed works (especially journal articles, book chapters and books with a DOI number). A maximum of 6 keywords is recommended. These should be taken from Nasa Thesaurus or Unesco Thesaurus (Social Sciences).

**b. Research-based reflection article.** Original work that offers analytical, reflexive or critical perspectives on a specific topic. These articles must present an original theoretical or conceptual proposal that scientifically contributes to the areas of interest of the journal. The article must be clear, coherent, and follow a logical structure. The abstract should contain 150-250 words and be clear about the context of the study, the research problem, the position of the author(s), and how this will be supported through arguments. The list of references should include a minimum of 20 peer-reviewed works, particularly journal articles, book chapters and books. A maximum of 6 keywords is recommended. These should be taken from Nasa Thesaurus or Unesco Thesaurus (Social Sciences).

**c. Review Article.** Document that organizes, systematizes and provides analysis of research results relevant to the subject areas covered by the journal. This type of article is prepared by authors with a strong domain of certain research areas, represented by the number of contributions they have published. Literature, systematic or meta-analysis reviews will be accepted. The abstract will state the objective, method (for systematic reviews or meta-analyses), results, and conclusions of the study. A minimum of 50 peer-reviewed journal articles, book chapters and/or books must be included in the list of references.

Manuscripts in Spanish, English and Portuguese will be published. *Ciencia y Poder Aéreo* accepts submissions whose subject areas match those described below:

- Space Development, AD Astra
- Operational Safety and Aviation Logistics.
- Management and Strategy.
- Technology and Innovation.
- Education and ICT.

The journal seeks that the topics addressed by authors are associated to the aerospace industry and other related sectors, with a particular focus on aeronautical engineering.

## — Guidelines for Authors

- Authors should submit their articles using the Open Journal System platform (<https://publicacionesfac.com/index.php/cienciaypoderaereo>) or send them to the e-mail address [cienciaypoderaereo@epfac.edu.co](mailto:cienciaypoderaereo@epfac.edu.co)
- It is necessary to comply with the requirements established in the “Text requirements” section, within which the preferred file type, document format, font, font size, and line spacing are described. The style manual prepared by *Ciencia y Poder Aéreo* must also be considered before submissions.
- It is also necessary to follow the ethical and process recommendations set forth in the “Duties of authors” section, such as sending a presentation form; considerations about authorship and related issues; the need to provide accurate information on funding and institutional affiliation; permission to submit documents for peer-reviewing; grant permission to use their data in platforms such as Publindex or Crossref; stating that the article is original, has not been submitted simultaneously to other journals, and is not redundant; and accepting the transfer of intellectual or patrimonial property rights to the Escuela de Postgrados Fuerza Aérea Colombiana.

## General Guidelines

All submissions must:

- Be an original document, not previously published nor submitted to another journal.
- Be scientifically documented and display coherence and internal unity.

- Indicate the type of article: research paper, research-based reflection paper or review paper.
- Indicate the research project, registration (if available) and/or any related data.
- State the institutional affiliation of all authors, their professional profile and contact details, as well as their role (intellectual, experimental or writing of the paper). Authors should also include their ORCID and CVLAC information, in case of working for an institution in Colombia. It is recommended to follow the guidelines of the International Registry of Authors-Links to Identify Scientists (<https://www.iralis.org/>) for including authors names.
- Declare any conflicts of interest.
- Be subject to a peer-review process, whose concept is relevant for deciding upon their publication.
- Allow the use of information in Publindex and Crossref platforms.

## — Manuscript Requirements and Structure

### Text Requirements

- Articles must use Times New Roman font type, 12 points, single line spacing.
- Figures, tables and equations must follow APA standard, 7th edition. For example, these elements must be consecutively numbered and cited within the text, taking into account the correct style for titles, notes and source.
- Acronyms will be fully named the first time they are mentioned, with its abbreviation presented in brackets. Subsequently, only the acronym will be used. Acronyms previously introduced should be used throughout the text.
- Cites and references should follow the American Psychological Association (APA) standard, 7th edition.
- Footnotes will be only be used for adding relevant information to support the text.

### Structure for Each Type of Article

The title of all articles should be included in Spanish, English, and Portuguese. As a footnote, state the type of article, information regarding the research and other related data (research group, project registration, funding entity, and other information). The title must have a maximum of 15 words. Authors must state the subject area of their paper.

**Abstract:** should be included in Spanish, English, and Portuguese and have 150-250 words in length.

The abstract of research papers should follow this structure: introduction, methodology, results, and conclusions.

The abstract of reflection articles (synthetic abstracts) present the significant aspects of the study in a logical way, highlighting the results obtained by authors.

