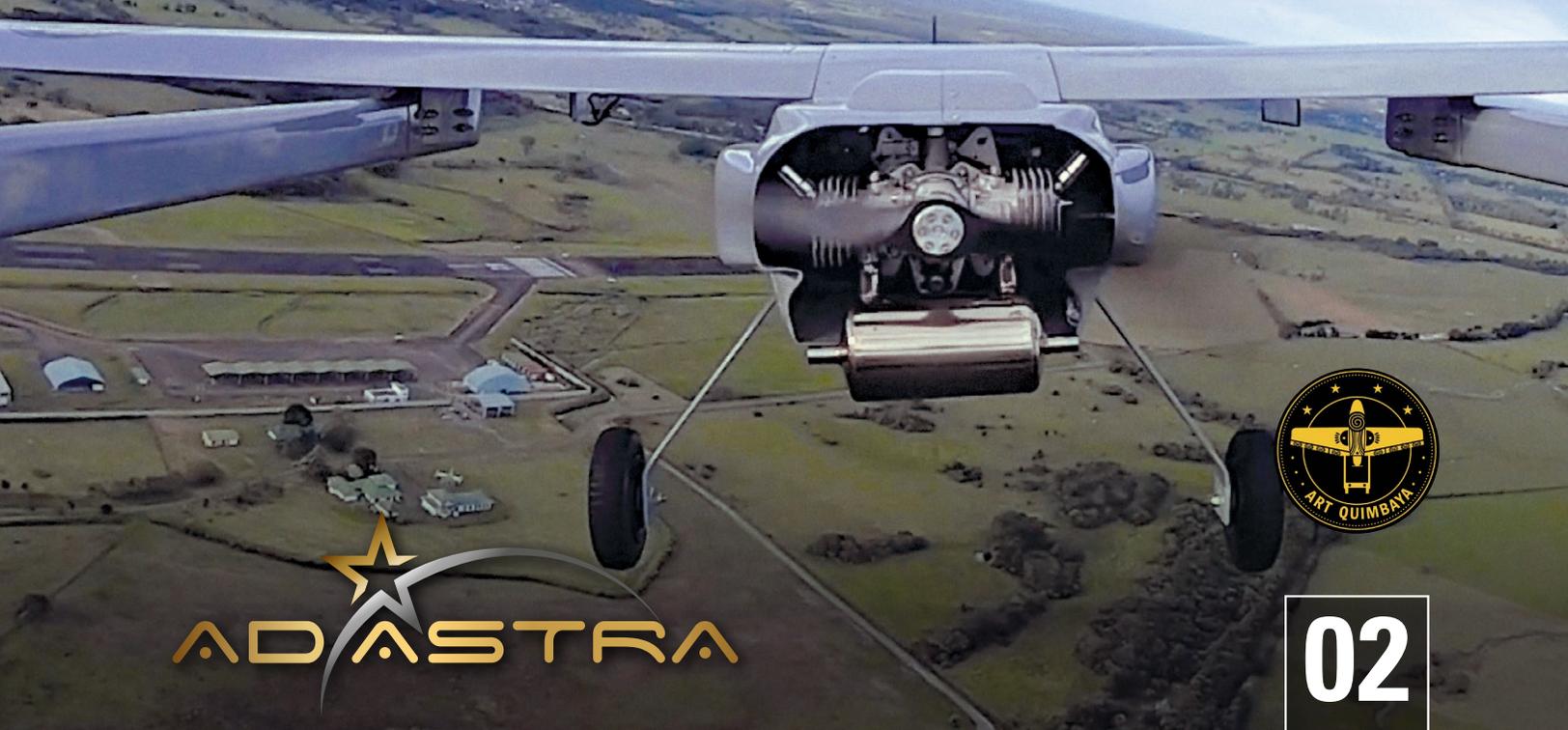


# CIENCIA Y PODER AÉREO

Revista Científica de la Escuela de Postgrados Fuerza Aérea Colombiana

ISSN 1909-7050 / E-ISSN 2389-9468 VOL. 18 N.º 2 | JULIO-DICIEMBRE 2023 | Pp. 1-175



ADASTRA



02

Vol. 18

Institución Universitaria, Resolución MEN No. 1906/Agosto 2002 / No. 21057 Noviembre/2016

Julio-diciembre del 2023 | pp. 1-175



[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. 18 N.º 2 | JULIO-DICIEMBRE 2023 | Pp. 1-175

## **Escuela de Postgrados de la FAC**

Director  
CR. Luis Fernando Giraldo Escobar

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, Ph. D.

Editor Invitado | Guest Editor | Editor convidado

Ph. D. Eduardo Mojica Nava

### 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

Inglés: Gisella Arroyo

Portugués: Daniel López

Traducción de contenidos | Content translation | Tradução de conteúdo

Inglés: Sandra Alarcón

Portugués: Gedma Alejandra Salamanca Rodríguez

Diseño y maquetación | Design 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 del equipo de diseño y desarrollo Art Quimbaya

### Información técnica | Technical information | Informações técnicas

Volumen 18, n.º 2 | julio-diciembre 2023

Periodicidad semestral

ISSN 1909-7050

E-ISSN 2389-9468

DOI: <https://doi.org/10.18667/issn.1909-7050>

Bogotá, Colombia 2023

### Comité editorial | Editorial Board | Comitê editorial

Carlos Lozano Rodríguez

Ph. D. en Ciencias Físicas

Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial, España

ID Scopus

César Nieto Londoño

Ph. D. en Ingeniería

Universidad Pontificia Bolivariana, Colombia

CvLAC

José M. García-Bravo

Ph. D. en Ingeniería

Purdue University, EE. UU.

ID Scopus

Julián Sierra Pérez

Ph. D. en Ingeniería Aeroespacial

Universidad Pontificia Bolivariana, Colombia

CvLAC

Sergio Tobón Tobón

Ph. D. en Modelos Educativos y Políticas Culturales

Centro Universitario CIFE, México

CvLAC

### Comité científico | Scientific Board | Comitê científico

Avid Roman-Gonzalez

Ph. D. en Procesamiento de Señales e Imágenes

Universidad Nacional Tecnológica De Lima, Perú

ID Scopus

Daniel Viúdez-Moreiras

Ph. D. en Ingeniería

Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial [This link is disabled](#), España

ID Scopus

Héctor Enrique Jaramillo Suárez

Ph. D. en Mecánica de Sólidos

Universidad Autónoma de Occidente, Colombia

CvLAC

Hernán Paz Penagos

Ph. D. en Educación

Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Colombia

CvLAC

Javier Alberto Pérez-Castán

Ph. D. en Ingeniería Aeronáutica

Universidad Politécnica de Madrid, España

ID Scopus

Juan Manuel Martín-Sánchez

Ph. D. en Ingeniería Industrial

Universidad Nacional de Educación a Distancia—UNED, España

ID Scopus

William Arnulfo Aperador Chaparro

Ph. D. en Ingeniería

Universidad Militar Nueva Granada, Colombia

CvLAC

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

Alexander Alberto Correa Espinal  
Ph. D. en Estadística e Investigación Operativa  
Universidad Nacional de Colombia

Andrés Calvillo Téllez  
Ph. D. en Ciencias de la Educación  
Instituto Politécnico Nacional, Colombia

Claudia Patricia Garay Acevedo  
Ph. D. en Derecho Internacional  
Escuela Superior de Guerra "General Rafael Reyes Prieto", Colombia

Erika Ramírez Benítez  
Mag. en Estrategia y Geopolítica  
Escuela Superior de Guerra "General Rafael Reyes Prieto", Colombia

Hernán Darío Cerón Muñoz  
Ph. D. en Ingeniería Mecánica  
Universidade de São Paulo (USP), Brasil

Ivan Preslav Bolaños  
Mag. Modelamiento Prospectivo para Toma de Decisiones  
Fuerza Aérea Ecuatoriana, Ecuador

Jaime Alfonso Cubides-Cárdenas  
Mag. en Derecho  
Universidad Católica de Colombia

Jhonathan O. Murcia Piñeros  
Ph. D. en Ingeniería y Tecnología Espacial  
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Brasil

José Vili Martínez González  
Ph. D. en Administración  
Ajedrez Consultores, México

Luini Leonardo Hurtado Cortés  
Ph. D. en Ingeniería Automática  
Universidad Distrital Francisco José De Caldas, Colombia

Luisa Fernanda Mónico Muñoz  
Ph. D. en Sistemas Propulsivos en Medios de Transporte  
Fundación Universitaria los Libertadores, Colombia

Marianela Luzardo Briceño  
Ph. D. en Estadística  
Universidad Pontificia Bolivariana, Colombia

Pedro David Bravo-Mosquera  
Ph. D. en Ciencias  
University of Sao Paulo, Brasil

Sergio Francisco Mora Martínez  
Magíster en Ingeniería Electrónica  
Universidad ECCI, Colombia

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

Vladimir Balza Franco  
Ph. D. en Administración  
Universidad del Magdalena, Colombia

## **Revista avalada por Publindex**

**Indexada en:** Redalyc, Catálogo Latindex 2.0,  
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) 2134698 Ext. 72500 - 72625  
Biblioteca Escuela de Postgrados de la FAC

### **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) 2134698 Ext. 72500 - 72625  
[www.publicacionesfac.com](http://www.publicacionesfac.com)

---

# Contenido

## Desarrollo Espacial, AD Astra

6-19

### Misiones análogas espaciales como investigación para el desarrollo de ciencia y tecnología en la Fuerza Aérea Colombiana

Analog space missions as research for the development of science and technology in the Colombian Air Force

Missões análogas espaciais como pesquisa para o desenvolvimento da ciência e tecnologia na Força Aérea Colombiana

Cristhian Antonio Campos Chaparro, Joseph Néstor David Sequeda Ramon, Ingrid Xiomara Bejarano Cifuentes, Jorge Giovanni Jiménez Sánchez

## Seguridad Operacional y Logística Aeronáutica

20-34

### Metodología de validación de autonomía de batería para un UAV táctico

Battery Autonomy Validation Methodology for a Tactical UAV

Metodologia de validação da autonomia da bateria para um UAV táctico

David Leonardo Piñeros Guzmán, Andrés Felipe Gómez Rivera

35-46

### Diagnóstico del entrenamiento inicial y recurrente de los bomberos aeronáuticos en la Fuerza Aérea Colombiana

Initial and recurrent training diagnosis of aeronautical firefighters in the Colombian Air Force

Diagnóstico do treinamento inicial e recorrente dos bombeiros aeronáuticos na Força Aérea Colombiana

John Fredy Cocunubo Valbuena, John Fredy Martínez Umoa

## Tecnología e Innovación

47-66

### Implementación de una maleta electrónica de vuelo para visualizar un sistema FMS aeronave prototipo Skiron

Implementation of an electronic flight case to visualize an FMS system in a Skiron prototype aircraft

Implementação de um caso de voo eletrônico para visualizar um sistema FMS num protótipo de aeronave Skiron

Yeison Manuel Montoya Lemus, José Daniel Gómez Romero, Mateo Campos Casallas, Edgar José Martínez Montoya

67-74

### Geospatial collective intelligence approach in the appreciation phase of military planning

Enfoque geoespacial de inteligencia colectiva en la fase de apreciación de la planificación militar

Enfoque de Inteligência Colectiva Geoespacial na fase de apreciação do planeamento militar

Alex Fernando Jiménez Vélez

## Gestión y Estrategia

---

- 75-93 **Sistemas aéreos remotamente tripulados en aplicaciones militares. Una revisión**  
Remotely manned aerial systems in military applications. A review  
Sistemas aéreos remotamente tripulados em aplicações militares. Uma análise  
Richard Humberto Cáceres León, Ignacio Alfonso Alvarado Ortega
- 94-105 **F-39 Gripen e KC-390 Millennium: Ações humanitárias internacionais**  
F-39 Gripen y KC-390 Millennium: Operaciones humanitarias Internacionales  
F-39 Gripen and KC-390 Millennium: International Humanitarian Operations  
Bruno Américo Pereira, Flavio Neri Hadmann Jasper
- 106-117 **Asuntos humanitarios y poder aeroespacial: aplicaciones del poder aéreo en la Amazonia**  
Questões humanitárias e poder aeroespacial: aplicações do poder aéreo na Amazônia  
Humanitarian issues and aerospace power: airpower applications in the Amazon  
Carlos Alberto Leite da Silva, Eduardo Oliveira Sol

## Educación y TIC

---

- 118-146 **Estudio de factibilidad para la creación de una aerolínea de bajo costo regional**  
Feasibility study for the creation of a regional low cost airline  
Estudo de viabilidade para a criação de uma companhia aérea regional de baixo custo  
Alex Yesid Gil Vega
- 147-163 **Estrategia pedagógica disruptiva para fortalecer la disciplina militar y el comportamiento ético: Una mirada al interior de la Escuela de Suboficiales de la Fuerza Aérea Colombiana**  
Disruptive pedagogical strategy to strengthen military discipline and ethical behavior: an insight into the Colombian Air Force Non-Commissioned Officer School  
Estratégia pedagógica disruptiva para fortalecer a disciplina militar e o comportamento ético: Um olhar para o interior da Escola de Suboficiais da Força Aérea Colombiana  
Víctor Miguel Quintero Patiño

- 
- 167-175 **Instrucciones para autores | Guidelines for Authors | Diretrizes para autores**

# Misiones análogas espaciales como investigación para el desarrollo de ciencia y tecnología en la Fuerza Aérea Colombiana

Fecha de recibido: 20 de enero 2023	Fecha de aprobado: 18 de mayo 2023
Reception date: January 20, 2023	Approval date: May 18, 2023
Data de recebimento: 20 de janeiro de 2023	Data de aprovação: 18 de maio de 2023

## Cristhian Antonio Campos Chaparro

<https://orcid.org/0000-0002-6908-1318>  
 cristhian.campos@fac.mil.co

Licenciado en Biología y Química  
 Investigador – Fuerza Aérea Colombiana (FAC), Colombia  
 Rol del investigador: teórico y escritura  
 Grupo de Investigación en Ciencias Biomédicas Espaciales – VOYAGER

Degree in Biology and Chemistry  
 Researcher – Colombian Air Force (FAC), Colombia  
 Researcher role: theoretical and writing  
 Research Group in Space Biomedical Sciences – VOYAGER

Graduação em Biologia e Química  
 Pesquisador – Força Aérea Colombiana (FAC), Colômbia  
 Função do pesquisador: teórica e escrita  
 Grupo de Pesquisa em Ciências Biomédicas Espaciais – VOYAGER

## Ingrid Xiomara Bejarano Cifuentes

<https://orcid.org/0000-0002-7981-2356>  
 ingrid.bejarano@fac.mil.co

Ingeniera Electrónica  
 Investigadora – Fuerza Aérea Colombiana (FAC), Colombia  
 Rol del investigador: teórico y experimental  
 Grupo de Investigación en Ciencias Biomédicas Espaciales – VOYAGER

Electronic Engineer  
 Researcher – Colombian Air Force (FAC), Colombia  
 Researcher's role: theoretical and experimental  
 Space Biomedical Sciences Research Group – VOYAGER

Engenheiro eletrônico  
 Pesquisador – Força Aérea Colombiana (FAC), Colômbia  
 Função do pesquisador: teórica e experimental  
 Grupo de Pesquisa em Ciências Biomédicas Espaciais – VOYAGER

## Joseph Néstor David Sequeda Ramon

<https://orcid.org/0000-0002-6550-4117>  
 joseph.sequeda@fac.mil.co

Ingeniero de Sistemas  
 Investigador – Fuerza Aérea Colombiana (FAC), Colombia  
 Rol del investigador: teórico y experimental  
 Grupo de Investigación en Ciencias Biomédicas Espaciales – VOYAGER

Systems Engineer  
 Researcher – Colombian Air Force (FAC), Colombia  
 Researcher role: theoretical and experimental  
 Space Biomedical Sciences Research Group – VOYAGER

Engenheiro de sistemas  
 Pesquisador – Força Aérea Colombiana (FAC), Colômbia  
 Função do pesquisador: teórico e experimental  
 Grupo de pesquisa de ciências biomédicas espaciais – VOYAGER

## Jorge Giovanni Jiménez Sánchez

<https://orcid.org/0000-0001-9748-1370>  
 jorge.jimenez@fac.mil.co

Ph.D. Meteorología y Ciencias Atmosféricas  
 Investigador – Fuerza Aérea Colombiana (FAC), Colombia  
 Rol del investigador: teórico y escritura  
 Grupo de Investigación en Ciencias Biomédicas Espaciales – VOYAGER

Ph.D. Meteorology and Atmospheric Sciences  
 Researcher – Colombian Air Force (FAC), Colombia  
 Researcher role: theoretical and writing  
 Space Biomedical Sciences Research Group – VOYAGER

Ph.D. Meteorologia e Ciências Atmosféricas  
 Pesquisador – Força Aérea Colombiana (FAC), Colômbia  
 Função do pesquisador: teórica e escrita  
 Grupo de Pesquisa em Ciências Biomédicas Espaciais – VOYAGER

**Cómo citar este artículo:** Campos Chaparro, C. A., Sequeda Ramon, J. N. D., Bejarano Cifuentes, I. X. y Jiménez-Sánchez, J. G. (2023). Misiones análogas espaciales como investigación para el desarrollo de ciencia y tecnología en la Fuerza Aérea Colombiana. *Ciencia y Poder Aéreo*, 18(2), 6-19. <https://doi.org/10.18667/cienciaypoderaereo.750>



## Misiones análogas espaciales como investigación para el desarrollo de ciencia y tecnología en la Fuerza Aérea Colombiana

## Analog space missions as research for the development of science and technology in the Colombian Air Force

## Missões analógicas espaciais como pesquisa para o desenvolvimento da ciência e tecnologia na Força Aérea Colombiana

**Resumen:** Hoy en día, las misiones análogas son un factor trascendental para el entrenamiento de tripulantes en tierra, proyectados a participar en operaciones espaciales. Así mismo, estas misiones se convierten en la opción más rentable para la realización de operaciones espaciales, ya que se desarrollan en escenarios naturales o artificiales en la superficie terrestre, lo cual permite la investigación y la capacitación. Por lo anterior, en el presente documento se realiza una aproximación de conceptos desde diferentes autores, que ayuda a evidenciar los diferentes escenarios análogos en el mundo. De igual forma, se exponen algunos resultados de una investigación liderada por la Fuerza Aérea Colombiana, en la que se identificaron escenarios análogos en Colombia como el desierto de la Tatacoa, el desierto de Villa de Leyva, el nevado del Ruiz y Marandua.

**Palabras clave:** aislamiento; ambientes extremos; misiones espaciales análogas; confinamiento; exploración.

**Abstract:** Nowadays, analog missions are a transcendental factor for the training of ground crew members, projected to participate in space operations. Likewise, these missions become the most cost-effective option for space operations, since they are developed in natural or artificial scenarios on the Earth's surface, which allows research and training. Therefore, in this document an approximation of concepts from different authors is made, which helps to show the different analogous scenarios in the world. Likewise, some results of a research led by the Colombian Air Force are presented, in which analogous scenarios were identified in Colombia, such as: Tatacoa Desert, Villa de Leyva Desert, Nevado del Ruiz and Marandua.

**Keywords:** Isolation; extreme environments; analogs; confinement; scenarios; exploration.

**Resumo:** Atualmente, as missões analógicas são um fator importante no treinamento de membros da tripulação de solo para operações espaciais. Da mesma forma, essas missões se tornaram a opção mais econômica para operações espaciais, pois são realizadas em cenários naturais ou artificiais na superfície da Terra, o que permite a pesquisa e o treinamento. Portanto, neste documento é feita uma abordagem de conceitos de diferentes autores, o que ajuda a mostrar os diferentes cenários análogos no mundo. Da mesma forma, são apresentados alguns resultados de uma investigação conduzida pela Força Aérea Colombiana, na qual foram identificados os seguintes cenários análogos na Colômbia: Deserto de Tatacoa, Deserto de Villa de Leyva, Nevado del Ruiz e Marandua.

**Palavras-chave:** isolamento; ambientes extremos; análogos; confinamento; cenários; exploração.

## Introducción

Las misiones análogas son simulaciones y experimentos que se llevan a cabo en ambientes en tierra (expediciones antárticas, cámaras espaciales, desiertos) que comparten características con entornos reales espaciales (Bell *et al.*, 2019), donde se pueden realizar misiones de aislamiento y confinamiento. Estas misiones son una antesala a la investigación en tierra de pruebas en telemedicina, investigación militar, rendimiento cognitivo, neuropsicológico, psicología, etc. (De la Torre y Ramallo, 2012).

Estas misiones han sido utilizadas por diferentes agencias espaciales como la National Aeronautics and Space Administration (NASA) y la European Space Agency (ESA), y por organizaciones del sector privado como SpaceX, Blue Abyss, Axiom Space, Axiom Space y Analog Astronaut Training Center (AATC), con el fin de facilitar el desarrollo de programas de formación y nuevas tecnologías de investigaciones, entre ellas hábitats, robótica, comunicaciones, movilidad, ciencias básicas, aislamiento, confinamiento, dinámica de equipos, etc. Adicionalmente, se llevan a cabo estudios en fisiología espacial, neuropsicología, biología, botánica, robótica, medicina, ingenierías, confinamiento y comportamiento humano en condiciones de aislamiento.