The abstract of review articles present the main points of analysis (descriptive summary), offering the main findings from their comparison. In the case of systematic review or meta-analysis studies, a structure similar to that of research articles should be followed.

**Keywords:** 3 to 6 in alphabetical order (consider the thematic words provided by thesauri in the “Classification of Articles” section) and separated by a semicolon (;).

Research papers must include the following sections: introduction (mention the research problem), methodology, results, discussion, conclusions, recommendations, and acknowledgments (optional).

References must be in alphabetical order, following APA standard, 7th edition. These should correspond to peer-reviewed journal articles, books published by academic editorials, have a doi number, and have been published during the last five years.

In a separate file include author(s) information, name and surname, brief curriculum vitae, institutional affiliation, e-mail and postal address (workplace address and/or mail address), contact phone numbers and academic or professional relation, and role within the production of the article (intellectual, experimental or writing of the paper).

## — Preparing your Submission

As part of the submission process, authors are committed to verifying that the submitted documents meet all of the requirements described below. Submissions that do not meet these guidelines will be returned to authors.

1. The submitted work has not been previously published nor sent simultaneously to another journal.
2. The manuscript is in Microsoft Word, Open Office or RTF format (electronic file .doc, .rtf or .odt).
3. Articles must use Times New Roman font type, 12 points, single line spacing.
4. References are presented in alphabetical order, following the guidelines of the APA standards, 7th edition.

5. All figures and tables are properly placed within the document and not at the end of the text. These should be cited in the document. All figures (graphs, images, photographs) and tables should be separately sent in high quality or an editable format for design purposes.
6. The submitted paper should be prepared for the blind peer-reviewing process, that is, references to authors' identity and names have been removed from all the document and replaced by the word «author(s)» (document properties included).
7. Authors' data should be attached in a separate file, including name and surname, brief curriculum vitae, institutional affiliation, e-mail and postal address (workplace address and/or mail address), contact phone numbers and academic or professional relation, and role within the production of the article (intellectual, experimental or writing of the paper).
8. References mostly correspond to articles in peer-reviewed journals or academic books published during the last five years. These have a doi number or an operating link.
9. Transfer of intellectual property rights. Intellectual property refers to artistic, industrial or scientific creations. The journal adopts the following principles for the transfer of intellectual property rights:
  - All authors must complete and sign the form “Presentation letter and License Use – Economic rights,” in which they manifest that they are the original authors (aspects related to the license of use and economic rights are also included).
  - The editorial team is, therefore, exonerated from any obligation or responsibility for any legal action that may arise from the submitted work regarding the violation of the rights of third parties, whether they are intellectual or industrial property, trade secret or any other.
  - It is the responsibility of authors to obtain the necessary permissions for the use of images subject to copyright.
  - In case authors decide not to publish their paper in the journal, the aforementioned rights assignment will have no effect and authors will recover all the rights for exploiting their work.
  - Submitting an article does not imply that the journal must publish such contribution, since all submissions that, in the opinion of the Editor, the Editorial Committee or the Scientific Committee, meet the requirements and address the fields of Space Development, AD Astra; Operational Safety and Aeronautical Logistics;

Management and Strategy; Technology and Innovation; and Education and TIC will be subject to a peer-review process.

- Unless otherwise stated, the confidentiality policy and the legal notice of the journal are understood as accepted at the time of completing the submission of your paper and the registration form on the website: [www.publicacionesfac.com](http://www.publicacionesfac.com)

Authors are responsible for the content of their papers and associated materials and declare their originality and unpublished character. *Ciencia y Poder Aéreo* examines all the manuscripts submitted for publication using the anti-plagiarism software iThenticate, which exposes the percentage of similarity of a given work with others already published or available in databases, thus establishing its degree of originality. *Ciencia y Poder Aéreo* follows the process recommended by the Committee on Publication Ethics regarding a possible suspicion of plagiarism. Thus, if a text reports a similarity rate of 20%, the editorial team will request adjustments to the document. When this similarity represents a greater rate or corresponds to complete and significant blocks of text, the document will be considered plagiarized and the editorial team will proceed to ask the authors for explanations. If these are not satisfactory, the manuscript will be automatically rejected.