Las misiones tienen como propósito entrenar tripulaciones para diferentes tipos de escenarios y proyectos de investigación a desarrollar en el ámbito espacial, por eso se identificaron escenarios en Colombia con el objetivo de formar astronautas colombianos. Al hacer una aproximación, se llevó a cabo una breve descripción teórica sobre los escenarios análogos espaciales internacionales y una descripción exploratoria sobre los posibles escenarios análogos en Colombia, que permiten identificar los elementos constitutivos requeridos para este tipo de lugares que buscan ser semejantes a las condiciones encontradas en Marte y la Luna, al estar íntimamente ligados con ambientes extremos, confinamiento, aislamiento, limitaciones en las comunicaciones, agua limitada y emergencias simuladas.

De acuerdo con lo anterior, estos escenarios sirven como campos de pruebas y entrenamiento sobre aspectos psicológicos y psicosociales para las tripulaciones; por lo tanto, es relevante tener en cuenta variables como la ejecución cognitiva, la adaptación y la respuesta emocional (De la Torre y Ramallo, 2012).

Investigaciones que se han realizado por más de cincuenta años han demostrado cómo las condiciones fisiológicas del espacio afectan los sistemas biológicos de las plantas, de los seres humanos y de las bacterias. Al exponer a tripulaciones a vuelos espaciales, los resultados de estas investigaciones han arrojado que estar en confinamiento en un entorno peligroso en gravedades cero afecta el cuerpo humano en aspectos como la parte ósea, muscular, cognitiva y cardiovascular, pero también en la parte psicológica por la separación de la familia, la carga de trabajo, los trastornos del ciclo circadiano y la pérdida del sueño (Saavedra-Torres *et al.*, 2021). Las misiones análogas, en particular aquellas de aislamiento y confinamiento, contribuyen a mitigar riesgos presentes en un vuelo espacial que afectan aspectos fisiológicos y psicológicos en el ser humano (Choukér y Stahn, 2020).

En el campo de la exploración científica en temas espaciales, llevar a cabo misiones que involucren a tripulaciones humanas ha sido un desafío por todos los aspectos que implica. Por eso, es necesario realizar una preparación rigurosa antes de una misión análoga espacial, la cual requiere no solo la prueba de equipos, sino también enfrentar a las tripulaciones a un ambiente hostil que permita el manejo y la mitigación de diferentes tipos de emergencias (Deems y Baroff, 2008). Adicionalmente, se debe realizar una gran cantidad de planificación, pruebas y desarrollos tecnológicos de acuerdo con las recomendaciones suministradas por la NASA (2011b). Desde las primeras misiones espaciales, como Apolo de la NASA, se llevaron a cabo actividades extravehiculares, transporte de superficie, capacidades geofísicas y misiones análogas espaciales. En sus inicios, estas misiones eran llamadas salidas de campos geológicas y se hicieron en terreno y/o climas que eran similares a los de la superficie lunar (NASA, 2009).

Como resultado experimental de una misión de aislamiento y confinamiento de cerca de 120 días, con perfiles que involucran ingenieros, médicos y profesionales asociados a ciencias básicas, se infiere que los efectos psicológicos son un aspecto fundamental para evaluar en las tripulaciones que se someten a experimentos de aislamiento y confinamiento. Por ello, la afinidad entre sus miembros es fundamental para obtener resultados en la experimentación sin verse afectados por las diferencias en la convivencia (Heinicke *et al.*, 2021)

Estar expuesto a condiciones de aislamiento y confinamiento influye en una disminución en la alerta situacional durante operaciones espaciales para un asentamiento humano en Marte o en una base lunar, donde se realizan tareas profesionales como teleoperación, patrones de comportamiento y calidad del sueño. Dado lo anterior, el desempeño de la tarea se ve afectado por el estado mental de la tripulación, concluyendo que la sensación de encierro es directamente proporcional al estado de ánimo con un enfoque negativo. Así mismo, asociar estos parámetros con rasgos de personalidad específicos podría ayudar en la selección de candidatos para futuras misiones y en un resultado encaminado a la seguridad y confiabilidad de la misión (Gil *et al.*, 2021).

Además de la experimentación del cuerpo humano en condiciones de aislamiento y confinamiento, también se experimenta con la implementación de tecnologías trascendentales para tener lecciones aprendidas en relación con tardanzas en la comunicación y reducción del ancho de banda.

Por lo anterior, se considera necesario establecer una evaluación general de riesgos para tener una retroalimentación que aporte a las lecciones aprendidas producto de la experimentación. Con un análisis previo necesario para este tipo de operaciones, esta evaluación se puede abordar desde un análisis de árbol de fallas y estrategias para la reducción de riesgos (Del Mastro *et al.*, 2022), a fin de que en la interacción entre la tripulación y quienes soportan la misión a nivel externo se puedan suministrar planes de contingencia ante una exposición al confinamiento no asistido (Lalla *et al.*, 2021).

## Desarrollo

Para preparar a los astronautas en torno a los retos de vivir más allá de la órbita terrestre baja, es necesario realizar misiones análogas de exploración en ambientes extremos terrestres similares a los que existen en el espacio. Las ubicaciones actuales de estos escenarios incluyen entornos desérticos, árticos, volcánicos, acuáticos y de órbita terrestre baja. La Fuerza Aérea Colombiana (FAC) realizó un proyecto de investigación con el fin de identificar estos escenarios análogos en Colombia, y así implementar un hábitat análogo para realizar misiones análogas y a futuro preparar a su personal en misiones simuladas, así como realizar una recopilación a nivel internacional como referente de otros ambientes y hábitats análogos simulados.

En la revisión de los diferentes escenarios en donde se realizan misiones análogas, se entrenan astronautas o simplemente se realizan pruebas de tecnología, se identificaron los siguientes tipos de escenarios análogos (figura 1).



Figura 1. Escenarios análogos identificados a nivel internacional  
Fuente: elaboración propia.

## Escenario análogo desértico

Las misiones análogas en desierto son utilizadas para apoyar investigación basada en la Tierra en busca de la tecnología, las operaciones y la ciencia requeridas para la exploración espacial humana en Marte (Mars Society, 2022). Las condiciones ambientales se parecen a las de Marte, pues la temperatura máxima en

verano oscila alrededor de 40 °C y la mínima puede caer por debajo de 10 °C, mientras que en invierno la temperatura mínima puede estar entre -12 °C y -18 °C y la máxima entre -4 °C y 0 °C. Las características geológicas de este tipo de escenarios son de suelos arenosos y rocosos de color rojo o gris (Schmidt, 6 de enero de 2009), donde pueden llevar a cabo pruebas de actividades extravehiculares, de comunicaciones, robóticas, y estudio de factores humanos en aislamiento y confinamiento para misiones de larga duración. Este tipo de escenarios han sido utilizados por la NASA, la ESA y organizaciones no gubernamentales como el Foro Espacial Austriaco y la Estación de Investigación del Desierto de Marte (figura 2).



Figura 2. Estación de Investigación del Desierto de Marte, ubicada en el desierto de Utah (Estados Unidos)  
Fuente: Mars Society (2022).

El estudio análogo Desert RATS de la NASA ha evaluado prototipos de *hardware* de alta fidelidad, equipos de trajes espaciales, robots, *rovers*, módulos de habitación, vehículos de exploración, técnicas de navegación y cartografía de superficie, y sistemas de energía y comunicación en el desierto alto cerca de Flagstaff, Arizona, Estados Unidos (figura 3). Los prototipos de investigación y desarrollo brindan una base de conocimientos que ayuda a los científicos e ingenieros a diseñar, construir y operar mejores equipos, y a establecer requisitos para operaciones y procedimientos (Crew Flight Division Integration, 2011).



Figura 3. Prueba extravehicular de la NASA en Arizona  
Fuente: <https://blog.azgs.arizona.edu/sites/default/files/inline-images/Fig2a.jpg>

## Escenarios análogos Antártida

La Antártida forma parte de los escenarios análogos en donde se han realizado estudios en condiciones de aislamiento y confinamiento, pruebas de equipos, adaptación de trajes espaciales, estudios de microorganismos, etc. Este es un continente inhóspito y hostil para el ser humano; vivir y permanecer allí se convierte en un reto físico y psicológico, y tiene varias condiciones requeridas para la exploración espacial humana en la Luna y Marte (Naveira y Barbarito, 2016). Por tal razón, este escenario es propicio para llevar a cabo misiones análogas, ya que supone enfrentar restricciones de un espacio aislado y en confinamiento (*icc-isolated confinement environment*), lo cual afecta la psicología humana y las relaciones interpersonales. En este escenario, se han registrado temperaturas extremas por debajo de los -50 °C y una máxima de 8 °C (National Science Foundation, 2019), y los suelos de las zonas de permafrost están compuestos por gravas, gravas arenosas, arcillas limos y arcilla de grano fino, según United Soil Classification System, Corps of Engineers y Bureau of Reclamation (Linell y Jonston, 1973). De tal modo, se genera un ambiente ideal para los desafíos propuestos en la práctica de los investigadores en temas espaciales (NASA, 2018).

La NASA ha realizado misiones en la base McMurdo (figura 4), la cual “es un centro de investigación antártico construido sobre la roca volcánica de la parte

sur de la Isla de Ross en la orilla de la ensenada McMurdo, en la Antártida. La estación es actualmente operada por los Estados Unidos a través de la National Science Foundation (NSF)” (StratoCat, 2020). Allí, las investigaciones se basan en aerodinámica, astrofísica, ciencias geoespaciales, biología y ecosistemas, geología y geofísica, glaciología, geomorfología, núcleos de hielo, y sistemas climáticos y oceánicos.



Figura 4. Base McMurdo (Estados Unidos)  
Fuente: Gills y Corum (1 de agosto de 2017).

Otros escenarios utilizados para este tipo de misiones incluyen, por ejemplo, la base Concordia (figura 5), que es una estación propiedad de Francia e Italia para la ESA, ubicada a 3200 msnm, utilizada para estudio de comunicaciones, confinamiento, aislamiento y en altura (ESA, 2011); y el cráter Haughton, ubicado en la isla Devon en Canadá (figura 6).



Figura 5. Base Concordia  
Fuente: ESA (2013).

El cráter Haughton ofrece un entorno rocoso del desierto ártico. Sus características geológicas y atributos biológicos proporcionan un ambiente óptimo para posibles misiones análogas robóticas y humanas a Marte. En este escenario, se han realizado diferentes actividades extravehiculares, de interacción robótica, de ingeniería de rovers, de trajes y de comunicación de datos a largo plazo (Crew Flight Division Integration, 2011).



Figura 6. Estación de investigación  
Fuente: Proyecto Haughton Mars.

## Escenarios análogos acuáticos

Este tipo de escenario análogo se puede simular en piscinas, lagos y océanos, pues son espacios que brindan facilidades bajo el agua para obtener experiencia y formación en parámetros como la movilidad, las pruebas de soporte respiratorio en trajes espaciales y la reproducción de tareas simulando el entorno de ingravidez del espacio, dada la resistencia del agua en este ambiente. Un claro ejemplo de estos escenarios es el laboratorio subacuático Aquarius, a cargo de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica, ubicado en el Santuario Nacional Marino de los Cayos de la Florida; sirve como sitio de prueba para los proyectos de la Misión de Operaciones en Ambientes Extremos de la NASA, conocida como NEEMO (figura 7). Este laboratorio es similar en tamaño de la Estación Espacial Internacional (ISS, por sus siglas en inglés), mide 13,8 m de largo, 3,9 m de diámetro y está a 5 km de la costa de Cayo Largo (Loff, 2017).



Figura 7. Escenario acuático NEEMO. El hábitat de acuario y sus alrededores proporcionan un análogo convincente para la exploración espacial  
Fuente: Loff (2017).

A su vez, el Laboratorio de Flotabilidad Neutra (figura 8) está ubicado en el Centro Espacial Johnson de la NASA en Houston (Estados Unidos). Allí, se preparan astronautas en una piscina oscura para futuras misiones a la Luna y se entrenan para realizar caminatas espaciales. Este tipo de simulaciones se realizan en difíciles condiciones de iluminación, en el fondo de una piscina de 12 m de profundidad; alguna de estas simulaciones implica “apagar todas las luces en las instalaciones, instalar cortinas negras en la piscina para reducir los reflejos, y usar una poderosa lámpara cinematográfica subacuática para obtener las condiciones correctas justo antes del próximo entrenamiento” (NASA, 2022)

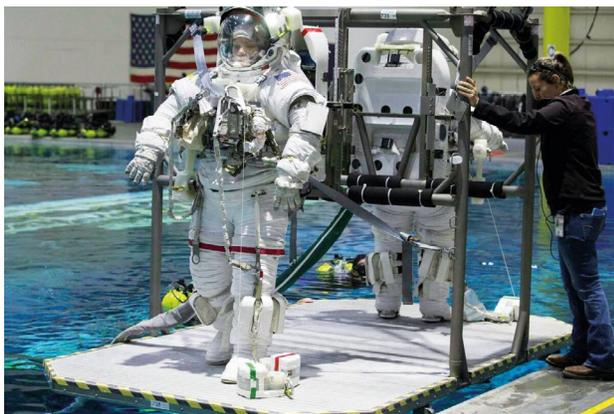


Figura 8. Escenario acuático en el Laboratorio de Flotabilidad Neutra. Las astronautas Anne McClain (izquierda) y Zena Cardman en entrenamiento de caminatas espaciales en Houston  
Fuente: Leinfelder (23 de marzo de 2020).

También, se destaca el proyecto de investigación del Lago Pavilion, el cual es un esfuerzo científico multidisciplinario y de exploración internacional que buscó explicar el origen de las microbialitas de agua dulce que crecen en Pavilion y Kelly Lakes en British Columbia (Canadá), haciendo uso del submarino DeepWorker, que se muestra en la figura 9 (Reagan *et al.*, 2012). Estos fósiles son algunos de los primeros restos de vida en la Tierra antigua; los estudios y las técnicas utilizados en esta investigación pueden ser aplicados para la búsqueda de vida en nuestro sistema solar.



Figura 9. Submarino DeepWorker busca microbialitas durante pruebas de campo en British Columbia  
Fuente: [https://www.wikiwand.com/es/The\\_Abyss](https://www.wikiwand.com/es/The_Abyss)

## Escenario análogo en órbita baja

La ISS está ubicada en órbita baja, a unos 403 kilómetros de la tierra. Cuenta con cuarto para la tripulación, una cúpula para que la tripulación vea hacia la tierra, comunicación en tiempo real con el controlador de vuelo, cirujanos espaciales, psicólogos y personal de apoyo a la misión, lo cual facilita la interacción social y que la tripulación en la ISS sienta el calor de amigos y familia (Landon *et al.*, 2018). Es necesario entender el impacto que tienen las misiones de larga duración en las tripulaciones de vuelo y cómo apoyar desde la tierra al equipo, y para eso los investigadores examinan continuamente los factores humanos de las misiones, y estudian y experimentan en escenarios para

aplicarlos en misiones reales futuras y, sobre todo, en misiones en ambientes marcianos.

La ISS ofrece una plataforma única para probar futuros sistemas y operaciones de exploración, la cual suministra un entorno espacial de gravedad cero de larga duración y la oportunidad de evaluar muchos factores que no están disponibles en otras misiones análogas en tierra. La NASA utiliza la ISS como un sitio de prueba para misiones de larga duración, con lo que se identifican los riesgos y desafíos para la salud y seguridad de los astronautas. Es indispensable prepararse para las operaciones autónomas de la tripulación necesarias en el manejo de los retrasos en las comunicaciones, ejercitar el entrenamiento de elementos terrestres, desarrollar tecnología, y evaluar nuevas exploraciones, sistemas y capacidades a medida que estén disponibles (ESA, 2010).

La ISS (figura 10) ha sido útil para responder preguntas de exploración planetaria y en el estudio del impacto de la microgravedad, así como en “ciencias humanas, biológicas, fisiología, ciencias físicas, materiales, ciencias de la Tierra y el espacio. Hasta el momento, en más de 10 años de permanentes investigaciones en la estación espacial se han realizado más de 600 experimentos” (Rodríguez, 2016, p. 39). Algunos de los proyectos que se llevan a cabo en la ISS son los siguientes: proyectos de purificación del aire, modelos para flujo de fluidos, distrofia muscular de Duchenne, duración de materiales, control de la contaminación planetaria, ultrasonido a distancia, liberación de drogas para tratamientos de cáncer, desarrollo de vacunas, etc. (NASA, 2011a).

En enero de 2031, esta plataforma será puesta fuera de servicio y se espera que llegue a aguas del punto Nemo, una parte inhabitada del océano Pacífico, a donde van a parar los activos espaciales que quedan fuera de funcionamiento o “*de-orbit*”, como se refiere la NASA a este evento (Hassan y Davenport, 3 de febrero de 2022). Esto ocurre porque, según la NASA, la ISS no puede estar por siempre orbitando sobre nosotros, y también por los planes de las actividades de órbita baja de las agencias de Estados Unidos, pues patrocinadores, usuarios de laboratorio, investigadores, industria, academia y otros socios comerciales privados

de la ISS, como SpaceX, Blue Abyss y Axiom Space, han establecido una destinación comercial para el 2030 (NASA, 2018).



Figura 10. Estación Espacial Internacional

Fuente: [https://www.enterarse.com/20200611\\_0001-la-estacion-espacial-internacional-un-laboratorio-suspendido-en-el-firmamento](https://www.enterarse.com/20200611_0001-la-estacion-espacial-internacional-un-laboratorio-suspendido-en-el-firmamento)

Marte se puede abordar desde la óptica de su superficie, es desértico, rocoso y frío; así mismo, su fama de ser el planeta rojo parte del hierro oxidado que tiene en el suelo. Tanto Marte como la Tierra tienen estaciones y casquetes polares cuya temperatura en primavera es de  $-120^{\circ}\text{C}$ . También tiene volcanes, pero inactivos; su atmósfera poco densa se compone de dióxido de carbono, nitrógeno y argón. El agua está contenida en polvo helado a razón de la presión, y en algunas laderas marcianas, se han encontrado pruebas de agua líquida salada (Rees, 2020). La estimación de duración del día en Marte se establece en 24,6 horas, pero la duración anual equivale a 687 días, es decir, casi el doble de la duración terrestre (Adler *et al.*, 2012). En Marte, la temperatura en la superficie depende de la latitud y su media es de unos  $-55^{\circ}\text{C}$ ; la variación diurna de las temperaturas es fluctuante: en verano alcanza los  $20^{\circ}\text{C}$  o más, mientras las mínimas nocturnas llegan fácilmente a  $-80^{\circ}\text{C}$ .

La Luna es el satélite natural del planeta Tierra y su temperatura superficial media varía entre  $+117^{\circ}\text{C}$  en el día y  $-153^{\circ}\text{C}$  en la noche: “Estas variaciones tan amplias de la temperatura se deben a que la Luna carece de atmósfera y vapor de agua, que son los elementos que regulan la temperatura en nuestro planeta” (Iglesias, 2007). La topografía lunar muestra montañas de

mediana altura que habitualmente se limitan a grandes valles, existen rocas dispersas de tamaño diverso y presenta fallas geológicas importantes; el hemisferio visible de la Luna posee extensas cuencas o planicies. A diferencia de la Tierra, la Luna no tiene “campo magnético, por lo tanto, no existen vientos, lluvias ni ningún otro fenómeno atmosférico; no existe protección contra la radiación cósmica que llega a la superficie con toda su intensidad” (Loredo, 2009). Así mismo, “carece de las bellezas naturales que tanto apreciamos en la Tierra como son: praderas, bosques, ríos, lagos, montañas cubiertas de vegetación o de nieve, playas, océanos extensos, cielo azul y nubes, entre otras cosas” (Iglesias, 2007, p. 28).

En la tabla 1, se pueden apreciar los valores de características y variables que se encuentran en Marte y la Luna.

**Tabla 1.**  
Valores característicos en la Luna y Marte

Escenario	Temperatura	Estructura	Características relevantes
Luna	-170°C a 110°C	Suelo sólido y rocoso.  Multitud de escombros, cráteres y cuencas.	Montañas de hasta 9140 metros de altura.  Volcanes.  Valles de 480 km de largo.
Marte	-87°C a 20°C	Rocoso, atmósfera poco densa, compuesto por minerales que contienen silicio, oxígeno.  Superficie cubierta de polvo de grano fino de óxido de hierro.	Casquetes polares  Volcanes inactivos  Clima  Estaciones

Fuente: elaboración propia.

A partir de lo anterior, y del estudio de investigación titulado “Necesidades y riesgos para el desarrollo de operaciones análogas espaciales colombianas (estudio para su implementación)”, liderado por el Centro de Investigaciones Biomédicas, Aeronáuticas y Espaciales (Cibae) de la FAC, se llevaron a cabo una serie de salidas de campo a diferentes locaciones en el

territorio nacional, en las que se identificaron los escenarios análogos en Colombia que se describirán a continuación.

**Desierto de la Tatacoa (figura 11).** Se encuentra en el departamento del Huila, muy cerca del municipio de Villavieja y a dos horas de la ciudad de Neiva. Tiene una temperatura promedio de 24 °C a 40 °C y una altura promedio de 430 msnm (Travelgrafía, 2021).

Tiene condiciones sociales, geológicas o ambientales similares al planeta Marte. En este hábitat, se pueden realizar misiones tripuladas, con énfasis en investigación del comportamiento humano en condiciones de aislamiento, y exploración extravehicular, robótica, de biología, de seguridad en el área de operación, de adaptación de trajes espaciales, etc. Lo anterior, de acuerdo con el tipo de misión análoga que se lleve a cabo y los procedimientos establecidos para cada una de ellas, debido a la exposición a temperaturas entre 38 °C y 42 °C, siendo las temperaturas extremas del desierto.



Figura 11. Desierto la Tatacoa, escenarios misiones análogas  
Fuente: elaboración propia.

**Desierto de Villa de Leyva (figura 12).** Ubicado en la provincia de Ricaurte, en el departamento de Boyacá, tiene una altitud de 2143 msnm, se encuentra a 40 km al occidente de Tunja, capital del departamento (Organizaciones Colparques, 2021).

Se identificaron escenarios que se asemejan al planeta Marte, un terreno semiplano con una reserva de agua similar. Allí, hay clima cálido sin llegar a temperaturas muy altas, lo cual puede ser útil para misiones

análogas que no requieran infraestructura, como pruebas de equipos de robótica, tecnología, comunicaciones y drones exploratorios.



Figura 12. Desierto de Villa de Leyva, escenarios misiones análogas  
Fuente: elaboración propia.

**Nevado del Ruiz (figura 13).** El volcán Nevado del Ruiz se localiza en el eje de la cordillera central de Colombia ( $4^{\circ}53'43''\text{N}$ ,  $75^{\circ}19'21''\text{W}$ ), alcanza los 5321 msnm y corresponde a un estrato de un volcán activo expuesto (Mejía *et al.*, 2012).

Se identificó un escenario en el Valle de las Tumbas a 4540 msnm, el cual es un terreno plano y con características ambientales semejantes a las condiciones de la Luna. Este lugar no es recomendable para instalar



Figura 13. Nevado del Ruiz, escenarios misiones análogas  
Fuente: elaboración propia.

un laboratorio temporal de misiones, debido a la actividad geológica del volcán. Sin embargo, al cumplir las características físicas similares a la Luna y a Marte por el entorno que tiene, se podrían realizar actividades de investigación que no dependan de una infraestructura estática, y hacer pruebas con prototipos extravehiculares como los *rovers*, de comunicación, de tecnologías, y estudios de microbiología y geología, que son procedimientos dinámicos que aportan a la investigación de los equipos que se utilizarán en desiertos de bajas temperaturas como la Antártida, con el fin de disminuir los costos cuando se realice el desplazamiento de la misión.

**Marandua (figura 14).** Municipio del departamento del Vichada que hace parte de los Llanos orientales (figura 14), se localiza en las coordenadas  $5^{\circ}31'28''\text{N}$ ,  $68^{\circ}41'08''\text{W}$  y tiene una altitud de 81 msnm (MapCarta, 2020).

En este lugar, se identificaron escenarios que cumplen con las características de un ambiente extremo físico similar a Marte, por lo cual se contemplaría realizar operaciones análogas de comportamiento humano en condiciones de aislamiento y confinamiento. En las actividades tecnológicas, se contempla la realización de procedimientos extravehiculares, pues el terreno es plano y árido en gran parte de su cobertura, así como pruebas de adaptación de los trajes espaciales según los cambios de temperatura debido a



Figura 14. Llanos orientales (Marandua, Vichada), escenarios misiones análogas  
Fuente: elaboración propia.

que el ambiente es muy variable tanto en el día como en la noche; también, pruebas de los *rovers* exploratorios, los equipos comunicación, los equipos de bioingeniería y la seguridad operacional en la misión para las pruebas de equipos, infraestructura y personal.

En la tabla 2, se pueden apreciar los valores producto de las salidas de campo nacionales e internacionales en cada uno de los escenarios, haciendo uso de equipos de medición medioambientales.

La Jefatura de Educación Aeronáutica y Espacial y la Dirección de Ciencia Tecnología e Innovación de la FAC han tenido un enfoque activo en el desarrollo de la investigación, alineados de acuerdo con el plan de trabajo para conseguir la formación del primer astronauta FAC en el 2030. Así mismo, se ha desarrollado la adquisición de activos e instalaciones mediante el diseño y la construcción del primer laboratorio de misiones análogas móvil, con áreas determinadas para

Tabla 2.  
Valores de variables ambientales obtenidos en las salidas de campo a los diferentes escenarios naturales

	Desierto de la Tatacoa		Desierto de Villa de Leyva		Nevado del Ruiz		Marandua		Antártida (isla Rey Jorge)	
<b>Mes de medición (2020)</b>	Octubre		Octubre		Octubre-noviembre		Noviembre		Enero	
<b>Mediciones ambientales</b>	Día (máx.-mín.)	Noche (máx.-mín.)	Día (máx.-mín.)	Noche (máx.-mín.)	Día (máx.-mín.)	Noche (máx.-mín.)	Día (máx.-mín.)	Noche (máx.-mín.)	Día (máx.-mín.)	Noche (máx.-mín.)
<b>Temperatura (°C)</b>	40,4-30	25-18	34,4-27,5	20-10	18,2- 5,1	-1,0-6,0	40-31,3	29-18,4	5,6-3,0	2,7-1,6
<b>Humedad relativa (%)</b>	50,34-27,3	60,8-30,4	57,3-30,3	70-35,4	70,4-35	80,4-40,6	55-35,2	70,1-38	68,1-51,4	67,9-52,7
<b>Nivel de luz (Lux)</b>	780-285	No aplica	600-327	No aplica	No aplica	No aplica	750-300	No aplica	No registro por el equipo. Afectación por ambiente antártico.	
<b>Nivel de ruido (Db)</b>	58-31,7	54-26,4	58-42,86	60-29,2	70,2-40,6	67,1-35,9	54,7- 28,3	48,5- 24,5	97,5-53,6	68,6-50,4

Fuente: elaboración propia.

El futuro trae consigo etapas de preparación, investigación y emprendimiento; con esta premisa, a través de un análisis prospectivo que permite definir las principales características a corto (2022), a mediano (2030) y a largo plazo (2042), la FAC ha generado una hoja de ruta para ubicarse a la vanguardia de la defensa y la seguridad nacional, y consolidarse como una fuerza avanzada tecnológicamente, dominante en el aire, el espacio y el ciberespacio. Es por ello que, desde el Cibae se han gestionado proyectos de investigación en el campo de las ciencias biomédicas aplicadas al campo aeronáutico y espacial, en un ambiente en condiciones extremas como lo es la Antártica. Esta participación se ha dado en proyectos de caracterización de terreno en la Antártica, comparándolo con los hallazgos producto de la investigación en el Nevado de Ruiz en Colombia en contribución al crecimiento científico y tecnológico de la FAC a nivel nacional e internacional.

trabajo, descanso, alimentación, monitoreo y deporte. Se contempla contar con equipos de microgravedad, fisiología, neuropsicología, inteligencia artificial y robótica, teniendo como resultado la capacidad de realizar misiones de aislamiento y confinamiento en factores humanos alineadas con los estándares internacionales para el fortalecimiento de las capacidades en el aire, el espacio y el ciberespacio.

## Conclusiones y recomendaciones

Una vez identificados los escenarios análogos en Colombia de acuerdo con los parámetros y las variables medidas, se puede decir que en Colombia contamos con análogos desérticos y análogos similares a la

Antártica. Los cuatro escenarios estudiados en Colombia se pueden agrupar de la siguiente manera:

- Escenario análogo desértico: desierto de la Tatacoa, desierto de Villa de Leyva y Marandua (Vichada).
- Escenario análogo similar al antártico: Nevado del Ruiz.

A partir de esta identificación, se puede inferir que Colombia es un país con un gran potencial para realizar misiones análogas, ya que cuenta con diversidad en su entorno ambiental y en sus pisos térmicos; por otro lado, estos escenarios identificados permiten llevar a cabo misiones de aislamiento y confinamiento para análisis psicológicos, neurológicos, fisiológicos, cognitivos y de parámetros que abarquen el rendimiento humano.

Es importante para la FAC desarrollar investigación en escenarios análogos, como los primeros pasos para conseguir su objetivo al 2030 de la puesta en órbita en el espacio ultraterrestre del primer astronauta de la FAC. A partir de esta investigación, se pueden derivar diferentes proyectos en temas espaciales en el análisis del rendimiento humano, desarrollo de trajes para realizar misiones análogas, prueba de tecnología e implementación de un hábitat análogo en alguno de los lugares seleccionados en este estudio.

Finalmente, la investigación en temas espaciales cobra cada vez más importancia, pues la humanidad sigue en esta carrera para conquistar el espacio y con ello establecer bases en territorios espaciales poco explorados. Más entrenamiento en misiones análogas, conocimiento del funcionamiento del cuerpo en condiciones extremas, desarrollo y prueba de tecnologías permitirán, en un futuro, que los humanos conquisten lugares fuera de órbita.

## Referencias

- Adler, M., Owen, W. y Riedel, J. (2012). Use of MRO *Optical Navigation Camera to Prepare for Mars Sample Return* [ponencia]. Concepts and Approaches for Mars Exploration. Houston, Texas. Junio 12-14 de 2012. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2012LPICo1679.4337A/abstract>
- Bell, S. T., Brown, S. G. y Mitchell, T. (2019). What We Know about Team Dynamics for Long-Distance Space Missions: A Systematic Review of Analog Research. *Frontiers in Physiology*, 10, 1-21. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.00811>
- Choukér, A. y Stahn, A. C. (2020). COVID-19 — The Largest Isolation Study in History: The Value of Shared Learnings from Spaceflight Analogs. *NPJ Microgravity*, 6(1). <https://doi.org/10.1038/s41526-020-00122-8>
- Crew Flight Division Integration. (2011). *Johnson Space Center*. <https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/fs-2016-10-002-jsc.pdf>
- De la Torre Benítez, G. G. y Ramallo Luna, M. Á. (2012). Psicopatología y misiones espaciales tripuladas. *Apuntes de Psicología*, 28(3), 377-389. <https://www.apuntesdepsicologia.es/index.php/revista/article/view/226>
- Deems, E. C. y Baroff, L. E. (2008). *A Systems Engineering Process for the Development of Analog Missions for the Vision for Space Exploration*. Space Architect. <https://spacearchitect.org/pubs/AIAA-2008-7899.pdf>
- Del Mastro, A., Salotti, J. M. y Garofalo, G. (2022). A Method for Analog Space Missions Risk Analysis. *Journal of Space Safety Engineering*, 9(2), 132-144. <https://doi.org/10.1016/J.JSSE.2022.02.004>
- European Space Agency (ESA). (2011). *Misiones del Traslador Espacial*. [http://www.esa.int/esaCP/SEM6CW6TLPG\\_Spain\\_2.htm](http://www.esa.int/esaCP/SEM6CW6TLPG_Spain_2.htm)
- European Space Agency (ESA). (2013). *The Remotest Base on Earth*. [https://www.esa.int/Science\\_Exploration/Human\\_and\\_Robotic\\_Exploration/Concordia/The\\_remotest\\_base\\_on\\_Earth#:~:text=Concordia%20research%20station%20in%20Antarctica,temperature%20of%20%E2%80%93350%C2%B0C](https://www.esa.int/Science_Exploration/Human_and_Robotic_Exploration/Concordia/The_remotest_base_on_Earth#:~:text=Concordia%20research%20station%20in%20Antarctica,temperature%20of%20%E2%80%93350%C2%B0C)
- Gil Calle, E., Mimoso, D., Pouzin, R., Lizy-Destrez, S. y Roy, R. N. (2021). Correlation Analysis of Sleep Quality, Mood and Teleoperation Performance in the MDRS206 Analog Mission. *Journal of Space Safety Engineering*, 8(4), 312-316. <https://doi.org/10.1016/J.JSSE.2021.08.005>
- Gills, J. y Corum, J. (2017, 1 de agosto). En el interior de la base McMurdo, el centro de investigación más ambicioso de la Antártida. *The New York Times*. <https://www.nytimes.com/es/2017/08/01/espanol/en-el-interior-de-la-base-mcmurdo-el-centro-de-investigacion-mas-ambicioso-de-la-antartida.html>

- Hassan, J. y Davenport, C. (2022, 3 de febrero). When the International Space Station Retires, It Will Plunge into the Ocean to Die, NASA Says. *The Washington Post*. <https://www.washingtonpost.com/science/2022/02/03/nasa-international-space-station-decommission-2031-ocean/>
- Heinicke, C., Poulet, L., Dunn, J. y Meier, A. (2021). Crew Self-Organization and Group-Living Habits during Three Autonomous, Long-Duration Mars Analog Missions. *Acta Astronautica*, 182, 160-178. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2021.01.049>
- Iglesias Leal, R. (2007). La Luna primer continente cósmico. *CienciaUAT*, 2(1), 26-31. <https://www.redalyc.org/pdf/4419/441942909001.pdf>
- Lalla, E. A., Konstantinidis, M., Czakler, C., Garnitschnig, S., Hickson, D., Such, P., Losiak, A., Ercoli, M., Frigeri, A., Hofmann, A., Lucic, T., Seikora, N., Suchantke, I., Gruber, S. y Groemer, G. (2021). Remote Science Activities during the AMADEE-18 Mars Analog Mission: Preparation and Execution during a Simulated Planetary Surface Mission. *Journal of Space Safety Engineering*, 8(1), 75-85. <https://doi.org/10.1016/J.JSSE.2020.12.001>
- Landon, L. B., Slack, K. J. y Barrett, J. D. (2018). Teamwork and Collaboration in Long-Duration Space Missions: Going to Extremes. *American Psychologist*, 73(4), 563-575. <https://doi.org/10.1037/amp0000260>
- Linell, K. A., Johnston, G. H. (1973). Engineering Design and Construction in Permafrost Regions: A Review. En: *North American Contribution to the Second International Conference on Permafrost*. NRC Publications Archive. <https://nrc-publications.canada.ca/eng/view/ft/?id=9598f0f8-843c-40ad-ad37-616b117254f3>
- Leinfelder, A. (2020, 23 de marzo). Astronauts, The True Experts of Isolation, Give Tips for COVID-19 Social Distancing. *Houston Chronicle*. <https://www.houstonchronicle.com/news/houston-texas/houston/article/Astronauts-the-true-experts-of-isolation-give-15151084.php>
- Loredo, A. (2009). La luna. *Cuaderna Vía*, 1(1). <https://doi.org/10.32855/cuadernavia.2009.001>
- MapCarta. (2020). *Marandua, Vichada*. <https://mapcarta.com/es/29739778>
- Loff, S. (2017). *About NEEMO (NASA Extreme Environment Mission Operations)*. [https://www.nasa.gov/mission\\_pages/NEEMO/about\\_neemo.html](https://www.nasa.gov/mission_pages/NEEMO/about_neemo.html)
- Mars Society. (2022). *The Mars Desert Research Station (MDRS)*. <http://mdrs.marsociety.org/>
- Mejía, E. L., Velandia, F., Zuluaga, C. A., López, J. A. y Cramer, T. (2012). Análisis estructural al noreste del volcán Nevado del Ruiz, Colombia: aporte a la exploración geotérmica. *Boletín de Geología*, 34(1) 2012, 27-41. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=349632024002>
- National Aeronautics and Space Administration (NASA). (2009). *Past and Present: Field Testing For the Moon*. <https://www.nasa.gov/exploration/analogs/then-and-now.html>
- National Aeronautics and Space Administration (NASA). (2011a). *La ciencia en la Estación Espacial Internacional*. [https://www.nasa.gov/audience/forstudents/nasaandyou/home/science-iss\\_bkgd\\_sp.html](https://www.nasa.gov/audience/forstudents/nasaandyou/home/science-iss_bkgd_sp.html)
- National Aeronautics and Space Administration (NASA). (2011b). *NASA's Analog Missions: Paving the Way for Space Exploration*. [https://www.nasa.gov/pdf/563511main\\_NASA-Analog-Missions-06-2011\\_508.pdf](https://www.nasa.gov/pdf/563511main_NASA-Analog-Missions-06-2011_508.pdf)
- National Aeronautics and Space Administration (NASA). (2018). *International Space Station Transition Report*. [https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/2022\\_iss\\_transition\\_report-final\\_tagged.pdf](https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/2022_iss_transition_report-final_tagged.pdf)
- National Aeronautics and Space Administration (NASA). (2022). *¡Modo oscuro activado!* <https://ciencia.nasa.gov/modooscuroactivado>
- National Science Foundation (NSF). (2019). *McMurdo Station*. <https://www.nsf.gov/geo/opp/support/mcmurdo.jsp#navbarid>
- Naveira, M. L. y Barbarito, M. G. (2016). Nadie sobrevive solo en la Antártida. *Revista Borromeo*, (7). <http://borromeo.kennedy.edu.ar/ArticulosNuevos/NaveiraBarbarito7.pdf>
- Organizaciones Colparques. (2021). *Villa de Leyva*. <http://www.colparques.net/LEYVA#acceptar>
- Reagan, M., Janoiko, B., Johnson, J., Chappell, S. y Abercromby, A. (2012). *NASA's Analog Missions: Driving Exploration through Innovative Testing* [ponencia]. AIAA SPACE Conference and Exposition. Pasadena, California. Septiembre 1-18 de 2012. <https://doi.org/10.2514/6.2012-5238>
- Rees, M. (Ed.). (2020). *Universe: The Definitive Visual Guide*. DK Publishing.
- Rodríguez Sánchez, L. (2016). *Estación Espacial Internacional*. [https://datospdf.com/download/estacion-espacial-internacional-iss-\\_5a4d7624b7d7bcb74f21a2d7\\_.pdf](https://datospdf.com/download/estacion-espacial-internacional-iss-_5a4d7624b7d7bcb74f21a2d7_.pdf)
- Saavedra-Torres, J. S., Zúñiga Cerón, L. F., Pinzón Fernández, M. V., Garcés Gómez, J. L., a Salguero Bermúdez, C. (2021). *Medicina aero espacial: los desafíos médicos que se esperan en una misión*. NASA Johnson Space Center. <https://anmdecolombia.org.co/medicina-aero-espacial-los-desafios-medicos-que-se-esperan-en-una-mision-humana-en-marte/>

Schmidt, L. J. (2009, 6 de enero). *Getting Ready for the Mars Migration*. Popular Science. <https://www.popsci.com/military-aviation-amp-space/article/2009-01/getting-ready-mars-migration/>

StratoCat. (2020). *Lanzamiento de globos estratosféricos en el mundo*. <https://stratocat.com.ar/bases/51.htm>

Travelgrafía. (2021). *Desierto de la Tatacoa*. <https://travelgrafia.co/blog/desierto-de-la-tatacoa/>

# Metodología de validación de autonomía de batería para un UAV táctico

| Fecha de recibido: 11 de noviembre 2022 | Fecha de aprobado: 28 de abril 2023 |

| Reception date: November 11, 2022 | Approval date: April 28, 2023 |

| Data de recebimento: 11 de novembro de 2022 | Data de aprovação: 28 de abril de 2023 |

## David Leonardo Piñeros Guzmán

<https://orcid.org/0000-0002-8913-1335>  
certi.pineros@ciac.gov.co

Ingeniero Aeronáutico

Investigador – Corporación de la Industria Aeronáutica Colombiana CIAC S.A., Colombia  
Rol del investigador: teórico y escritura

Aeronautical Engineer

Researcher – Colombian Aeronautical Industry Corporation CIAC S.A., Colombia  
Researcher's role: theoretical and writing

Engenheiro Aeronáutico

Pesquisador. Corporação da Indústria Aeronáutica Colombiana CIAC S.A., Colômbia  
Função do pesquisador: teórica e escrita

## Andrés Felipe Gómez Rivera

<https://orcid.org/0000-0003-3041-4485>  
diseno.dipro@ciac.gov.co

Ingeniero Electrónico

Investigador – Corporación de la Industria Aeronáutica Colombiana CIAC S.A., Colombia  
Rol del investigador: teórico y escritura

Electronics Engineer

Researcher – Colombian Aeronautical Industry Corporation CIAC S.A., Colombia  
Researcher's role: theoretical and writing

Engenheiro eletrônico

Pesquisador – Corporação da Indústria Aeronáutica Colombiana CIAC S.A., Colômbia  
Função do pesquisador: teórica e escrita

**Cómo citar este artículo:** Piñeros Guzmán, D. L. y Gómez Rivera, A. F. (2023). Metodología de validación de autonomía de batería para un UAV táctico. *Ciencia y Poder Aéreo*, 18(2), 20-34. <https://doi.org/10.18667/cienciaypoderaereo.791>



## Metodología de validación de autonomía de batería para un UAV táctico

## Battery Autonomy Validation Methodology for a Tactical UAV

## Metodologia de validação da autonomia da bateria para um UAV tático

**Resumen:** A partir del conocimiento obtenido durante el desarrollo del proyecto “Diseño de un vehículo aéreo no tripulado (UAV) para operaciones de vigilancia”, desarrollado por la Corporación de la Industria Aeronáutica Colombiana, se elaboró el presente artículo investigativo. Se describe la comprobación de una metodología planteada con el fin de asegurar la correcta selección y posterior validación de una batería que cumpla los requerimientos de autonomía de un UAV de 5 kg. Siguiendo lo estipulado por esta metodología, se realizó un análisis del consumo eléctrico teórico (ELA, por sus siglas en inglés) del UAV, en las diferentes fases de la misión, y se establecieron así los requisitos operacionales y energéticos del sistema, lo cual se convirtió en un reto de diseño debido a la necesidad de encontrar una relación eficiente entre el peso y el tiempo de vuelo del UAV. A partir de la información recolectada, se procedió a seleccionar la batería del UAV, validándola tanto en tierra como en vuelo a través de pruebas operacionales y de descarga, simulando el perfil de consumo, con lo que se obtuvo como resultado el cumplimiento de los requisitos de autonomía, con un tiempo de vuelo mayor a 60 minutos y un 20% de seguridad. Se garantiza que el UAV realice su misión de forma segura y con el tiempo suficiente para realizar las maniobras de aterrizaje cuando se presente un consumo energético del 80%. Se demuestra que la metodología implementada garantizó la correcta selección y validación de la batería requerida por el UAV de 5 kg.