#### Note:

For additional information on the following aspects, please visit the journal website:

<https://publicacionesfac.com/index.php/cienciaypoderaereo/about/submissions>

**Plagiarism Prevention Policy**  
**Initial Assessment Policy**  
**Peer-reviewing Process**  
**Open Access Policy**  
**Copyright and Licensing**

---

#### Submit your documents through the platform:

<https://publicacionesfac.com/index.php/cienciaypoderaereo>

Direct your questions to the e-mail:

✉ [cienciaypoderaereo@epfac.edu.co](mailto:cienciaypoderaereo@epfac.edu.co)

---

# Diretrizes para autores

## — Classificação dos artigos científicos

A revista *Ciencia y Poder Aéreo* avalia artigos de pesquisa que promovam novos conhecimentos. Dentro destes pode-se encontrar:

**a. Artigo de pesquisa.** Documento que apresenta de forma detalhada os resultados originais derivados de projetos de pesquisa ou desenvolvimento tecnológico. Deve estar estruturado em introdução, revisão da literatura, metodologia, discussão e conclusões. O resumo deve ter no mínimo 150 e, no máximo 250 palavras, e deve ter a mesma estrutura do artigo de pesquisa. É recomendado que, no mínimo, 20 documentos sejam referenciados, em sua maioria artigos de revistas indexadas, capítulos de livros e livros com DOI. As palavras-chave devem ser no máximo 6. Do mesmo modo, é recomendado que estas sejam tomadas do Nasa Thesaurus ou de Unesco Thesaurus (ciências sociais).

**b. Artigo de reflexão.** Documento original que apresenta uma perspectiva analítica, reflexiva ou crítica sobre uma temática específica. Contudo, este artigo deve conter uma proposta teórica ou conceitual original que possa contribuir cientificamente nas áreas de interesse da revista. O artigo tem que ser claro, coerente e seguir uma estrutura lógica. O resumo deve ter de 150 a 250 palavras, e deve ter claro o contexto do estudo, qual é o problema, qual é o ponto de vista e como se argumentará a favor desta. É recomendado que, no mínimo, 20 documentos sejam referenciados, em sua maioria artigos de revistas indexadas, capítulos de livros e livros com DOI. Do mesmo modo, é recomendado que estas sejam tomadas do Nasa Thesaurus ou de Unesco Thesaurus (ciências sociais).

**c. Artigo de revisão.** Documento onde se organizam, sistematizam e analisam os resultados de pesquisa relevantes para as temáticas gerais da revista. Este tipo de artigos são escritos por autores que dominam uma área de pesquisa e esse conhecimento é representado nos artigos que tem publicado. Serão aceitas revisões de literatura, sistemáticas e meta-análises. Os resumos devem ter o objetivo, os métodos (para revisões sistemáticas ou meta-análise), os resultados e as conclusões. É recomendado que, no mínimo, 50 documentos sejam referenciados de revistas indexadas, capítulos de livros e livros.

Os artigos serão publicados em espanhol, inglês e português. A revista *Ciencia y Poder Aéreo* aceita a apresentação de artigos cujas áreas temáticas coincidam com as descritas abaixo:

- Desenvolvimento Espacial, AD Astra
- Segurança Operacional e Logística na Indústria Aeronáutica
- Gestão e Estratégia
- Tecnologia e Inovação
- Educação e TIC

Os temas referidos devem estar, na medida do possível, relacionados com a indústria aeroespacial e áreas afins, com ênfase nas engenharias de referência aeronáutica.

## — Diretrizes para autores

- Os autores devem submeter seus artigos, através do nosso portal Open Journal System (<https://publicacionesfac.com/index.php/cienciaypoderaereo>), ou ao e-mail: [cienciaypoderaereo@epfac.edu.co](mailto:cienciaypoderaereo@epfac.edu.co)
- É necessário satisfazer os requisitos para o documento estabelecido na seção “Requisitos do texto”, onde é especificado o tipo de arquivo preferido, o formato do documento, a fonte preferida, a pontuação da letra, o espaçamento entre linhas, assim como o manual de estilo seguido por *Ciencia y Poder Aéreo*.
- Também, é preciso seguir as recomendações éticas do processo consignadas em “Responsabilidades do autor”, como, o envio de uma ficha de apresentação, as considerações sobre a autoria e problemas com esta; a necessidade de disponibilizar informação veraz sobre o financiamento e a filiação institucional; a permissão para enviar seu documento para ser avaliado por pares; a permissão para usar seus dados para plataformas como Publindex o Crossref; o compromisso de que o artigo é original, não tem sido submetido simultaneamente para outras revistas, não é redundante, e a cessão de direitos de propriedade intelectual ou patrimonial à Escuela de Postgrados Fuerza Aérea Colombiana.

## Normas gerais

Todo artigo deve:

- Ser um documento ou artigo original, não ter sido publicado ou considerado em outra revista.

- Estar cientificamente documentado, ser coerente, e ter unidade.
- Indicar o tipo de artigo: um artigo de pesquisa, de reflexão ou de revisão.
- Indicar o projeto de pesquisa, registro (em caso de contar com este) e/ou dados relacionados ao trabalho que será apresentado.
- Apresentar a filiação acadêmica do autor(es), perfil profissional e dados de contato, função desempenhada (intelectual, experimental ou de escritura). Também contar com um ORCID e uma CVLAC, caso estiver vinculado a uma instituição colombiana. É recomendado incluir seu nome normalizado preferido, levando em conta as considerações da International Registry of Authors-Links to Identify Scientists (<https://www.iralis.org/>).
- Declarar se o autor está vinculado a conflitos de interesse.
- Cada proposta de artigo é submetida a avaliação por pares, cujo conceito é importante para a decisão de sua publicação.
- Declarar potenciais conflitos de interesses.
- Os dados proporcionados serão usados para a plataforma Publindex e Crossref.

## — Requisitos e estrutura dos artigos

### Requisitos do texto

- Os artigos devem ter uma fonte Times New Roman; tamanho da letra 12, espaçamento simples.
- Equações, tabelas e figuras devem ser citadas no texto de acordo com as normas da APA, 7ª edição. Por exemplo, numerar e citar estas dentro do documento, levando em conta o título de cada uma delas e descrevendo qual é a fonte de cada uma.
- Siglas: o nome completo será citado pela primeira vez e a abreviação entre parêntesis. Posteriormente, apenas a sigla será usada. As siglas introduzidas devem ser usadas em todo o texto.
- Citação e referências: as citações e as referências devem ser editadas com base às normas da APA, 7ª edição.
- As notas de rodapé serão usadas apenas para contribuições substantivas ao texto.

### Estrutura para os tipos de artigos

**Título:** em espanhol, inglês e português. Como nota de rodapé, indicar o tipo de artigo, informações sobre a pesquisa e outros dados relacionados – grupo de pesquisa, registro do projeto, entidade que o financia ou outras informações

relevantes. O título deve ter no máximo 15 palavras. O autor deve esclarecer o assunto do artigo e ser específico.

**Resumo:** em espanhol, português e inglês, deve ter no mínimo, 150 palavras, e no máximo 250 palavras.

Os resumos dos artigos de pesquisa (resumos analíticos) têm a seguinte estrutura: introdução, objetivos, métodos, resultados, conclusões.

No caso de artigos de reflexão (resumos analíticos sintéticos) devem-se apresentar os aspectos significativos do texto de uma maneira lógica, destacando os resultados obtidos pelo autor.

Os resumos de artigos de revisão apresentam os principais pontos da análise (resumos descritivos) oferecendo as principais descobertas partindo desta comparação. No caso dos artigos de revisão sistemática ou meta-análise segue-se uma estrutura similar à dos artigos de pesquisa.

**Palavras-chave:** de 3 a 6 em ordem alfabética (levar em conta as palavras temáticas fornecidas por tesouros sugeridas em “Classificação de artigos”). Separar por ponto e vírgula (;).

Os artigos de pesquisa devem ter uma introdução (abordar o problema de pesquisa); metodologia; resultados; discussão; conclusões, recomendações ou agradecimentos (opcional).

As referências devem estar em ordem alfabética de acordo com as normas da APA, 7ª edição. É recomendado que a maioria das fontes sejam artigos em revistas indexadas ou livros de editoras acadêmicas que tenham sido publicados nos últimos cinco anos, e tenham DOI.

Em um arquivo separado, devem-se incluir detalhes do(s) autor (res), nome, sobrenome, currículo breve, filiação acadêmica, e-mail e endereço postal (endereço do trabalho e/ou correspondência), número de telefone e vinculação acadêmica e profissional, função/papel dentro da realização do artigo (intelectual, experimental ou escritura).

## — Processo de submissão

Como parte do processo, os autores comprometem-se a verificar se a submissão atende a todos os itens apresentados abaixo. As submissões que não atenderem as diretrizes serão devolvidas aos autores.

1. O trabalho submetido não foi publicado anteriormente nem foi enviado simultaneamente para outras revistas.
2. O manuscrito está no formato Microsoft Word (Forma de arquivo eletrônico .doc.).
3. Os artigos devem ter uma fonte Times New Roman; tamanho da letra 12, espaçamento simples.