**Palabras clave:** autonomía; autopiloto; batería; capacidad; consumo de energía; log de vuelo.

**Abstract:** Based on the knowledge obtained during the development of the project “Design of an unmanned aerial vehicle (UAV) for surveillance operations”, developed by the Colombian Aeronautical Industry Corporation, this research article was prepared. It describes the verification of a methodology proposed in order to ensure the correct selection and subsequent validation of a battery that meets the autonomy requirements of a 5 kg UAV. Following the stipulations of this methodology, an analysis of the theoretical electrical consumption (ELA) of the UAV, in the different phases of the mission, was carried out and the operational and energy requirements of the system were established, which became a design challenge due to the need to find an efficient relationship between the weight and the flight time of the UAV. Based on the information collected, the UAV battery was selected and validated both on the ground and in flight through operational and discharge tests, simulating the consumption profile, resulting in the fulfillment of the autonomy requirements, with a flight time greater than 60 minutes and 20% safety. It is guaranteed that the UAV performs its mission safely and with enough time to perform landing maneuvers when energy consumption is 80%. It is demonstrated that the implemented methodology guaranteed the correct selection and validation of the battery required by the 5 kg UAV.

**Keywords:** Autonomy; autopilot; battery; capacity; energy consumption; flight log.

**Resumo:** Com base no conhecimento obtido durante o desenvolvimento do projeto “Design of an unmanned aerial vehicle (UAV) for surveillance operations” (“Projeto de um veículo aéreo não tripulado (UAV) para operações de vigilância”), desenvolvido pela Corporação da Indústria Aeronáutica da Colômbia, foi elaborado este artigo de pesquisa. Ele descreve a verificação de uma metodologia proposta para garantir a seleção correta e a validação subsequente de uma bateria que atenda aos requisitos de autonomia de um UAV de 5 kg. Seguindo as estipulações dessa metodologia, foi realizada uma análise do consumo elétrico teórico (ELA) do UAV, nas diferentes fases da missão, e foram estabelecidos os requisitos operacionais e de energia do sistema, o que se tornou um desafio de projeto devido à necessidade de encontrar uma relação eficiente entre o peso e o tempo de voo do UAV. Com base nas informações coletadas, a bateria do UAV foi selecionada e validada em solo e em voo por meio de testes operacionais e de descarga, simulando o perfil de consumo, resultando no cumprimento dos requisitos de autonomia, com tempo de voo superior a 60 minutos e 20% de segurança. É garantido que o UAV execute sua missão com segurança e com tempo suficiente para realizar as manobras de pouso quando o consumo de energia for de 80%. É demonstrado que a metodologia implementada garantiu a seleção e a validação corretas da bateria necessária para o UAV de 5 kg.

**Palavras-chave:** Autonomia; piloto automático; bateria; capacidade; consumo de energia; log de voo.

## Introducción

En el proceso de diseño de un vehículo aéreo no tripulado (UAV-*unmanned aerial vehicle*), se presenta la autonomía como uno de los factores que más impacta en el mercado o en el consumidor de este tipo de sistemas (Costa *et al.*, 2019); esto, especialmente en misiones de fotogrametría, reconocimiento y vigilancia, debido a que repercute directamente en el alcance o radio de acción del UAV (Brehm, 2021). La autonomía también es clave cuando se desea realizar seguimiento de objetivos a 10 km desde el punto de despegue o la estación de control en tierra (GCS-*ground control system*), con velocidades entre 10 m/s y 20 m/s, involucrando una autonomía de 60 a 90 minutos que le permita despegar, llegar al punto de observación, realizar la toma de datos o reconocimiento del objetivo, regresar y aterrizar el UAV. Hay que tener en cuenta que esta autonomía será afectada por el techo de operación, las variaciones en la altura, la realización de giros alrededor de un punto fijo y las condiciones meteorológicas (componentes de viento de cola, en contra y a favor), disminuyendo o aumentando el tiempo de vuelo. De este modo, durante el diseño del sistema se deberán plantear diferentes soluciones ingenieriles que a través de análisis y pruebas le garanticen al operador la explotación segura del UAV.

La autonomía está ligada directamente al peso de la aeronave (Thibbotuwawa, 2018), sobre todo a la fuente de energía. Las baterías son una de las soluciones más comunes para aeronaves con pesos máximos de despegue (MTOW-*maximum take-off weight*) de 5 kg (Fernández, 2021). Sin embargo, en el mercado actual se presenta mucha variedad de baterías (Dündar *et al.*, 2020), lo cual genera la necesidad de definir e implementar una metodología para identificar la batería ideal que responda a la necesidad de autonomía requerida por el UAV a diseñar, fabricar y comercializar. En este documento, se describe la implementación y comprobación de una metodología propuesta para asegurar el correcto análisis, selección y validación de una batería que cumpla los requerimientos de autonomía de un UAV tipo táctico con un peso máximo de 5 kg.

## Metodología de validación

Entre las guías estándar implementadas para el diseño de aeronaves se encuentra el *Standard Guide for Aircraft Electrical Load and Power Source Capacity Analysis* (American Society for Testing and Materials [ASTM], 2013), documento en el que se presentan todas las directrices para realizar un análisis de cargas eléctricas, el cual permite dar cumplimiento a los requisitos de aeronavegabilidad dispuestos por la Administración Federal de Aviación (FAA-Federal Aviation Administration) para la certificación de tipo CT de aeronaves categoría normal y transporte. A partir de esta guía, se generó y se propuso una metodología de validación de baterías para aeronaves remotamente tripuladas de tipo táctico, compuesta por las siguientes fases:

- Análisis de consumo eléctrico teórico del UAV donde operará la batería.
- Identificación de los requisitos de la batería.
- Selección de la batería.
- Validación y verificación operacional de la batería en tierra.
- Validación y verificación operacional de la batería en vuelo.

Lo anterior se debe a que el estándar (ASTM, 2013) fue desarrollado para aeronaves tripuladas, con sistemas de propulsión basada en motores a reacción. Las baterías son recargadas durante el vuelo y se presenta un consumo eléctrico constante durante sus fases de operación, lo cual no corresponde al comportamiento detallado de un UAV, cuyo sistema de propulsión en la mayoría de los casos se basa en motores eléctricos alimentados por baterías, con un consumo eléctrico variable debido a las diferentes maniobras que realiza el UAV y a las condiciones meteorológicas en las que se encuentre operando.

Por lo tanto, se realizó la investigación descrita para comprobar que, a través de la implementación de la metodología de validación de baterías propuesta, se logra asegurar la correcta selección de este componente

cumpliendo los requerimientos de autonomía de un UAV de 5 kg MTOW.

## UAV prototipo

Durante la investigación de comprobación de la metodología de validación de la batería, se empleó como prototipo un UAV con peso máximo de despegue de 5 kg, ala fija y plano alto, con capacidad de despliegue por medio de lanzamiento tipo “*hand launch*” y recuperación por medio de “*belly landing*”. Este UAV realiza misiones de vigilancia, inteligencia y reconocimiento (ISR-*intelligence, surveillance and reconnaissance*), con un alcance máximo de 15 km desde la GCS, limitado por la autonomía, relacionada directamente con la velocidad de la plataforma y la capacidad de la batería instalada. Durante este tipo de misiones, la plataforma presenta un alto consumo energético debido a variaciones en el techo de operación, la realización de órbitas sobre el punto de vigilancia, y los cambios en la intensidad y la dirección del viento.

Su diseño presenta una arquitectura de sistemas y equipos electrónicos que operan en corriente directa (DC), alimentados por una batería durante todas las fases de operación, siguiendo así el diagrama de sistemas tomado del estándar (Marques, 2015).

Este UAV tiene un motor eléctrico sin escobillas (*brushless*) que opera a 22,2 V DC y requiere una corriente de 2,3 a 46 amperios (A) con empujes de 500 a

4000 gramos fuerza (gf) y una potencia de 51 a 1021 vatios (W). Adicionalmente, como característica operacional, el UAV requiere un empuje máximo al despegue de 28 a 35 newton (N) y un empuje mínimo en crucero de 11 N.

## Consumo eléctrico teórico plataformas del UAV

De acuerdo con las especificaciones técnicas de cada componente instalado en el UAV y siguiendo el estándar (ASTM, 2013), se calculó de forma teórica la carga eléctrica máxima de cada componente y la carga eléctrica presente durante una operación de despegue (empuje máximo) y crucero (empuje mínimo). Se tuvieron en cuenta los valores de empuje reportados en la carta de prueba del motor eléctrico, con el fin de determinar los consumos de energía eléctrica del UAV.

Tabla 1. Carga eléctrica máxima del UAV

Sistemas	Voltaje (V)	Corriente (mA)	Potencia (W)
Propulsión	22,2 - 25,	56 800	1260,96
Aviónica	3,3 - 22,2	485	239,24
Terminal de datos	9 - 20	2666	24
Carga paga	5,5 - 26	583	7
<b>Total</b>	22,2	60 534	1531,2

Fuente: Piñeros (2022).

Figura 1. Sistemas del UAV  
Fuente: Marques (2015).

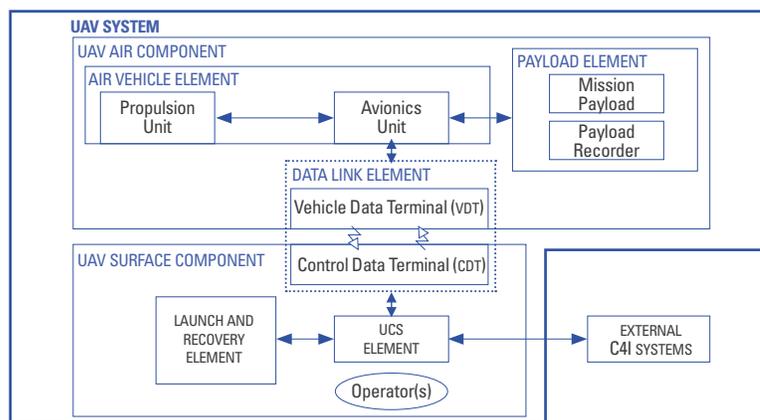


Tabla 2.  
Cargas eléctricas operacionales del UAV

	Despegue			Crucero								
	Empuje del motor en gramos fuerza											
	4000	3569	3500	3000	2600	2300	2000	1750	1500	1250	1121	1000
Sistema	Carga eléctrica en operaciones normales en miliamperios (mA)											
Propulsión	46000	38545	37800	29300	23800	20000	16100	12700	10200	8000	7178	5900
Aviónica	485	485	485	485	485	485	485	485	485	485	485	485
Data link	2666	2666	2666	2666	2666	2666	2666	2666	2666	2666	2666	2666
Carga paga	583	583	583	583	583	583	583	583	583	583	583	583
<b>Total</b>	<b>49734</b>	<b>42279</b>	<b>41534</b>	<b>33034</b>	<b>27534</b>	<b>23734</b>	<b>19834</b>	<b>16434</b>	<b>13934</b>	<b>11734</b>	<b>10912</b>	<b>9634</b>

Fuente: Piñeros (2022).

Asumiendo que el UAV consume de forma constante 60 minutos, y teniendo en cuenta las cargas eléctricas expuestas en la tabla 2, se puede determinar que el componente que consume la mayor cantidad de energía eléctrica es el motor. Si evaluamos la carga eléctrica durante el máximo empuje de la plataforma de 35 N (3569 gf), el UAV teóricamente presentaría 42276 mA de carga máxima; y para el empuje mínimo en crucero de 11 N (1121,688 gf), el UAV presentaría 10909,6 mA de forma teórica. Sin embargo, el valor de carga eléctrica total de un vuelo de 60 minutos está sujeto a evaluación mediante pruebas, debido a que durante la operación de un UAV se presentan picos de máxima carga eléctrica y tiempos en que la carga se reduce al mínimo.

## Análisis de consumo para el empuje mínimo y máximo del UAV

De acuerdo con las características operacionales del UAV, se puede observar que la fase de mayor consumo energético se presenta durante el despegue, debido a la necesidad de empuje de 28 N (2855,2 gf) a 35 N (3569 gf). De este modo, se determinó la realización de pruebas de medición de corriente del motor cuando se encuentre generando dicho empuje.

Para esta prueba, se empleó una batería Li-Po Tattu de 22,2 V, con una capacidad de 8000 miliamperios

por hora (mAh) y una tasa de descarga máxima de 200 A, garantizando que el motor obtendría la energía suficiente para lograr el empuje máximo de 35 N.

Tabla 3.  
Características batería Tattu 8000 mAh

Tipo	Lipo
Voltaje nominal	22,2 V
Voltaje máximo	25,5 V
Capacidad nominal	8000 mAh
Potencia	177,6 Wh
Peso	1160 g ( $\pm 20$ )
Tasa de descarga	25 C

Fuente: Piñeros (2022).



Figura 2. Prueba de motor

Fuente: Piñeros (2022).

Tabla 4.  
Resultados prueba empuje máximo de motor

Corriente (A)	Empuje (gf)	Potencia (W)
27	3000	675
34,4	3500	860
40	3662	953,4
43	4000	1075

Fuente: Piñeros (2022).

Como se observa en la tabla 4, se registra una corriente de 27 a 34,4 A para el empuje de 28 a 35 N requerido en la fase de despegue del UAV.

## Análisis de los registros (log) de los vuelos del UAV

Con el fin de validar los datos teóricos de corrientes máximas y operacionales del UAV, calculados antes, se procedió a realizar una campaña de ensayos en vuelo

con el UAV, empleando la batería Tattu de 8000 mAh. Esta campaña comprendió cinco vuelos de prueba realizados en el municipio de Flandes, en el departamento del Tolima. Usando la capacidad del UAV de guardar los registros de vuelo (log de telemetría), se generaron gráficas de altura, consumo, velocidad y ángulos de *pitch*, teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

- BAT.Volt: Voltaje de la batería.
- BAT.Curr: Corriente consumida de la batería durante el vuelo.
- BAT.CurrTot: Corriente utilizada total de la batería.
- RCIN C3: curva de mandos del piloto.
- POS.RealHomeAlt: Altura.
- ARSP.Airspeed: Velocidad.

En la figura 3, se presenta la gráfica del log de telemetría del primer vuelo realizado con el UAV, donde se presentan los parámetros mencionados antes, esta gráfica fue generada a través de página web UAV Log Viewer (ArduPilot, 2021a).

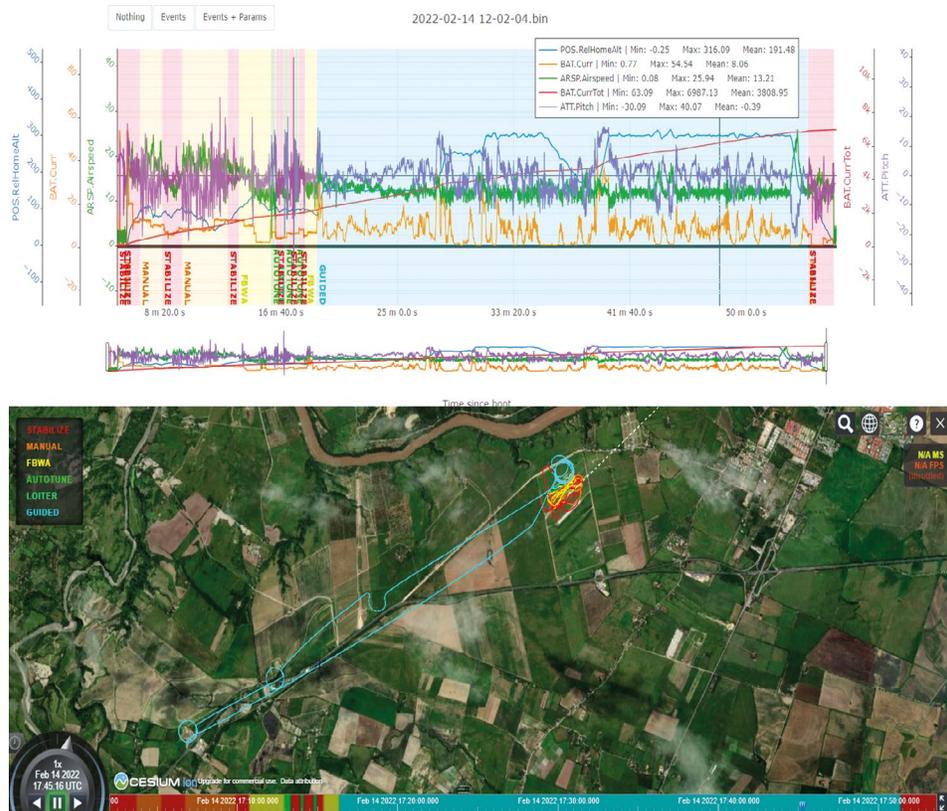


Figura 3. Gráfica primer vuelo del UAV  
Fuente: Piñeros (2022) en ArduPilot (2021a).

A partir de la figura 3, se analizaron los datos de telemetría de la aeronave y se encontraron las siguientes apreciaciones:

- En las fases de vuelo estabilizado (*stabilized*) y manual se efectuó la calibración de parámetros del piloto automático (PID-proporcional, integral, derivativo) y esto implicó 30% del tiempo de vuelo.
- El 70% restante del vuelo estuvo compuesto por las fases de vuelo guiado, ascenso y automático.
- Durante el vuelo, se presentaron periodos de no utilización (corrientes de 1 A); giro de 1 minuto manteniendo la altitud con una corriente de 1 A, debido al favorecimiento por condición meteorológica (térmicas).
- Se observan picos de corriente con duraciones de 3 a 15 segundos, debido a cambios de altura, aumentos en la velocidad y presencia de vientos en contra.
- La fase de descenso presenta el menor consumo, pero con una mayor duración cuando se compara con la fase de ascenso.

- La corriente promedio del UAV se encuentra en el rango de 6620 a 8700 mAh para las fases de estabilización, crucero y descenso.
- Se presentó una velocidad promedio de 13,21 m/s y una velocidad máxima de 25,94 m/s.

Sin embargo, los demás vuelos de prueba presentaron diferencias bastante marcadas en los tiempos de vuelos realizados. Por lo tanto, en la tabla 5 se presenta el resumen de datos obtenidos en la campaña de ensayos en vuelo.

En la tabla 5, se observa que se realizaron vuelos manuales y automáticos en los que no intervino el piloto, y el autopiloto pudo regular todos los parámetros operacionales de la aeronave incluyendo el consumo y la potencia de motor, haciendo más eficiente el consumo de energía eléctrica de la batería.

Adicionalmente, en la tabla 6 se presenta un resumen de valores promedio de corriente, tiempo y consumo de los vuelos de prueba, generando así el gráfico de perfil operacional y consumo del UAV.

Tabla 5.  
Consumos de batería vuelos de prueba

		Unidades	Primer vuelo	Segundo vuelo	Tercer vuelo	Cuarto vuelo	Quinto vuelo
	Duración del vuelo	Minutos	52	57	56	43	51
Encendido de motor	Consumo de batería presentado al finalizar la fase.	mAh	108	98	104	100	108
Ascenso		mAh	261	375	280	380	703
Estabilizado (calibración PID)		mAh	2154	888,35	2523,89	4182,01	1105,45
Crucero ( <i>loiter</i> , guiado, auto y RTL)		mAh	6987,13	6646,5	7837,85	5737,11	6940,86
Descenso y aterrizaje		mAh	6987,13	6646,5	7837,85	5737,11	6940,86

Fuente: Piñeros (2022).

Tabla 6.  
Valores promedio de consumo de los vuelos de prueba

Fases de vuelo	Valores promedio de corriente (mA)	Tiempos promedio (minutos)	Consumos de baterías promedio (mAh)
Pico de prenda de motor	53618	0,024	103,6
Ascenso	21626	0,48	296,2
Calibración PID	8278	11,806	1770,94
Crucero (guiado, RTL, figuras triangulares, rectangulares)	7495	37,33	4333,06
Descenso y aterrizaje	3102	2,568	326,09
<b>Total</b>		52,208	6829,89

Fuente: Piñeros (2022).

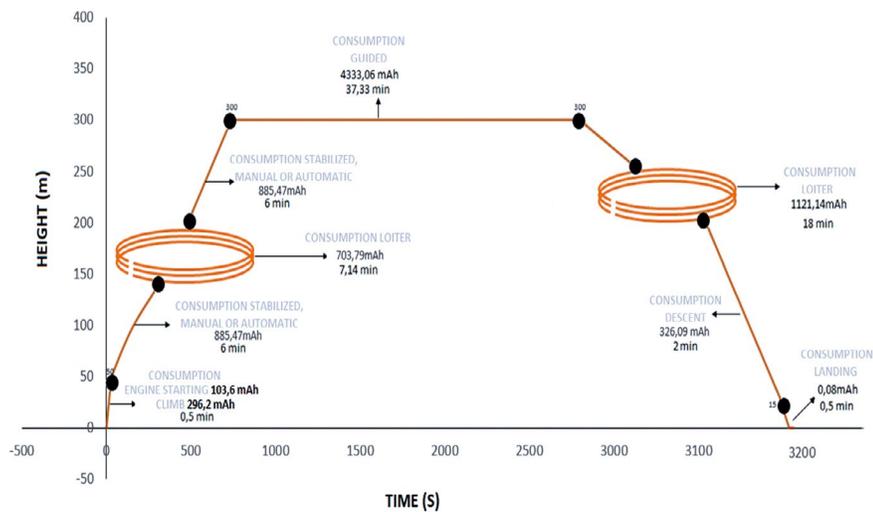


Figura 4. Perfil de consumo eléctrico promedio de los vuelos de Flandes

Fuente: Piñeros (2022).

En la figura 4, las fases de vuelo de *loiter* se sitúan de acuerdo con las alturas de realización del *loiter*, lo cual implica que se sitúen dentro de la fase de calibración de parámetros PID y de descenso.

## Selección de batería

De acuerdo con los consumos eléctricos calculados y el comportamiento de consumo eléctrico obtenido a partir del análisis de los *log* de vuelos de prueba, se establecieron los siguientes requisitos para la selección de la batería que cumpla con la autonomía requerida para la operación del UAV.

- Suministrar la energía requerida por el UAV en sus diferentes fases y modos de operación.
- Tener una capacidad de descarga continua que garantice el suministro de energía necesario para mantener el mínimo empuje en crucero requerido por la operación del UAV.
- Tener una capacidad de descarga continua máxima igual o superior que garantice el suministro de energía necesario para mantener el máximo empuje requerido por el UAV.
- Tener dimensiones iguales o inferiores a ( $\pm 5$ ) 51 x 168 x 65 mm, debido al espacio interno del UAV disponible.

- Operar con un voltaje nominal de 22,2 V, debido a que el equipo distribuidor de energía eléctrica de las plataformas opera con ese voltaje.
- Operar con un voltaje máximo de 25,2 V.
- Garantizar una autonomía de 60 minutos con 20% de seguridad.
- Fabricada con celdas recargables.
- Debe tener un conector XT60.

En vista de lo explicado en la sección anterior, en la tabla 7 se enlistan las baterías que se analizaron, según la disponibilidad en el mercado y el cumplimiento de los requerimientos ya expuestos.

Se observa en la tabla 7 que las baterías que cumplen con algunos de los requerimientos son de tipo Lipo (tabla 7) o Li-Ion (iones de litio), debido a que suministran una mayor densidad de energía y capacidad de descarga con un bajo peso en comparación con baterías de NiCd (níquel-cadmio) o NiMH (níquel-hidruro metálico).

Así mismo, se puede apreciar que las baterías de 14 000 a 16 000 mAh tienen rangos de peso superiores a 1560 g, con dimensiones mayores a 190 mm de largo, superando el peso y las dimensiones restablecidas. Por lo tanto, se decidió descartar este tipo de baterías y se determinó que la batería de 12 500 mAh de la marca Foxtech presenta las mejores prestaciones en relación con las demás baterías del rango de 12 000 a 12 500 mAh.

Tabla 7.  
Baterías presentes en el mercado

Parámetros	Tipo	Voltaje (V)	Capacidad (mAh)	Configuración de celdas	Tipo de conector	Conector balanceador de celdas	Tasa de descarga continua	Vatios hora (Wh)	Peso (g)	Dimensiones (Alt, Lon, Anc) (mm)
Tattu 16000 mAh	Lipo	22,2	16 000	6S1P	XT90-S	JST-XHR-7P	30C	355,2	1988	65 x 192 x 76
Tattu 16000 mAh	Lipo	22,2	16 000	6S1P	DJI	JST-XHR	15C	355,2	1856	60,5 x 191 x 76,5
Tattu 14000 mAh	Lipo	22,2	14 000	6S1P	DJI	JST-XHR	25C	310,2	1560	55 x 235 x 68
Tattu 12500 mAh	Lipo	22,2	12 500	6S1P	DJI	JST-XHR	25C	275	1720	35,6 x 180 x 70
Foxttech 12500 mAh	Li-Ion	22,2	12 500	6S4P	XT-60	JST-XHR	3C	278	1199	160 x 70 x 50
Tattu 12000 mAh	Lipo	22,2	12 500	6S1P	EC5	JST-XHR-7P	30C	266,4	1670	65 x 190 x 71
Tattu 12000 mAh	Lipo	22,2	12 500	6S1P	EC5	JST-XHR-7P	15C	266,4	1470	61 x 184 x 71
ZYE 12000 mAh	Li-Ion	23,4	12000	6S1P	XT90-S	JST-XHR	8C	280,8	1230	54 x 141 x 70

Fuente: Piñeros (2022), con datos tomados de Foxttech (2022) y Tattu (2022).



Figura 5. Batería Foxttech de 12500 mAh

Fuente: Piñeros (2022).

Tabla 8.  
Características batería Foxttech 12500 mAh

Tipo	Lipo
Voltaje nominal	22,2 V
Voltaje máximo	25,5 V
Capacidad nominal	12500 mAh
Configuración	6S4P
Potencia	278 W/h
Peso	1199 g
Tasa de descarga	3C (37 500 mAh)
Conector	XT-60
Resistencia interna por celda	< 40 mΩ
Dimensiones	16 x 7 x 5 (cm)

Fuente: Piñeros (2022), con datos tomados de Foxttech (2022).

Adicionalmente, en las tablas 9 y 10 se presentan los valores de potencia con la batería Foxttech de 12500 mAh.

Tabla 9.  
Potencia máxima de la batería Foxttech de 12500 mAh

Voltaje inicial (Vo)	Corriente nominal	Corriente máx.	Potencia máx. en Vo
25 V	12,5 A	3C = 37,5 A	937,5 W > 905,73 W

Fuente: Piñeros (2022).

Tabla 10.  
Potencia nominal calculada de la batería Foxttech de 12500 mAh

Tipo de batería	Voltaje nominal	Corriente máx.	Potencia nominal
6S4P	22,2 A	3C = 37,5 A	832,5 W

Fuente: Piñeros (2022).

Teniendo en cuenta los valores promedio de corriente, tiempo y consumo de los vuelos de prueba, se calculó el tiempo de vuelo teórico del UAV con la batería Foxttech de 12500 mAh.

Tabla 11.  
Estimación de autonomía con la batería Foxttech

Parámetros	Unidades	Valores
Capacidad batería Foxttech	mAh	12500
Autonomía del UAV con la batería Foxttech sin factor de seguridad	Minutos	94,67
Consumos de energía eléctrica del UAV con la batería Foxttech y un factor de seguridad del 20 %	mAh	10000
Autonomía del UAV con la batería Foxttech y un factor de seguridad del 20 %	Minutos	75,73

Fuente: Piñeros (2022).

Debido a que la potencia máxima continua que puede suministrar la batería Foxtech es de 37,5 A, los picos de corriente del motor deben ser limitados a este valor máximo de corriente, con lo cual se afectan las fases de vuelo de despegue, ascenso y crucero.

Por lo anterior, se decidió realizar pruebas de descarga en tierra y operacionales en vuelo que demostraran que la batería tenía la capacidad de suministrar la corriente máxima requerida por el motor durante la fase de despegue.

## Validación en tierra de la batería Foxtech de 12500 mAh

Con el objetivo de validar el correcto funcionamiento de la batería Foxtech en el UAV y verificar los cálculos teóricos de consumo y autonomía, se realizaron tres pruebas en tierra con los resultados a continuación.

### Prueba de empuje mínimo y máximo

#### Prueba número 1: Prueba consumo de motor

Durante esta prueba, se operó el motor, el controlador del motor, la hélice y la batería Foxtech para un empuje mínimo de operación de crucero de 11 N (1121,688 gf) y un empuje máximo para el despegue del UAV de 35 N (3569 gf), con los resultados descritos en las tablas 12 y 13.

Tabla 12. Datos obtenidos de la prueba de empuje de 11 N (1121,688 gf)

Parámetro	Valores registrados
Empuje (gf)	1143
Corriente (A)	8,13
Voltaje (V)	23,52
RPM	7707
Potencia (W)	197,5

Fuente: Piñeros (2022).

Tabla 13. Datos obtenidos de la prueba de empuje de 35 N (3569 gf)

Parámetro	Valores registrados
Empuje (gf)	3055
Corriente (A)	33,61
Voltaje (V)	20,87
RPM	11770
Potencia (W)	701,4

Fuente: Piñeros (2022).

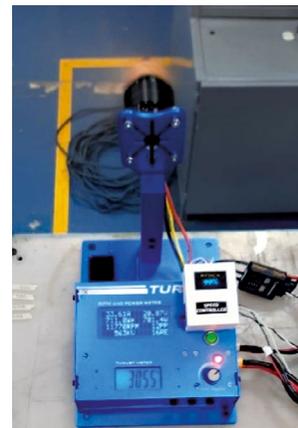


Figura 6. Registro prueba de empuje de 35 N (3569 gf), realizada durante 2 minutos

Fuente: Piñeros (2022).

Como se puede observar, la batería suministra la suficiente energía para garantizar una operación de empuje mínimo en crucero. Sin embargo, el empuje máximo presentado durante la prueba no llegó al empuje máximo requerido de 3569 gf, estando 514 gf por debajo del valor. Teniendo en cuenta que en el manual de operación del UAV el empuje máximo, “*max thrust*”, requerido se encuentra en el rango de 28 N (2855 gf) a 35 N (3569 gf), se demostró que el empuje registrado durante la prueba cumplió con el requerido por el UAV en las fases de vuelo de despegue y ascenso.

### Prueba de descarga de batería

Para la prueba de descarga de la batería, se realizó un montaje con el fin de registrar las variables de potencia,

voltaje y corriente, replicando los consumos de aviónica y motor durante un vuelo.

En una computadora, se ejecutó un script de Python que extrajo los datos de potencia de un *log* de vuelo de la plataforma, con el objetivo de enviarlos secuencialmente en tiempo real a través de un puerto serie a un microcontrolador Atmega328P para la generación de una señal PWM. Esta última fue codificada a PPM con un codificador externo y se adecuó para su conexión a un autopiloto CubePilot, conectado al controlador del motor y a las entradas de lectura de voltaje y corriente.

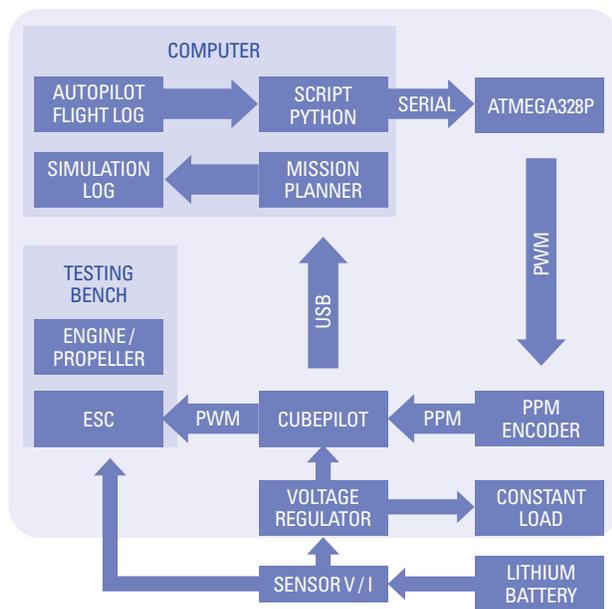


Figura 7. Arquitectura del montaje de pruebas de consumo  
Fuente: Gómez (2022).

Adicionalmente, se empleó el *software* de programación, planificación de misiones y control en tierra del UAV denominado Mission Planner (ArduPilot, 2021b), con la capacidad de registrar y almacenar en el computador todos los datos de telemetría del autopiloto.

## Prueba número 2: Simulación primer vuelo de prueba del UAV

Teniendo el montaje corroborado, se inició la prueba de simulación del primer vuelo del UAV, con el fin de ejecutar una prueba de descarga de la batería simulando una operación en vuelo de 100 minutos, llevando al límite la batería Foxtech de 12 500 mAh.

Para esta prueba, se emplearon tres ventiladores que simularon el consumo de la aviónica del UAV, conectados 5 minutos después de haber iniciado la prueba.

## Observaciones de la prueba

- A los 5 minutos, se conectan tres ventiladores que representan un consumo total de aviónica y comunicaciones de 1,75 A en promedio.
- Debido a que el primer vuelo de la plataforma duró en promedio 56 minutos, durante la prueba se repitió el perfil de vuelo de crucero, corriendo los datos adquiridos del *log*.
- Cuando se presentó el consumo de 9000 mAh, se evidenció un voltaje de 19,99 V en la batería (Foxtech de 12 500 mAh).

Tabla 14.  
Valores registrados durante la prueba de simulación del primer vuelo de prueba del UAV

Valores promedio tomados del Mission Planner y del banco de motor Turnigy											
Parámetro	Minuto 2	Minuto 10	Minuto 20	Minuto 30	Minuto 40	Minuto 50	Minuto 60	Minuto 70	Minuto 80	Minuto 90	Minuto 100
Empuje (gr)	1010	600	610	3	413	350	400	620	533	1006	680
Corriente (A)	8,6	6	5,08	1,67	3	3,32	7,71	6,3	6,58	6,44	5,03
Voltaje (V)	23,08	23,2	22,5	22,92	22,2	21,85	20,75	20,84	20,55	20,08	19,79
RPM	6726	5800	7500	0	3100	4234	6550	5952	5578	6903	6750
Potencia (W)	130	89	92	0	95	48,5	97,8	85	93,4	98,5	78
Consumo (mAh)	280	1300	2500	3448	4493	5396	6425	7457	8288	9189	10105,4

Fuente: Piñeros (2022).

- Cuando se presentó el consumo de 9500 mAh, se evidenció un voltaje de 19,5 V en la batería (Fox-tech de 12 500 mAh).
- Al finalizar la prueba, se conectó la batería al cargador de baterías que registró un porcentaje de carga de 7,8 %.

## Gráfica de consumo eléctrico generado a partir del log de la prueba

Al finalizar la prueba, se procedió a descargar el log registrado por el piloto automático conectado en el montaje del ensayo. Con la ayuda de la página web UAV Log Viewer (ArduPilot, 2021a), se generó la figura 8, donde se graficó el consumo eléctrico de la prueba que fue de máximo 10 171,76 mAh.

Así mismo, se comparó la figura 8 con el log del primer vuelo de prueba del UAV, demostrando que se simuló el mismo comportamiento de consumo.

Sin embargo, los picos de corriente mayores a 32 A presentados en el vuelo de prueba fueron ajustados a máximo 32 A, esto pudo haber ocurrido debido a que el primer vuelo del UAV fue realizado con la batería Tattu de 8000 mAh, con una tasa de descarga máxima de 25 veces su capacidad.

Aun así, se logró corroborar que la capacidad máxima que puede suministrar la batería de 12500 mAh es de 32 A, con un empuje en promedio de 3055 gf, encontrándose en el rango de empuje máximo requerido por el UAV.

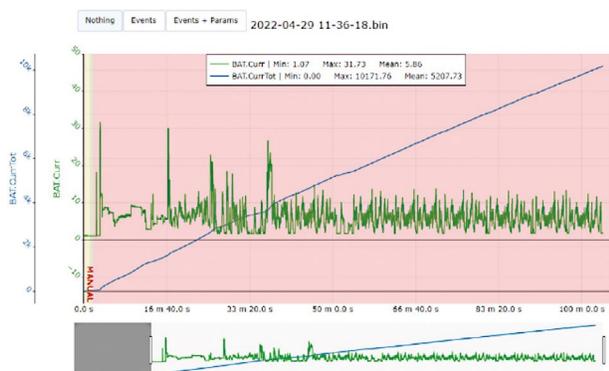


Figura 8. Gráfica log prueba simulación primer vuelo del UAV  
Fuente: Piñeros (2022), en ArduPilot (2021a).

## Prueba número 3: Perfil de consumo durante un vuelo de 68 minutos

Teniendo identificado el perfil de consumos promedio de energía eléctrica del UAV, que se determinó a partir del análisis de los consumos presentados en los vuelos de prueba, se procedió a realizar el montaje para la prueba de perfil de consumo que simula un tiempo de vuelo de 68 minutos, con el propósito de verificar que la batería de 12 500 mAh satisfacía las necesidades de energía eléctrica para una operación en vuelo mayor a 60 minutos.

Para esta prueba, también se emplearon tres ventiladores con el fin de simular el consumo de la aviónica de la plataforma. La prueba duró un total de 70 minutos, debido a que se contempló el tiempo que toma el operador en verificar el estado del UAV y proceder a realizar el apagado de todos sus sistemas cuando ha finalizado el vuelo.

Al comparar los datos del perfil de consumo estimado para una autonomía de 68 minutos con los resultados de la prueba número 3 (tabla 16), se puede ver que los consumos presentados en la simulación de las fases de vuelo con mayor error fueron las de despegue, ascenso y aterrizaje. Esto se debe a que el consumo en estas fases de vuelo varía dependiendo de cómo se programe el ascenso y el descenso de la plataforma. En la mayoría de las misiones, se busca realizar estas fases de vuelo a través de círculos o de forma escalonada con el fin de disminuir el consumo.

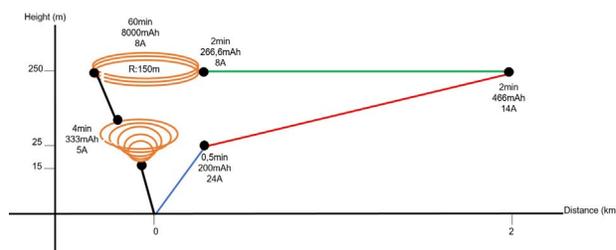


Figura 9. Perfil de consumo eléctrico estimado para una autonomía de vuelo de 68 minutos  
Fuente: Piñeros (2022).

Tabla 15.

Valores registrados durante la ejecución de la prueba número 3

Parámetro	Valores promedio tomados del Mission Planner y el banco de motor Turnigy											
	Minuto 0,5	Minuto 2,5	Minuto 4,5	Minuto 10	Minuto 20	Minuto 30	Minuto 40	Minuto 50	Minuto 60	Minuto 64,5	Minuto 68,5	Minuto 70
Empuje (gr)	2800	1560	858	859	845	883	900	842	806	455	467	459
Corriente (A)	24	14,3	7,71	7,8	7,52	8,16	8,39	8,2	7,95	5,12	5,19	5,17
Voltaje (V)	25,2	22,48	23,36	23	22,44	21,82	21,2	20,81	20,37	20,51	20,47	20,42
RPM	9850	8580	6720	6731	6632	6754	6743	6511	6370	5019	5022	5012
Potencia (W)	456	258	135	136,1	126,2	132,2	134,8	121,1	116,7	62,9	63,6	61,2
Consumo (mAh)	236	716	980	1724	2976	4303	5700	6910	8274	8868	9189	9349

Fuente: Piñeros (2022).

Sin embargo, para el caso del consumo total y el presentado en las fases de crucero, incluyendo el *loiter*, se encuentran errores porcentuales menores a 2%, lo cual permite determinar que el perfil de consumo estimado para una autonomía de 68 minutos representa un perfil de consumo ideal aplicable al UAV.

Tabla 16.

Comparación de datos de consumo estimados versus los registrados durante la prueba número 3

	Ascenso 25m	Ascenso 250m	Crucero	Loiter	Descenso	Total
Datos figura 9 (mAh)	216	400	260	8000	300	9176
Datos tabla 15 (mAh)	236	480	264	7888	321	9189
Diferencia (mAh)	20	80	4	112	21	13
Porcentaje de error (%)	8,4	16,7	1,5	-1,4	6,5	0,14

Fuente: Piñeros (2022).

### Gráfica de consumo eléctrico generado a partir del log de la prueba

Al finalizar la prueba número 3, se procedió a descargar el log registrado por el piloto automático conectado en el montaje de la prueba; y con la ayuda de la página web UAV Log Viewer (ArduPilot, 2021a), se generó la gráfica de consumo eléctrico obtenido. Se encontró un consumo máximo de 9392 mAh y variaciones de corriente que identifican los cambios de fase durante el vuelo.

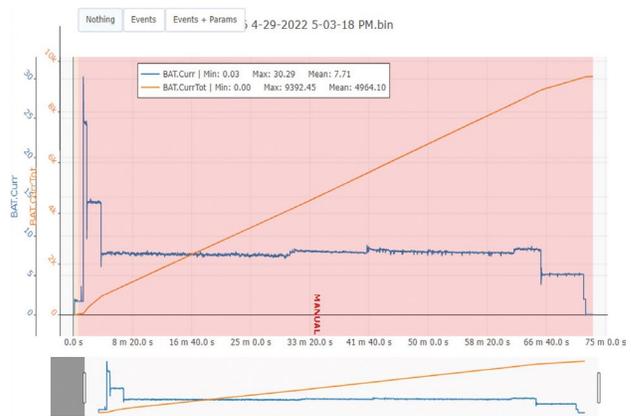


Figura 10. Gráfica log prueba número 3 (Perfil de consumo eléctrico estimado para una autonomía de vuelo de 68 minutos)

Fuente: Piñeros (2022), en ArduPilot (2021a).