4. As referências bibliográficas tem sido apresentadas em ordem alfabética, de acordo com as diretrizes das normas APA, 7ª edição.
5. Todas as figuras e tabelas foram colocadas na posição correspondente e não no final do texto, e devem ser citadas ao longo do documento. Todas as figuras (gráficos, imagens, fotografias) e tabelas devem ser enviadas separadamente em máxima qualidade ou em formatos editáveis, caso precisarem ser editadas para efeitos de design.
6. O artigo submetido foi preparado para revisão cega por pares, ou seja, as referências e nomes dos autores foram removidos de todas as partes do artigo e substituídos pela palavra “autor” (incluindo as propriedades do documento).
7. Os dados do autor foram anexados em um arquivo separado, com nome, sobrenome, resumo breve, afiliação acadêmica, e-mail e endereço postal (endereço do trabalho ou correspondência), números de telefone de contato e filiação acadêmica ou profissional, papel (intelectual, experimental ou escritura).
8. Na maioria das referências são de artigos em revistas indexadas ou livros acadêmicos publicados, no máximo, há cinco anos.
9. Cessão de direitos de propriedade intelectual. Propriedade intelectual refere-se a criações artísticas, industriais ou científicas. A revista rege-se por políticas de direitos de acordo com seguintes princípios:
  - Foi concluída e assinada a “Carta de apresentação e a licença de uso e Cessão de direitos econômicos e declaração de conflito de interesse”. O Documento que declara que são os autores originais do manuscrito. (Este documento inclui aspectos relacionados à licença de uso e direitos patrimoniais).
  - A equipe editorial é, portanto, exonerada de qualquer obrigação ou responsabilidade por ações legais que surjam do trabalho apresentado relacionados à violação de direitos de terceiros, sejam eles propriedade intelectual ou industrial, sigilo comercial ou qualquer outro.
  - É responsabilidade dos autores obter as autorizações necessárias das imagens sujeitas a copyright.
  - Caso for decidido não publicar o artigo na revista, a cessão de direitos acima mencionada não terá efeito, deste modo o autor recuperará todos os direitos de exploração da obra.
  - O envio dos artigos não implica que a revista esteja na obrigação de publicá-los, pois eles serão submetidos à avaliação de pares-cegos; os textos que, na opinião do editor do Comitê Editorial ou do Comitê Científico,

atendam aos requisitos exigidos e sejam trabalhos relacionados à Desenvolvimento Espacial, AD Astra; Segurança Operacional e Logística na Indústria Aeronáutica; Tecnologia e Inovação; Gestão e Estratégia; Educação e TIC, ou relacionados à indústria aeroespacial ou a setores relacionados.

- Caso contrário, a política de confidencialidade e o aviso legal da revista são entendidos como aceitos no momento de concluir a submissão do artigo e no momento de preencher o formulário registro no site [www.publicacionesfac.com](http://www.publicacionesfac.com).

Os autores são responsáveis pelo conteúdo dos seus artigos e materiais associados, garantindo sua originalidade e caráter inédito. A revista *Ciencia y Poder Aéreo* verifica todos os manuscritos submetidos para publicação usando o software anti-plágio iThenticate, que expõe a percentagem de semelhança que uma obra tem com os outros escritos já publicados ou encontrados em bancos de dados, com o propósito de garantir a originalidade dos manuscritos. *Ciencia y Poder Aéreo* se acolhe ao processo de fluxo recomendado pelo Committee on Publication Ethics acerca de uma possível suspeita de plágio. Deste modo, se o texto superar um 20% de semelhança, a equipe editorial procederá a pedir ajustes no documento. Quando essa semelhança representar uma percentagem maior ou corresponder a fragmentos completos e significativos do texto, a equipe concluirá que o texto foi plágio e pedirá explicações aos autores. Caso as explicações não forem satisfatórias, o manuscrito será rejeitado.

#### Nota:

Para informações adicionais sobre os seguintes aspectos, consulte o site da revista:

<https://publicacionesfac.com/index.php/cienciaypoderaereo/about/submissions>

#### Política de Prevenção de Plágio

Avaliação por pares

Revisão e publicação

Política de acesso aberto

Direitos de autor e licença de uso

---

#### Envie seus documentos pela plataforma:

<https://publicacionesfac.com/index.php/cienciaypoderaereo>

Em caso de dúvidas ou perguntas entre em contacto:

✉ [cienciaypoderaereo@epfac.edu.co](mailto:cienciaypoderaereo@epfac.edu.co)

---



01

Vol. 17

Institución Universitaria, Resolución 1906 MEN, agosto del 2002

Enero-junio del 2022 | pp. 1-161

**CIENCIA Y PODER AÉREO**

Revista Científica de la Escuela de Postgrados Fuerza Aérea Colombiana

Vol. 17 n.º 1 | enero-junio del 2022 | pp. 1-161 | ISSN 1909-7050 E-ISSN 2389-9468

Doi: <https://doi.org/10.18667/issn.1909-7050> | Bogotá, Colombia | Periodicidad semestral