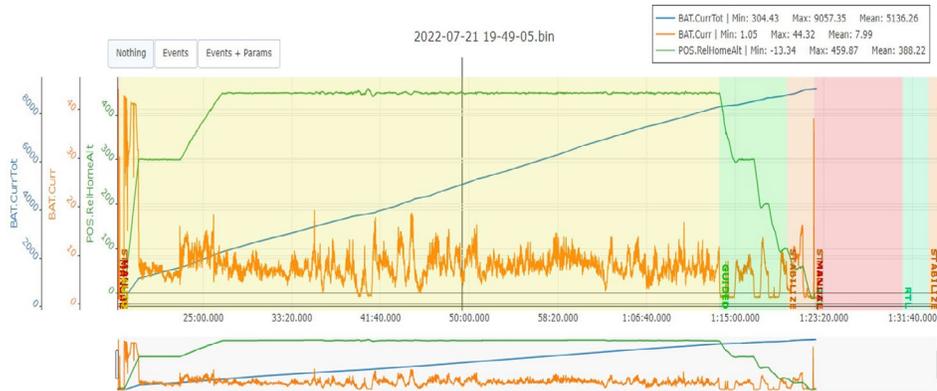
## Validación en vuelo de la batería Foxtech de 12500 mAh

Como fase final de validación, se procedió a realizar una prueba en vuelo del UAV con batería Foxtech de 12500 mAh instalada, con el fin de validar en vuelo el consumo y la autonomía. En la figura 11, se presentan los resultados de la prueba.

En la figura 11, se observa que el UAV logró superar la autonomía de 90 minutos. Se comprobó que la batería suministra la energía eléctrica suficiente para una autonomía de 60 minutos con 20% de seguridad y un consumo máximo de 9057.35 mAh, siendo este menor al obtenido durante la fase de pruebas en tierra (Prueba

Figura 11. Gráfica log prueba autonomía mayor a 90 minutos

Fuente: Piñeros (2022), en ArduPilot (2021a).



número 2: simulación primer vuelo de prueba del UAV – 100 minutos). Este valor se encuentra dentro del rango del consumo eléctrico total calculado para el UAV.

## Conclusiones

Durante el desarrollo de la investigación, se realizó el análisis de cargas eléctricas con el objetivo de definir la cantidad de energía requerida para la operación del UAV de 5 kg empleado como prototipo. Mediante pruebas en banco, se midió la cantidad de carga eléctrica requerida en las fases de mayor consumo energético del UAV (despegue y ascenso), a fin de establecer los requerimientos que debe cumplir la batería para garantizar la autonomía y correcta operación del UAV.

A partir de los requerimientos de la batería, se consiguió seleccionar la opción más adecuada disponible en el mercado actual, en este caso la batería Foxtech de 12 500 mAh. Después de adquirirla, se efectuaron las fases de validación operacional en tierra, simulando los perfiles de consumo eléctrico registrados durante los vuelos de prueba del UAV, con una duración promedio de 50 minutos y donde se empleó una batería de 8000 mAh.

A través de los resultados de las pruebas en tierra, se logró demostrar que la batería Foxtech de 12 500 mAh garantiza una autonomía de vuelo del UAV mayor a 60 minutos con 20 % de factor de seguridad. Así mismo, para un perfil de vuelo de 68 minutos, se pudo comprobar que el consumo promedio es de 9176 mAh, lo cual refleja un perfil ideal del UAV. Sin embargo, se

determina que este perfil de consumo ideal está sujeto a los tipos de operación, las condiciones meteorológicas del lugar donde se realizará el vuelo y la experticia del operador del UAV.

Como validación final, se efectuó una prueba en vuelo con el UAV de 5 kg y se superó la autonomía de 90 minutos, comprobando que la batería Foxtech de 12 500 mAh suministra la energía eléctrica suficiente para una autonomía de 60 minutos con 20 % de seguridad y un consumo máximo de 9057.35 mAh.

Al comparar los resultados de las pruebas en tierra con la prueba en vuelo, se concluye que durante las pruebas en tierra se presentaron consumos eléctricos mayores a los obtenidos en las pruebas en vuelo, esto ocurrió debido a las condiciones atmosféricas que tuvieron lugar en la locación de los ensayos.

De acuerdo con las conclusiones anteriores, durante el desarrollo de la investigación se aplicó la metodología propuesta para la validación de una batería de UAV, teniendo en cuenta la autonomía requerida, a fin de comprobar que esta metodología garantiza la correcta selección de la batería, y su verificación, validación e integración en la plataforma para contemplar la necesidad energética de la aeronave.

## Referencias

Abeywickrama, H. V., Jayawickrama, B. A., He, Y. y Dutkiewicz, E. (2018). *Empirical Power Consumption Model for UAVs* [ponencia]. IEEE 88th Vehicular Technology Conference

- (VTC-Fall). Chicago, Estados Unidos. Agosto 27-30 de 2018. <https://doi.org/10.1109/VTCFall.2018.8690666>
- American Society for Testing and Materials (ASTM). (2013). *Standard Guide for Aircraft Electrical Load and Power Source Capacity Analysis*. <https://www.astm.org/f2490-05e01.html>
- ArduPilot. (2021a). *UAV Log Viewer*. <https://plot.ardupilot.org/#/>
- ArduPilot. (2021b). *Mission Planner Home*. <https://ardupilot.org/planner/>
- Costa, E. F., Souza, D. A., Pinto, V. P., Araújo, M. S., Peixoto, A. M. y Da Costa, E. P. (2019). *Prediction of Lithium-Ion Battery Capacity in UAVs* [ponencia]. 6th International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT), 1865-1869. <https://doi.org/10.1109/CoDIT.2019.8820714>
- Dündar, Ö., Bilici, M. y Ünler, T. (2020). Design and Performance Analyses of a Fixed Wing Battery VTOL UAV. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 23(5), 1182-1193. <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2020.02.002>
- Fernández Delgado, T. (2021). *Estudio para la implementación de sistemas de celdas de combustible en vehículos aéreos no tripulados* (tesis de grado, Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar). Repositorio institucional CUDE. <http://calderon.cud.uvigo.es/handle/123456789/421>
- Foxtech. (2022). *Foxtech 6S 12500 mAh Li-ion Battery*. <https://www.foxtechfpv.com/foxtech-6s-12500mah-li-ion-battery.html>
- Iglesias, R., Lago, A., Nogueiras, A., Martínez-Peñalver, C., Marcos, J., Quintans, C., Moure, M. J. y Valdés, M. D. (2012). *Modelado y simulación de una batería de ion-litio comercial multicelda*. <http://quintans.webs.uvigo.es/documentos/2012-SAAEI-0464-gf-000126.pdf>
- Larin, V., Solomentsev, O., Zaliskyi, M., Shcherban, A., Averianova, Y., Ostroumov, I., Kuzmenko, N., Sushchenko, O. y Bezkorovainyi, Y. (2022). *Prediction of the Final Discharge of the UAV Battery Based on Fuzzy Logic Estimation of Information and Influencing Parameters* [ponencia]. IEEE 3rd KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek). Cracovia, Ucrania. Octubre 3-7 de 2022. <https://doi.org/10.1109/KhPIWeek57572.2022.9916490>
- Lee, D., Zhou, J. y Lin, W. T. (2015). *Autonomous Battery Swapping System for Quadcopter* [ponencia]. International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS). Denver, Estados Unidos. Junio 9-12 de 2015. <https://doi.org/10.1109/ICUAS.2015.7152282>
- Marques, M. (2015). *STANAG 4586 — Standard Interfaces of UAV Control System (UCS) for NATO UAV Interoperability*. <https://www.sto.nato.int/publications/STO%20Educational%20Notes/STO-EN-SCI-271/EN-SCI-271-03.pdf>
- Quintero, V., Che, O., Ching, E., Auciello, O. y De Obladía, E. (2021). Baterías de Ion Litio: características y aplicaciones. *Revista de I+D Tecnológico*, 17(1). <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/339/3392002003/3392002003.pdf>
- Shengnan, L., Qiao, L., Ningyun, L. y Bin, J. (2014). *Real-Time Estimation of Cruise Duration for Electric-Powered Micro-UAVs* [ponencia]. The 26th Chinese Control and Decision Conference (CCDC). Changsha, China. Mayo 31 - junio 2 de 2014. <https://doi.org/10.1109/CCDC.2014.6853091>
- Tattu. (2022). *Tattu Gens Battery*. [https://genstattu.com/search.php?search\\_query=battery](https://genstattu.com/search.php?search_query=battery)
- Thibbotuwawa, A. N. (2018). Energy Consumption in Unmanned Aerial Vehicles: A Review of Energy Consumption Models and Their Relation to the UAV Routing. *Information Systems Architecture and Technology: Proceedings of 39th International Conference on Information Systems Architecture and Technology – ISAT 2018* (J. Świątek, L. Borzemski y Z. Wilimowska, eds.). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-99996-8\\_16](https://doi.org/10.1007/978-3-319-99996-8_16)
- Wei, K., Wu, J., Ma, W. y Li, H. (2019). State of Charge Prediction for UAVs Based on Support Vector Machine. *The Journal of Engineering*, (23). <https://doi.org/10.1049/joe.2018.9201>
- Yan, H., Yang, S.-H., Chen, Y. y Fahmy, S. A. (2021). Optimum Battery Weight for Maximizing Available Energy in UAV-Enabled Wireless Communications. *IEEE Wireless Communications Letters*, 10(7), 1410-1413. <https://doi.org/10.1109/LWC.2021.3069078>
- Zobaa, A. F. y Leuchter, J. (2016). *Batteries Investigations of Small Unmanned Aircraft Vehicles* [ponencia]. 8th IET International Conference on Power Electronics, Machines and Drives (PEMD). Glasgow, Reino Unido. Abril 19-21 de 2016. <https://doi.org/10.1049/cp.2016.0306>

# Diagnóstico del entrenamiento inicial y recurrente de los bomberos aeronáuticos en la Fuerza Aérea Colombiana\*

| Fecha de recibido: 08 de marzo 2023 | Fecha de aprobado: 18 de mayo 2023 |

| Reception date: March 8, 2023 | Approval date: May 18, 2023 |

| Data de recebimento: 8 de março de 2023 | Data de aprovação: 18 de maio de 2023 |

## John Fredy Cocunubo Valbuena

<https://orcid.org/0000-0002-4264-5427>

[jfcocunubov@unavirtual.edu.co](mailto:jfcocunubov@unavirtual.edu.co)

Magíster en Seguridad Operacional

Docente e investigador – Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Colombia

Rol del investigador: teórico y escritura

Grupo de Investigación Praxis Educativa

Master in Operational Safety

Teacher and researcher – Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Colombia

Researcher's role: theorist and writer

Praxis Educativa Research Group

Mestre em Segurança Operacional

Professor e pesquisador – Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Colombia

Papel do pesquisador: teórico e escritor

Grupo de Pesquisa Praxis Educativa

## John Fredy Martínez Umoa

<https://orcid.org/0000-0002-1474-3599>

[John.martinez@aunarvillavicencio.edu.co](mailto:John.martinez@aunarvillavicencio.edu.co)

Magíster en Seguridad Operacional

Docente e investigador – Corporación Universitaria Autónoma de Nariño, Colombia

Rol del investigador: teórico y escritura

Grupo de Investigación Praxis Educativa

Master in Operational Safety

Teacher and researcher – Corporación Universitaria Autónoma de Nariño, Colombia

Researcher's role: theorist and writer

Praxis Educativa Research Group

Mestre em Segurança Operacional

Professor e pesquisador – Corporación Universitaria Autónoma de Nariño, Colombia

Papel do pesquisador: teórico e escritor

Grupo de Pesquisa Praxis Educativa

**Cómo citar este artículo:** Cocunubo Valbuena, J. F. (2023). Diagnóstico del entrenamiento inicial y recurrente de los bomberos aeronáuticos en la Fuerza Aérea Colombiana. *Ciencia y Poder Aéreo*, 18(2), 35-46. <https://doi.org/10.18667/cienciaypoderaereo.779>



## Diagnóstico del entrenamiento inicial y recurrente de los bomberos aeronáuticos en la Fuerza Aérea Colombiana\*

**Resumen:** Con este estudio, se busca realizar un diagnóstico de la condición actual de los programas de entrenamiento inicial y recurrente que se desarrollan con los bomberos aeronáuticos en las diferentes unidades aéreas de la Fuerza Aérea Colombiana. Por medio de un instrumento tipo encuesta, entrevistas semiestructuradas y una revisión documental, se establece un panorama de la instrucción inicial y del entrenamiento continuado que reciben como bomberos de aeropuerto en el entorno militar aeronáutico. Se planteó el desarrollo de una investigación desde el enfoque cualitativo, y el tipo de investigación que busca interpretar la situación actual del entrenamiento de los bomberos es la investigación descriptiva. Entre los resultados se identifica la necesidad de desarrollar un plan de entrenamiento que incluya elementos propios de las operaciones militares aéreas.

**Palabras clave:** aviación; aeropuerto; bomberos; entrenamiento; factores humanos; operaciones aéreas.

## Initial and recurrent training diagnosis of aeronautical firefighters in the Colombian Air Force\*\*

**Abstract:** The purpose of this study is to make a diagnosis of the current condition of the initial and recurrent training programs developed for aeronautical firefighters in the different air units of the Colombian Air Force. By means of a survey type instrument, semi-structured interviews and a documentary review, an overview of the initial and recurrent training they receive as airport firefighters in the aeronautical military environment is established. The development of a qualitative research approach was proposed, and the type of research that seeks to interpret the current situation of firefighters' training is descriptive research. Among the results, the need to develop a training plan that includes elements of military aeronautical operations is identified.

**Keywords:** Aviation; airport; firefighters; training; human factors; air operations.

## Diagnóstico do treinamento inicial e recorrente dos bombeiros aeronáuticos na Força Aérea Colombiana\*\*\*

**Resumo:** O objetivo deste estudo é realizar um diagnóstico da condição atual dos programas de treinamento inicial e periódico desenvolvidos para bombeiros aeronáuticos nas diferentes unidades aéreas da Força Aérea Colombiana. Por meio de um instrumento de pesquisa, de entrevistas semiestructuradas e de uma revisão documental, é estabelecida uma visão geral do treinamento inicial e periódico recebido pelos bombeiros de aeroportos no ambiente militar aeronáutico. Foi proposto o desenvolvimento de uma abordagem de pesquisa qualitativa, e o tipo de pesquisa que busca interpretar a situação atual do treinamento de bombeiros é a pesquisa descritiva. Os resultados identificam a necessidade de desenvolver um plano de treinamento que inclua elementos de operações militares aéreas.

**Palavras-chave:** Aviação; aeroporto; bombeiros; treinamento; fatores humanos; operações aéreas.

\* Artículo de investigación, resultado de trabajo de grado de la Maestría en Seguridad Operacional, Escuela de Postgrados de la Fuerza Aérea Colombiana.

\*\* Research article, result of a master's degree in Operational Safety, Escuela de Postgrados de la Fuerza Aérea Colombiana.

\*\*\* Artículo de investigação, resultado de trabalho de grado de la Maestría en Seguridad Operacional, Escuela de Postgrados de la Fuerza Aérea Colombiana.

## Introducción

Las operaciones aéreas pueden presentar muchos riesgos para las personas en el entorno aeronáutico, por lo que a escala mundial, regional, nacional e institucional se han creado programas para prevenir y disminuir los accidentes aéreos, lo que hace del transporte aéreo uno de los medios más seguros. Sin embargo, si estos programas y procedimientos fallan y ocurre un accidente, los bomberos de aeropuerto son esenciales para generar condiciones de vida y proteger los recursos involucrados.

A pesar de que la probabilidad de emergencias en un aeropuerto es baja, los bomberos profesionales deben estar preparados para atender cualquier eventualidad en las estructuras del aeropuerto o en las aeronaves que operan en él. Hernández (2019) señala que esta baja probabilidad de ocurrencia de un accidente dificulta el desarrollo de las habilidades y destrezas necesarias para atender emergencias, lo cual hace que el entrenamiento continuo de los bomberos de aeropuerto cobre una relevancia especial para su desempeño en situaciones de emergencia.

Los bomberos aeronáuticos están preparados y capacitados para enfrentar emergencias que pueden poner en peligro sus propias vidas mientras intentan salvar a otros. La pregunta es: ¿por qué estos profesionales arriesgarían su vida? Debido a su vocación de servicio, y a su formación y capacitación especializada en esta área (Zahari *et al.*, 2019). Por lo tanto, es esencial contar con un programa de entrenamiento adecuado que cumpla con los estándares internacionales. Cuando se requiere la intervención de los bomberos en las operaciones aéreas, es crucial que la reacción sea adecuada y oportuna, por eso el servicio de salvamento y extinción de incendios tiene como objetivo principal crear condiciones de vida seguras en caso de accidentes o incidentes de aviación, ya sea dentro del aeropuerto o en su zona de influencia (Fuerza Aérea Colombiana [FAC], 2016).

Es fundamental que el programa de entrenamiento para bomberos aeronáuticos, tanto en su etapa inicial como en los entrenamientos periódicos, les

permita realizar una evaluación de riesgos para actuar rápidamente y evitar o mitigar los daños a las tripulaciones, los equipos y las instalaciones. Según la Organización Internacional de Aviación Civil (Oaci, 2018), la capacitación recibida, la eficacia del equipo y la rapidez en la respuesta del personal y el equipo asignados al salvamento y la extinción de incendios son los factores más importantes que influyen en la efectividad del rescate en casos de accidentes aéreos que involucran supervivientes.

El objetivo de la investigación es realizar un diagnóstico de los programas de formación inicial y de entrenamiento recurrente de los bomberos aeronáuticos de la Fuerza Aérea Colombiana (FAC), mediante una revisión de contenido y por medio de instrumentos de recolección de información tipo encuesta, con el fin de obtener información de personas expertas en áreas relacionadas con las operaciones aéreas mediante un instrumento tipo entrevista semiestructurada.

La pregunta que orienta la investigación es: ¿cuál es la situación actual de los programas de formación inicial y de entrenamiento recurrente de los bomberos aeronáuticos de la FAC? Para ayudar a dar respuesta a esta pregunta, la investigación se basa en tres pilares teóricos: la seguridad operacional, la gestión del riesgo y el entrenamiento.

## Marco teórico y conceptual

El entrenamiento de bomberos de aeropuerto es un componente crucial de la seguridad operacional y la gestión del riesgo en las operaciones aéreas. Los bomberos de aeropuerto son responsables de responder a situaciones de emergencia en aeropuertos, incluyendo incendios, derrames de combustible, accidentes aéreos y otros incidentes que puedan poner en peligro la seguridad de las personas y las aeronaves (Oaci, 2018).

En este marco teórico, se abordarán algunos aspectos relevantes en el entrenamiento de bomberos de aeropuerto, incluyendo la importancia del entrenamiento en la seguridad operacional y la gestión del riesgo, los objetivos del entrenamiento, y los

elementos y las técnicas de entrenamiento. La seguridad operacional es un aspecto fundamental de la aviación, y existen muchos autores que han contribuido al desarrollo de este campo.

James Reason es un autor y psicólogo británico conocido por sus contribuciones al campo de la seguridad operacional. En su libro *Gestión de riesgos en accidentes organizacionales*, propone que “la seguridad es un estado en el que el riesgo de lesiones o daños a la salud de las personas, o de daños a la propiedad o al medio ambiente, se reduce a un nivel aceptablemente bajo” (Reason, 1997, p. 29); en el texto *El error humano*, argumenta que: “El error humano es inevitable, pero es posible reducir su frecuencia y sus efectos dañinos” (Reason, 1990, p. 27); y en su publicación *La contribución humana: actos inseguros, accidentes y recuperaciones heroicas*, sostiene que: “Los accidentes a menudo son causados por una serie de eventos o circunstancias que se combinan para producir una situación peligrosa” (Reason, 2008, p. 15).

Tony Kern es un reconocido experto en el rendimiento humano en entornos de alto riesgo, con un enfoque particular en la industria de la aviación. En su obra *Redefining Airmanship*, Kern (1997) argumenta que la seguridad operacional en la aviación es una cuestión de cultura que se basa en el liderazgo, la disciplina, la responsabilidad y el compromiso con la excelencia. Mientras que en su libro *Amenaza azul: por qué errar es humano* analiza que los errores humanos son inevitables y que las organizaciones de aviación deben adoptar un enfoque integral que aborde los factores técnicos y humanos para prevenirlos (Kern, 2011). De igual modo, el autor destaca la importancia de la capacitación, la gestión de los riesgos y la cultura de seguridad en la prevención de los errores humanos.

Sidney Dekker, quien ha realizado importantes contribuciones a la comprensión de los errores y los accidentes en los sistemas complejos, en su libro *The Safety Anarchist: Relying on Human Expertise and Innovation, Reducing Bureaucracy and Compliance* (2017), propone que las regulaciones y las normas no son suficientes para garantizar la seguridad, sino que también se necesita una cultura organizacional que promueva la responsabilidad y la innovación. El autor defiende

que la seguridad operacional debe basarse en la confianza en la experiencia y la creatividad humanas, en lugar de depender exclusivamente de la conformidad con normas y reglas rígidas.

En cuanto a la seguridad operacional y la gestión del riesgo en las operaciones aéreas, se toman en cuenta las normas emitidas por la Oaci, el Convenio de Chicago de 1944 y el Anexo 14 al Convenio sobre Aviación Civil Internacional. Según estos documentos, la capacitación recibida, la eficacia del equipo y la velocidad en la que se pueda movilizar al personal y al equipo asignado para el servicio de salvamento y extinción de incendios (RFF, por sus siglas en inglés) son los factores más críticos que influyen en la capacidad de rescate efectiva en situaciones de accidentes de aviación con sobrevivientes (Oaci, 2018).

La Oaci (2015) emitió otro documento relevante: el *Documento 9137 Parte 1. Salvamento y extinción de incendios*, que incluye en su capítulo 10 los requisitos generales para el despliegue y la operación del servicio RFF. Dicho capítulo se centra en temas como la selección de personal para los servicios RFF, la evaluación de aptitud física y médica para el personal, y el análisis de los recursos necesarios.

En cuanto al Sistema Regional de Cooperación para la Vigilancia de la Seguridad Operacional (SRVSOP), se revisan y analizan las exigencias establecidas en los documentos LAR 139 y LAR 153, los cuales detallan los requisitos que deben cumplir los operadores de aeródromos en cuanto a servicios, equipo e instalaciones del aeródromo. La SRVSOP (2020) se encarga de supervisar el cumplimiento de estos requisitos para garantizar la seguridad operacional en los aeropuertos de la región.

Para el entorno nacional, la reglamentación de la Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil (Aerocivil) ha establecido regulaciones en Colombia para el entrenamiento y la capacitación de bomberos aeronáuticos. El RAC 65-Licencias para personal aeronáutico, Capítulo F, describe los requisitos para obtener la licencia de bombero aeronáutico y establece los requisitos de conocimientos necesarios. En el RAC 14-Aeródromos, aeropuertos y helipuertos, la sección 14.6 se enfoca en la capacitación especializada

en bomberos aeronáuticos, y el Centro de Estudios de Ciencias Aeronáuticas (CEA) es responsable de establecer un programa de instrucción en esta especialidad (Aerocivil, 2020).

Los reglamentos de la Autoridad Aeronáutica de la Aviación de Estado (AAAES) tiene la responsabilidad de regular a través del Reglamento Colombiano de Aviación de Estado (Racae). El Racae 219, referente al Sistema de Gestión de Seguridad Operacional, establece que el principal objetivo del servicio RFF es preservar vidas en caso de accidentes o incidentes que se produzcan en el aeródromo o sus alrededores. El servicio también tiene como objetivo crear y mantener condiciones que permitan la supervivencia, establecer vías de escape para los ocupantes y llevar a cabo el rescate de aquellos que no puedan escapar sin ayuda directa (FAC, 2020)

En 2016, la FAC publicó el *Manual de bomberos aeronáuticos*, que es un documento guía para los bomberos aeronáuticos de la FAC. Este manual establece las condiciones generales para su desempeño y presenta, en su Anexo A, el Programa de Instrucción y Entrenamiento para Bomberos de la FAC. El objetivo de este manual es proporcionar los parámetros necesarios para facilitar la formación y capacitación de los bomberos a través de “esquemas estandarizados, orientados a brindar el apoyo necesario en tierra para que las operaciones aéreas se ejecuten con seguridad y efectividad, de acuerdo con la instrucción y entrenamiento recibidos” (FAC, 2016).

El entrenamiento de bomberos de aeropuerto es un componente crítico de la seguridad operacional y la gestión del riesgo en las operaciones aéreas. Los bomberos son la primera línea de defensa en caso de una emergencia, y su capacidad para responder rápidamente y de manera efectiva puede tener un impacto significativo en el resultado de la situación. El entrenamiento adecuado es esencial para garantizar que los bomberos estén preparados para enfrentar una amplia gama de situaciones de emergencia, y puedan hacerlo de manera segura y eficiente (Oaci, 2015).

Se toma como referente teórico, en relación con la formación y el entrenamiento aeronáutico, a Robert L. Helmreich (1984), quien presenta el concepto de gestión

de recursos de cabina (CRM, por sus siglas en inglés), que se refiere a la utilización efectiva de los recursos disponibles en el avión, incluyendo la tripulación, los sistemas y el equipo. El objetivo del CRM es mejorar la toma de decisiones y la comunicación en la cabina, lo que a su vez mejora la seguridad y el rendimiento. En el libro *Managing Threats to Aviation Safety*, Helmreich (2016) se centra en la identificación y gestión de las amenazas a la seguridad operacional en la aviación, incluyendo los errores humanos, los factores organizacionales y las amenazas externas. Propone una serie de estrategias y técnicas para gestionar estos riesgos y mejorar la seguridad.

Los autores Eduardo Salas, David Maurino y Janis Cannon-Bowers (2015) presentan una revisión detallada de la literatura científica sobre el entrenamiento en equipo y su aplicación en la industria aeronáutica, y revisan algunos de los métodos de entrenamiento en equipo más efectivos, tales como la simulación, el *feedback* y el entrenamiento en ambientes virtuales. Además, discuten la importancia de diseñar programas de entrenamiento en equipo adaptados a necesidades y contextos específicos de la industria aeronáutica. También, se hace énfasis en la necesidad de evaluar regularmente los programas de entrenamiento en equipo para asegurar su efectividad y mejorar continuamente el desempeño de los equipos en el sector aeronáutico.

David Beaty, por su parte, fue un escritor, piloto y psicólogo británico que publicó el texto *La psicología del vuelo*. Este libro presenta los aspectos psicológicos de la aviación, incluyendo el comportamiento de pilotos, pasajeros y controladores de tráfico aéreo. Cubre temas como el estrés, la fatiga, la toma de decisiones y el error humano, y proporciona información sobre cómo estos factores pueden afectar la seguridad de la aviación (Beaty, 1996).

Respecto al entrenamiento, en la investigación se utilizan como guías el Proyecto Educativo de las Fuerzas Armadas, el Sistema Educativo de las Fuerzas Armadas, el Modelo Pedagógico del Sistema Educativo de la FAC, el Manual para el Desarrollo del Potencial Humano y la Capacidad Organizacional y el Manual de Capacitación y Entrenamiento Técnico de la FAC. Estos documentos presentan los elementos que conforman y dirigen el desarrollo de actividades relacionadas con

la enseñanza-aprendizaje, la formación, la capacitación, la instrucción y el entrenamiento, con el fin de orientar a directivos, docentes y estudiantes en los enfoques necesarios para diseñar y llevar a cabo prácticas académicas efectivas (Dirección Académica de Educación Superior [Diaca], 2014).

El entrenamiento de bomberos de aeropuerto debe incluir una combinación de elementos teóricos y prácticos. Los elementos teóricos deben cubrir temas como la identificación y evaluación de los riesgos, los sistemas de extinción de incendios, las técnicas de rescate y evacuación, y la comunicación en situaciones de emergencia específicas para el entorno aeronáutico. Los elementos prácticos deben incluir ejercicios en los que los bomberos puedan aplicar las técnicas y los procedimientos aprendidos en situaciones simuladas de emergencia, utilizando equipos y herramientas de extinción de incendios y de rescate específicos para el entorno aeronáutico (National Fire Protection Association [NFPA], 2017).

Esta investigación utiliza como referencia, en el ámbito del entrenamiento y la actuación de los bomberos aeronáuticos, las normas emitidas por la Asociación Nacional de Protección contra el Fuego (NFPA, por sus siglas en inglés), cuya representante en Colombia es la Organización de Protección contra Incendios (Opci). Además, se toma en cuenta la Asociación Internacional de Capacitación del Servicio de Bomberos (IFSTA, por sus siglas en inglés), cuyo objetivo es mejorar las técnicas de extinción de incendios y la seguridad a través del entrenamiento. También, se consideran los documentos emitidos por la Fuerza Aérea de Estados Unidos (USAF, por sus siglas en inglés), así como las directrices emitidas por la Aerocivil y la FAC.

## Metodología

El diagnóstico de los programas de formación inicial y de entrenamiento recurrente de los bomberos aeronáuticos de la FAC se aborda desde un enfoque cualitativo, ya que permite una exploración en detalle de las experiencias y perspectivas de los actores involucrados en el sistema social definido. El enfoque cualitativo

es flexible y se enfoca en la interpretación de eventos y en el desarrollo de teorías, lo cual es adecuado para explorar la realidad del entrenamiento inicial y recurrente de los bomberos aeronáuticos (Hernández-Sampieri *et al.*, 2014). Los investigadores utilizarán un enfoque de análisis cualitativo para organizar los datos y extraer el significado de las unidades de análisis, lo que dará lugar a la identificación de las categorías necesarias para explicar el fenómeno estudiado.

Según el grado de manipulación de variables, la investigación es no experimental, es decir que se realiza una observación de la situación actual del entrenamiento de los bomberos aeronáuticos en la FAC sin la intervención directa de los investigadores. La población de estudio del presente proyecto será delimitada a los bomberos aeronáuticos de la FAC con un total de 57, y la muestra será de 51 participantes con un nivel de confianza del 95 % y un margen de error del 5 %. Dentro de la estructura de las estaciones de bomberos también se cuenta con soldados que prestan su servicio militar como bomberos aeronáuticos; en promedio se tienen 110 soldados distribuidos en las unidades aéreas, y la muestra será de 87 participantes con un nivel de confianza del 95 % y un margen de error del 5 %.

Para la recolección de información, se diseña un instrumento tipo encuesta, que se aplica a los suboficiales y civiles que se desempeñan en los departamentos de bomberos de las diferentes unidades aéreas. Así mismo, se aplica un instrumento tipo encuesta a los soldados bomberos. Para el instrumento de recolección de información tipo entrevista semiestructurada, que se aplica a expertos en temas aeronáuticos como seguridad operacional, armamento aéreo y aeronaves remotamente tripuladas, la muestra será discreta y se eligen los participantes por su nivel de conocimiento y experiencia en el área requerida.

## Resultados

Durante el análisis de los datos recolectados con el instrumento tipo encuesta, se llevó a cabo una caracterización de la población de los bomberos aeronáuticos

de la FAC, en la que se extrajo la información de los rangos de edades de esta población, y el nivel académico discriminado en estudios de secundaria, técnico, tecnológico, profesional y posgradual.

Para realizar el diagnóstico de la condición actual de los programas de la instrucción inicial y del entrenamiento continuado que reciben como bomberos de aeropuerto en el entorno militar aeronáutico en la FAC, se les aplicó un instrumento tipo encuesta a los suboficiales y civiles que se desempeñan como bomberos aeronáuticos en las diferentes unidades de la FAC.

Con el análisis de los datos recolectados mediante el instrumento tipo encuesta, se hizo una caracterización de la población de los bomberos aeronáuticos de la FAC. En relación con la edad, el 19% se encuentra en un rango de edad de 18 a 30 años, el 30% en un rango de edad de 31 a 40 años, el 36% en un rango de edad de 41 a 50 años y el 15% es mayor de 51 años.

En cuanto a la educación, el 28% de los bomberos tiene un nivel de estudios secundario, el 40% ha cursado estudios técnicos, el 23% ha completado estudios tecnológicos, el 8% cuenta con un título universitario de pregrado y solamente un bombero ha obtenido una especialización.

Respecto al tiempo de servicio como bombero aeronáutico dentro de la FAC, se observa que el 8% de los bomberos ha estado en servicio por menos de dos años, el 11% ha estado en servicio entre dos y cuatro años, el 26% ha estado en servicio entre cinco y diez años, el 30% ha estado en servicio entre once y quince años y el 25% ha estado en servicio por más de dieciséis años.

En la información del tiempo transcurrido desde el último entrenamiento como bombero aeronáutico, se observa que alrededor del 43% recibió algún tipo de reentrenamiento en los últimos dos años, el 23% recibió reentrenamiento hace dos a cuatro años, el 32% recibió reentrenamiento hace cinco a diez años, y solo el 2% no ha recibido reentrenamiento en más de dieciséis años.

Según la encuesta realizada, el 43% de los bomberos opina que no han recibido una formación adecuada para desempeñar las funciones de acuerdo con la normativa vigente. En relación con la información

de si los bomberos han recibido un entrenamiento por un ente aeronáutico certificado, se puede observar que más del 50% de los bomberos aeronáuticos lo han hecho.

Se consulta a los bomberos sobre la importancia de realizar una prueba de aptitud psicofísica recurrente, y se observa que el 78% de ellos considera que es muy importante la frecuencia de este tipo de pruebas para evitar el riesgo en la seguridad del bombero, dadas las condiciones extremas en las que tiene que desempeñarse en caso de un accidente aéreo.

Se consultó a los bomberos sobre si las instalaciones en las unidades son adecuadas para desarrollar las fases prácticas de los entrenamientos recurrentes. El 90% de los bomberos considera que hay las instalaciones adecuadas para realizar los entrenamientos recurrentes en las unidades aéreas. El 83% de los bomberos aeronáuticos considera importante recibir entrenamiento en temas relacionados con armamento aéreo, municiones y explosivos, dadas las características de las aeronaves que operan en la FAC para el desarrollo de las operaciones militares. Las aeronaves están equipadas con sistemas de armamento aéreo, por eso es importante que los bomberos tengan conocimiento de estos sistemas.

En cuanto a la percepción de los bomberos sobre si su formación como bomberos aeronáuticos es suficiente y responde a los requerimientos operacionales de la FAC, el 58% de los bomberos considera que su formación no es suficiente para esto. Con el instrumento tipo encuesta que se aplicó a los soldados que prestan su servicio militar como bomberos por un periodo aproximado de diez meses, se pudo identificar que las características sociodemográficas de esta población son muy homogéneas, con los mismos rangos de edad, niveles de estudio y experiencia.

Dadas las condiciones en que los soldados desarrollan su servicio militar, perciben su desempeño como bomberos de una forma positiva. Las respuestas a las encuestas sobre las condiciones de entrenamiento y desempeño de los soldados como bomberos aeronáuticos confirman esta afirmación, pues las condiciones antes, durante y después del entrenamiento las califican como muy buenas o excelentes. Esta



Este ramificado de palabras le permite al lector visualizar de manera clara y resumida hacia dónde se enfoca cada una de las respuestas dadas en las entrevistas. Este análisis permite identificar los temas abordados en las entrevistas con los expertos. En estas entrevistas, se corroboró la necesidad de un plan de entrenamiento que se ajuste a las necesidades operacionales de la FAC y de que se incluyan temas relacionados con el armamento aéreo y las aeronaves remotamente tripuladas; también, se estableció la urgencia que los bomberos aeronáuticos realicen prácticas recurrentes.

Con la información de las entrevistas realizadas, se construye la figura 2, en la que se pueden identificar las relaciones que se dan entre las diferentes categorías en torno al programa de entrenamiento, así: seguridad operacional, actuación bomberos, entrenamiento bomberos y entrenamiento bomberos externos.

A partir de las entrevistas realizadas a los expertos, se construyó una red semántica que permitió identificar los diferentes códigos y sus interrelaciones. Dentro de esta red, se pudo observar que del programa de entrenamiento se desprenden códigos como el entrenamiento de bomberos, la actuación de los bomberos, el entrenamiento de bomberos externos a la FAC y la seguridad operacional. La importancia de la intervención oportuna de los bomberos aeronáuticos en caso de accidentes aéreos para garantizar la supervivencia de los ocupantes se destaca en el código de ‘actuación bomberos’, que resalta la relevancia de la labor de los bomberos para crear condiciones de vida adecuadas en caso de emergencias.

El código ‘entrenamiento de bomberos’ tiene dos componentes: el entrenamiento inicial y el entrenamiento recurrente. En el entrenamiento inicial, se deben cubrir temas específicos como armamento aéreo,

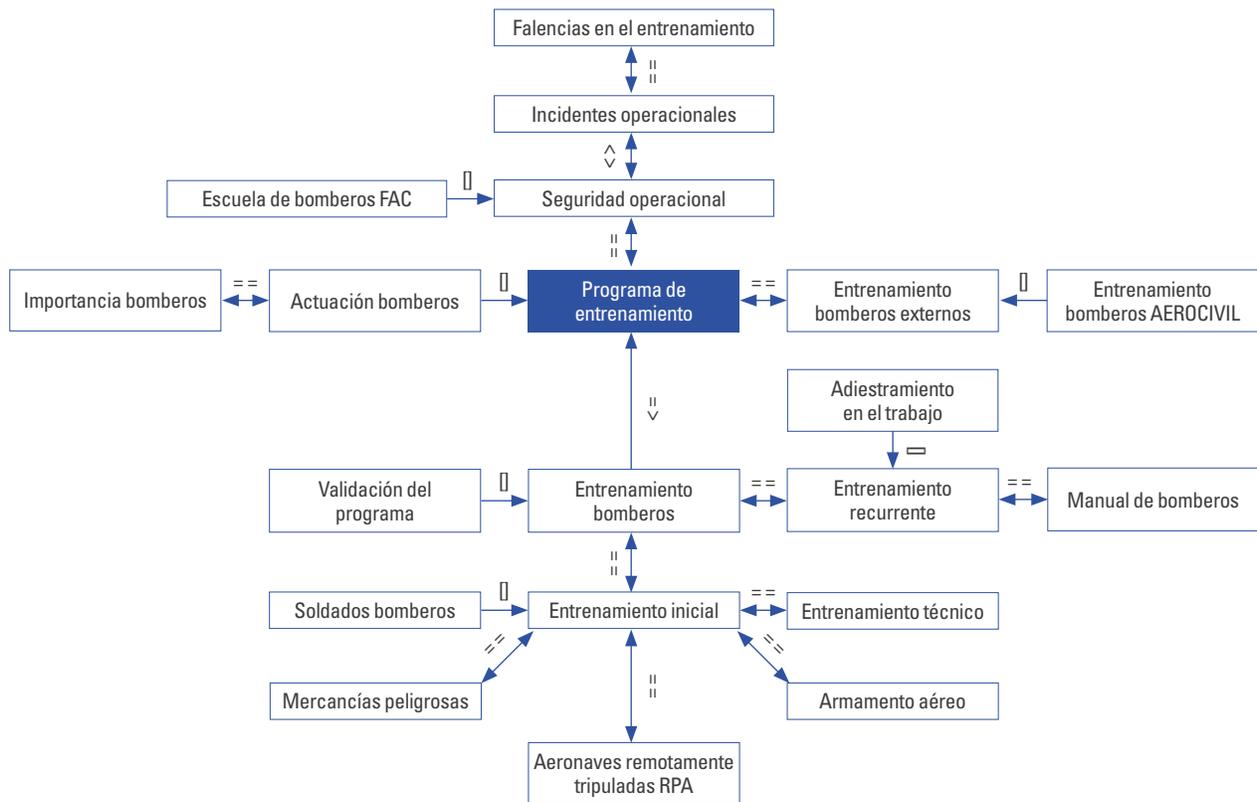


Figura 2. Red semántica entrevista expertos

Fuente: elaboración propia a partir de entrevistas a expertos en el programa de capacitación de bomberos aeronáuticos, mediante el uso del *software* de análisis de datos cualitativos Atlas.ti.

aeronaves remotamente tripuladas y mercancías peligrosas para el personal de bomberos, soldados bomberos y técnicos de líneas de vuelo. El entrenamiento recurrente se enfoca en el adiestramiento en el trabajo, una estrategia efectiva para que los bomberos desarrollen las habilidades necesarias para realizar su trabajo en la FAC.

Según el código ‘entrenamiento de bomberos externos a la FAC’, los expertos recomiendan la creación de un módulo de formación para impartir a los bomberos de la Aerocivil y a los bomberos estructurales de las zonas donde se encuentran las unidades aéreas, con el objetivo de que adquieran los conocimientos necesarios para atender una aeronave militar en caso de emergencia.

Los expertos entrevistados resaltan la importancia de tomar medidas oportunas para garantizar la seguridad operacional. Además, destacan las carencias actuales en la formación inicial y recurrente de los bomberos aeronáuticos. Como solución, se propone la creación de una escuela de bomberos aeronáuticos en una unidad aérea de la FAC, la cual serviría como centro de entrenamiento para los bomberos de la aviación estatal.

## Discusión

Con el diagnóstico del entrenamiento de los bomberos aeronáuticos de las unidades aéreas de la FAC, se encontró que el entrenamiento básico no cumple con un estándar y a veces se lleva a cabo con entidades no aeronáuticas. Cada unidad realiza el entrenamiento de acuerdo con los recursos disponibles. Según el RAC 2 del personal aeronáutico en Colombia, un bombero debe demostrar su habilidad en operaciones en áreas confinadas, simulacros de incendios de aeronaves y otras emergencias en aeropuertos, rescate de pasajeros en tierra y agua, y manejo de contingencias con mercancías peligrosas para obtener su licencia (Aerocivil, 2019).

El diagnóstico realizado mostró que un porcentaje significativo de bomberos aeronáuticos no ha recibido un reentrenamiento adecuado. El 34 % de los bomberos ha pasado entre cinco y diez años sin

ningún tipo de reentrenamiento, mientras que el 23 % ha pasado entre dos y cuatro años sin reentrenamiento. De acuerdo con el Anexo 14 al Convenio sobre Aviación Civil Internacional, se requiere que los bomberos aeronáuticos participen en ejercicios reales de extinción de incendios de forma continua. Estos ejercicios deben corresponder al tipo de aeronave y al tipo de equipo de RFF que se utiliza en el aeropuerto, y deben incluir incendios alimentados por combustibles a presión (Oaci, 2018).

Respecto al reentrenamiento de los bomberos aeronáuticos de la FAC, el *Manual de bomberos aeronáuticos* establece que el “curso recurrente es la instrucción teórica/práctica que se dicta cada dos años a los bomberos, orientado a recordar y actualizar todos los conocimientos requeridos para la operación en las unidades militares aéreas” (FAC, 2016, p. 139).

De acuerdo con los resultados de la investigación, el 90 % de los bomberos aeronáuticos considera que la FAC no cuenta con los escenarios adecuados para los entrenamientos en espacios confinados, rescates en agua y contingencias con mercancías peligrosas, ni tiene un simulador de incendios en aeronaves. Se plantea la discusión si es más viable para la FAC destinar y dotar un espacio de entrenamiento en alguna de las unidades aéreas, donde haya las condiciones adecuadas para las actividades de entrenamiento. Esta opción está sujeta a la inversión de recursos por parte del Estado, pero a su vez podría ser sustentada en el ahorro en la contratación de servicios de entrenamiento y en el retorno a la inversión al ofrecer estos servicios a los bomberos aeronáuticos del país y de la región.

El capítulo 9 del Anexo 14 al Convenio sobre Aviación Civil Internacional se dedica a los servicios RFF en los aeropuertos, y contiene las normas y recomendaciones sobre la capacitación, el entrenamiento y la evaluación de los bomberos aeronáuticos. Además, establece que los escenarios para el entrenamiento deben obedecer al desarrollo de las diferentes habilidades de los bomberos: extinción de incendios en aeronaves, entrenamiento en primeros auxilios, contingencias con mercancías peligrosas, simuladores de humo, simuladores de espacios confinados, entrenamientos con fuego real y entrenamientos en extinción

de incendios en los diferentes componentes de las aeronaves, especialmente en fuselaje, trenes de aterrizaje y paneles de combustible (Oaci, 2018).

El tiempo asignado a las unidades aéreas para realizar el entrenamiento de los soldados que prestan su servicio como bomberos es insuficiente y no permite desarrollar las competencias requeridas para atender una emergencia. Esta situación puede considerarse un riesgo, ya que los soldados bomberos equivalen al 75% del personal disponible para atender las emergencias en la FAC. De acuerdo con un análisis de los diferentes programas de entrenamiento que se llevan en las Fuerzas Armadas de países como Estados Unidos, Ecuador y Chile, se pudo establecer un promedio de diez semanas para desarrollar este entrenamiento, el cual es necesario para impartir los conocimientos teóricos y la realización de prácticas.

## Conclusiones

Se evidenció que el entrenamiento básico de los bomberos aeronáuticos no sigue un estándar uniforme y en algunos casos se realiza con entidades no aeronáuticas. Además, el porcentaje de bomberos que no han recibido un reentrenamiento adecuado es alto.

Según las normas y recomendaciones de la Oaci y la Aerocivil, los bomberos aeronáuticos deben participar en ejercicios reales de extinción de incendios y actualizar sus conocimientos y habilidades cada dos años. Sin embargo, se identificó que muchos bomberos no han recibido el entrenamiento adecuado en el tiempo requerido.

Los escenarios de entrenamiento deben permitir el desarrollo de las diferentes habilidades de los bomberos, enfocados en extinción de incendios en aeronaves, entrenamiento en primeros auxilios, contingencias con mercancías peligrosas, simuladores de humo, simuladores de espacios confinados, etc. Por lo tanto, es importante para la FAC contar con escenarios adecuados de entrenamiento para los bomberos, tales como maquetas, simuladores de aeronaves y simuladores de espacios confinados, que permitan al

bombero experimentar las condiciones de una emergencia real y desenvolverse con seguridad en caso de una emergencia real.

Así mismo, es importante incluir pruebas psicofísicas en el proceso de selección y evaluación de los bomberos aeronáuticos, ya que estas pruebas ayudan a identificar posibles limitaciones físicas o psicológicas que podrían afectar su capacidad para realizar su trabajo de manera segura y eficiente. Además, una prueba de aptitud psicofísica recurrente también podría ser recomendable para garantizar que los bomberos mantengan su capacidad física y mental a lo largo del tiempo y puedan desempeñarse de manera óptima en situaciones de emergencia.

## Referencias

- Beaty, D. (1996). *La psicología del vuelo*. Ariel.
- Dirección Académica de Educación Superior (Diaca). (2014). *Modelo pedagógico del sistema educativo de la Fuerza Aérea Colombiana*. [https://www.fac.mil.co/sites/default/files/linktransparencia/Planeacion/Manuales/manuales2022/moped\\_2017.pdf](https://www.fac.mil.co/sites/default/files/linktransparencia/Planeacion/Manuales/manuales2022/moped_2017.pdf)
- Dekker, S. (2017). *The Safety Anarchist: Relying on Human Expertise and Innovation, Reducing Bureaucracy and Compliance*. CRC Press.
- Fuerza Aérea Colombiana (FAC). (2016). *Manual de bomberos aeronáuticos de la Fuerza Aérea Colombiana. Manual FAC-10.4-O público*. FAC.
- Fuerza Aérea Colombiana (FAC). (2020). *Racae 219. Sistema de Gestión de Seguridad Operacional*. [https://aaaes.fac.mil.co/sites/aaaes/files/AAAES/documentos/racae\\_219\\_sistema\\_de\\_gestion\\_de\\_seguridad\\_operacional.pdf](https://aaaes.fac.mil.co/sites/aaaes/files/AAAES/documentos/racae_219_sistema_de_gestion_de_seguridad_operacional.pdf)
- Helmreich, R. L. (1984). *Cockpit Resource Management*. Academic Press.
- Helmreich, R. L. (2016). *Managing Threats to Aviation Safety*. Elsevier.
- Hernández, E. E. (2019). *Centro de entrenamiento para bomberos aeronáuticos y tripulación de cabina* (tesis de especialización, Universidad Militar Nueva Granada). Repositorio institucional Unimilitar. <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/35796>
- Hernández-Sampieri, R., Fernández, C. y Baptista, M. del P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.ª ed.). McGraw-Hill.

- Kern, T. (1997). *Redefining Airmanship*. McGraw-Hill.
- Kern, T. (2011). *Blue Threat: Why to Err is Inhuman*. McGraw-Hill.
- National Fire Protection Association (NFPA). (2017). *NFPA 1003. Airport Fire Fighter Professional Qualifications*. NFPA.
- Organización de Aviación Civil Internacional (OACI). (2015). *Doc 9137-AN/898. Manual de servicios de aeropuertos. Parte I: Salvamento y extinción de incendios* (4.ª ed.). Oaci. <https://bomberoseuskadi.com/wp-content/uploads/2020/02/OACI91372015.pdf>
- Organización de Aviación Civil Internacional (OACI). (2016). *Anexo 14 al Convenio sobre Aviación Civil Internacional. Aeródromos* (7.ª ed.). <http://www.anac.gov.ar/anac/web/uploads/normativa/anexos-oaci/anexo-14-vol-i.pdf>
- Reason, J. (1990). *Human Error*. Cambridge University Press.
- Reason, J. (1997). *Managing the Risks of Organizational Accidents*. Ashgate Publishing.
- Reason, J. (2008). *The Human Contribution: Unsafe Acts, Accidents and Heroic Recoveries*. Ashgate Publishing.
- Romero-Pérez, I., Alarcón-Vásquez, Y. y García-Jiménez, R. (2018). Leximetría: enfoque aplicado a la redefinición de conceptos e identificación de unidades temáticas. *Biblios: Revista Electrónica de Bibliotecología, Archivología y Museología*, (71), 68-80. <https://doi.org/10.5195/biblios.2018.466>
- Salas, E., Maurino, D. E. y Cannon-Bowers, J. A. (2015). Team Training and its Application to Aviation. *The Handbook of Aviation Human Factors* (E. Salas, D. Maurino y J. A. Cannon-Bowers, eds.; 2.ª ed.; pp. 385-404). CRC Press.
- Sistema Regional de Cooperación para la Vigilancia de la Seguridad Operacional (SRVSO). (2020). *Reglamento Aeronáutico Latinoamericano. LAR 153 Operación de aeródromos*. <https://www.srvsop.aero/site/wp-content/uploads/2017/04/LAR-153-Enmienda-7-1.pdf>
- Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil (Aerocivil). (2019). *RAC 2 Personal aeronáutico*. <https://www.aerocivil.gov.co/normatividad/RAC/RAC%20%202%20-%20%20Personal%20Aeron%C3%A1utico.pdf>
- Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil (Aerocivil). (2020). *RAC 14 Aeródromos, aeropuertos y helipuertos*. <https://www.aerocivil.gov.co/normatividad/RAC/RAC%20%2014%20-%20Aer%C3%B3dromos%20%20Aeropuertos%20%20y%20%20Helipuertos.pdf>
- Zahari, A. S. M., Mahmud, Y. H. y Baniamin, R. M. R. (2019). Factors Affecting Job Satisfaction: A Case Study at Fire and Rescue Department of Malaysia Terengganu FRDMT Fire Fighters. *International Journal of Economics and Management*, 1(3), 24-39. <https://www.neliti.com/publications/297441/factors-affecting-job-satisfaction-a-case-study-at-fire-and-rescue-department-of>

# Implementación de una maleta electrónica de vuelo para visualizar un sistema FMS aeronave prototipo Skiron

Fecha de recibido: 27 de octubre 2022	Fecha de aprobado: 30 de abril 2023
Reception date: October 27, 2022	Approval date: April 30, 2023
Data de recebimento: 27 de outubro de 2022	Data de aprovação: 30 de abril de 2023

## Yeison Manuel Montoya Lemus

<https://orcid.org/0000-0002-3068-2335>  
 ymontoya@usbog.edu.co

Magíster en Ingeniería

Docente e investigador – Universidad de San Buenaventura, Colombia  
 Rol del investigador: teórico y escritura  
 Grupo de Investigación AeroTech

Master in Engineering

Professor and researcher – Universidad de San Buenaventura, Colombia  
 Researcher's role: theoretical and writing  
 AeroTech Research Group

Mestre em Engenharia

Professor e pesquisador – Universidad de San Buenaventura, Colombia  
 Papel do pesquisador: teórico e escritor  
 Grupo de Pesquisa AeroTech

## José Daniel Gómez Romero

<https://orcid.org/0000-0001-6528-3951>  
 jdgomezr@academia.usbog.edu.co

Estudiante de Ingeniería Aeronáutica

Universidad de San Buenaventura, Colombia  
 Rol del investigador: teórico y escritura

Aeronautical Engineering Student

San Buenaventura University, Colombia  
 Researcher's role: theoretical and writing

Estudante de Engenharia Aeronáutica

Universidade San Buenaventura, Colombia  
 Papel do pesquisador: teórico e escrito

## Mateo Campos Casallas

<https://orcid.org/0000-0001-9587-770X>  
 mcamposc@academia.usbog.edu.co

Estudiante de Ingeniería Aeronáutica

Universidad de San Buenaventura, Colombia  
 Rol del investigador: teórico y escritura

Aeronautical Engineering Student

San Buenaventura University, Colombia  
 Researcher's role: theoretical and writing

Estudante de Engenharia Aeronáutica

Universidade San Buenaventura, Colombia  
 Papel do pesquisador: teórico e escrito

## Edgar José Martínez Montoya

<https://orcid.org/0000-0001-7635-3599>  
 ejmartinezm@academia.usbog.edu.co

Estudiante de Ingeniería Aeronáutica

Universidad de San Buenaventura, Colombia  
 Rol del investigador: teórico y escritura

Aeronautical Engineering Student

San Buenaventura University, Colombia  
 Researcher's role: theoretical and writing

Estudante de Engenharia Aeronáutica

Universidade San Buenaventura, Colombia  
 Papel do pesquisador: teórico e escrito

**Cómo citar este artículo:** Montoya Lemus, Y. M., Gómez Romero, J. D., Campos Casallas, M. y Martínez Montoya, E. J. (2023). Implementación de una maleta electrónica de vuelo para visualizar un sistema FMS aeronave prototipo Skiron. *Ciencia y Poder Aéreo*, 18(2), 47-66. <https://doi.org/10.18667/cienciaypoderareero.768>



## Implementación de una maleta electrónica de vuelo para visualizar un sistema FMS aeronave prototipo Skiron

**Resumen:** Este artículo presenta una aplicación práctica de la construcción y simulación de una interfaz de visualización para un monitor de datos de vuelo. El ejercicio tiene un enfoque analítico-sintético y se ha llevado a cabo en la aeronave prototipo Skiron-usb, diseñada por la Universidad de San Buenaventura, con el fin de complementar la taxonomía de los instrumentos de aviónica en cabina mediante la implementación de maletas electrónicas de vuelo. La inclusión del sistema se ha logrado a partir de la determinación de los parámetros tecnológicos necesarios para su integración en el futuro. Para ello, se ha definido el sistema de datos de vuelo en función de las condiciones y misiones de la aeronave, estableciendo la base de intercomunicación a través de un arreglo de circuitos entre una placa Arduino UNO y la plataforma Stewart, controlados por un *joystick*. En función de la transmisión de datos y su lectura, se ha propuesto la herramienta visualizadora adecuada. Como resultado del estudio académico, se han identificado los parámetros de actitud en relación con la fase de vuelo desarrollada en el vehículo aéreo Skiron, un modelo Conmute multipropósito según especificaciones de diseño (FAR 23, categoría transporte STOL).

**Palabras clave:** aeronave; Arduino; aviónica; FMS; EFB; plataforma Stewart.

## Implementation of an electronic flight case to visualize an FMS system in a Skiron prototype aircraft

**Abstract:** This paper presents a practical application of the construction and simulation of a display interface for a flight data monitor. The exercise has an analytical-synthetic approach and has been carried out on the Skiron-usb prototype aircraft, designed by the University of San Buenaventura, in order to complement the taxonomy of avionics instruments in the cockpit through the implementation of electronic flight suitcases. The inclusion of the system has been achieved by determining the technological parameters necessary for its integration in the future. To this end, the flight data system has been defined according to the conditions and missions of the aircraft, establishing the basis of intercommunication through an arrangement of circuits between an Arduino UNO board and the Stewart platform, controlled by a joystick. Depending on the data transmission and readout, the appropriate display tool has been proposed. As a result of the academic study, the attitude parameters have been identified in relation to the flight phase developed in the Skiron air vehicle, a Conmute multipurpose model according to design specifications (FAR 23, transport category STOL).

**Keywords:** Aircraft; arduino; avionics; FMS; EFB; Stewart platform.

## Implementação de um caso de voo eletrônico para visualizar um sistema FMS num protótipo de aeronave Skiron

**Resumo:** Este artigo apresenta uma aplicação prática da construção e simulação de uma interface de exibição para um monitor de dados de voo. O exercício tem uma abordagem analítico-sintética e foi realizado na aeronave protótipo Skiron-usb, projetada pela Universidade de San Buenaventura, a fim de complementar a taxonomia dos instrumentos aviônicos na cabine de comando por meio da implementação de malas eletrônicas de voo. A inclusão do sistema foi realizada por meio da determinação dos parâmetros tecnológicos necessários para sua futura integração. Para isso, o sistema de dados de voo foi definido de acordo com as condições e missões da aeronave, estabelecendo a base para a intercomunicação por meio de um arranjo de circuitos entre uma placa Arduino UNO e a plataforma Stewart, controlada por um *joystick*. Dependendo da transmissão e da leitura dos dados, foi proposta a ferramenta de exibição adequada. Como resultado do estudo acadêmico, os parâmetros de atitude foram identificados em relação à fase de voo desenvolvida no veículo aéreo Skiron, um modelo multiuso Conmute de acordo com as especificações do projeto (FAR 23, categoria de transporte STOL).

**Palavras-chave:** Aeronave; Arduino; aviônica; FMS; EFB; plataforma Stewart.

## Introducción

El Departamento de Transporte de Estados Unidos establece que la incorporación de sistemas FDM-EFB en la cabina cumple numerosas misiones de aviónica y da lugar a la innovación tecnológica (Federal Aviation Administration [FAA], 2022). Además, estos elementos notifican posibles acciones de riesgo que puedan manifestarse durante un vuelo, garantizando la efectividad de la gestión de seguridad operacional (Fuerza Aérea Colombiana [FAC], 2018). El informe de servicios asignado al aviador debe formalizarse utilizando un *software* que interprete y ejecute trabajos precisos, operado a través de sucesiones lógicas, lo cual es posible gracias a un dispositivo denominado Electronic Flight Bag (EFB). La cubierta que envuelve este artefacto se conoce como Flight Data Monitoring (FDM).

En este orden de ideas, los parámetros de tecnología establecidos y la documentación pertinente a la integración del equipo a bordo de la aeronave Skiron proporcionarán la respectiva visualización y desarrollo del sistema FDM-EFB mediante una interfaz virtual. El tipo de metodología a utilizar es de carácter analítico-sintético: se descompone el tema en fragmentos reducidos que logran identificar errores e inconvenientes presentados (análisis); y a partir de cada fragmento integrado, se construye una visión global sólida del proyecto para dar solución a la problemática planteada (síntesis).

En primer lugar, se deben representar las condiciones y misiones que tendrá la aeronave Skiron, de modo que se pueda definir el sistema de datos de vuelo que almacene, guíe, adapte y transcriba señales analógicas, discretas y digitales. A partir de esto, se deberá designar la infraestructura de comunicación de la unidad de adquisición de datos, seleccionando el tipo de transmisión de datos que registre y almacene los datos de vuelo. Por consiguiente, se prevé proyectar las condiciones designadas del avión según la lectura de datos, por lo cual la herramienta tecnológica visualizadora deberá ser la más adecuada posible. Todo lo relacionado con esto debe llevarse a cabo mediante un proceso de ingeniería y sus etapas, como se muestra en la figura 1. La integración del sistema EFB en el esquema presentado está ubicada entre las redes conectadas por cables (Wireless Ground Link) y los servicios de navegación disponibles (Cellular Service Provider).

A grandes rasgos, se establecen tres objetivos específicos: delimitar el sistema de transmisión, identificar la web gráfica adecuada y especificar los procedimientos de conexión. Al delimitar el sistema de transmisión de datos, se presenta el desafío de identificar con precisión las necesidades de los pilotos, por lo que el *software* y el *hardware* deben ser adecuados en función de esto. En concordancia con la literatura existente sobre la aeronave prototipo Skiron, se abordan los alcances y las exigencias de cada configuración analizada.

Una vez definidas las características de cada perfil de misión, la selección del *software* y el *hardware* se

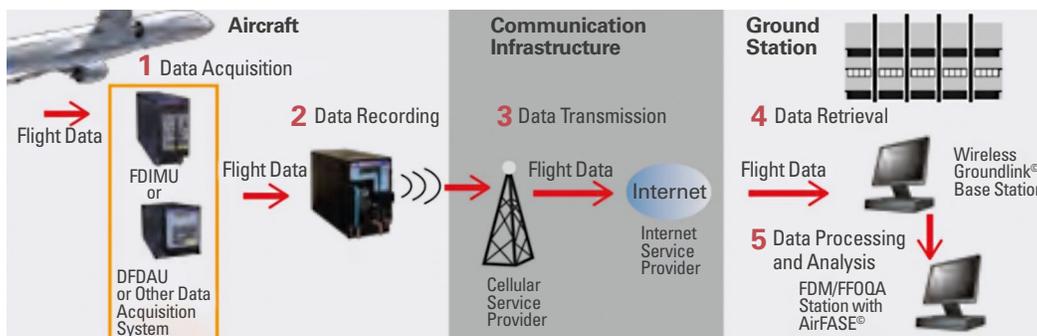


Figura 1. Fases de desarrollo para un sistema FDM  
Fuente: tomado de Delhom (2014).

convierte en otro reto, ya que existen diversas aplicaciones, programas integrados, plataformas y dispositivos de FDM en el mercado, por lo cual se requiere de una investigación exhaustiva de ambos elementos que se adapten a las necesidades de la aeronave, considerando factores de compatibilidad, facilidad de uso y estándares de seguridad.

Por otro lado, identificar la web gráfica adecuada resulta complejo en términos de usabilidad, adaptabilidad, integración con los sistemas a bordo de la aeronave y certificación. Se debe considerar que la interfaz debe ser simple e intuitiva, lo cual presenta una problemática debido a la cantidad de información que se maneja en el entorno aéreo. La solución a esto puede darse realizando futuras pruebas con usuarios reales que garanticen la facilidad de uso. En concordancia con lo anterior, la interfaz debe ser capaz de adaptarse a diferentes situaciones y requisitos de los pilotos, por lo que un trabajo futuro podría ser ofrecer opciones de personalización y configuración para los usuarios.

Por último, especificar los procedimientos de conexión muestra problemáticas de ajustes y tolerancias en cabina, mantenimiento y requisitos de certificación. El sistema debe ser posicionado de manera que no obstruya la visión o interfiera con las funciones que se llevan a cabo en la aeronave. Para esto, se proporcionará un plano que demuestre la localización adecuada del sistema. Adicionalmente, los sistemas deben ser compatibles con los sistemas de comunicación y de navegación, y su diseño debe ser de fácil mantenimiento, lo cual implica un desafío en la forma del sistema que cumpla con los requisitos de certificación establecidos por las autoridades reguladoras. Debido a esto, se exponen algunos protocolos de comunicación y circulares que rigen a la FAA para garantizar la seguridad y la fiabilidad.

## Diseño metodológico

Esta sección explica la estrategia de trabajo enfocada en la implementación de una maleta electrónica de vuelo (Electronic Flight Bag-EFB) para visualizar un

sistema de gestión de vuelo (Flight Management System-FMS) en la aeronave prototipo Skiron. Dado que se trata de un avance científico, se presentará la organización del trabajo en forma de un diagrama de flujo para definir la red de comunicación del sistema, facilitar el intercambio de información mediante un programa y proporcionar un apartado que permita el uso y la integración del sistema en la aeronave (ver figura 2).

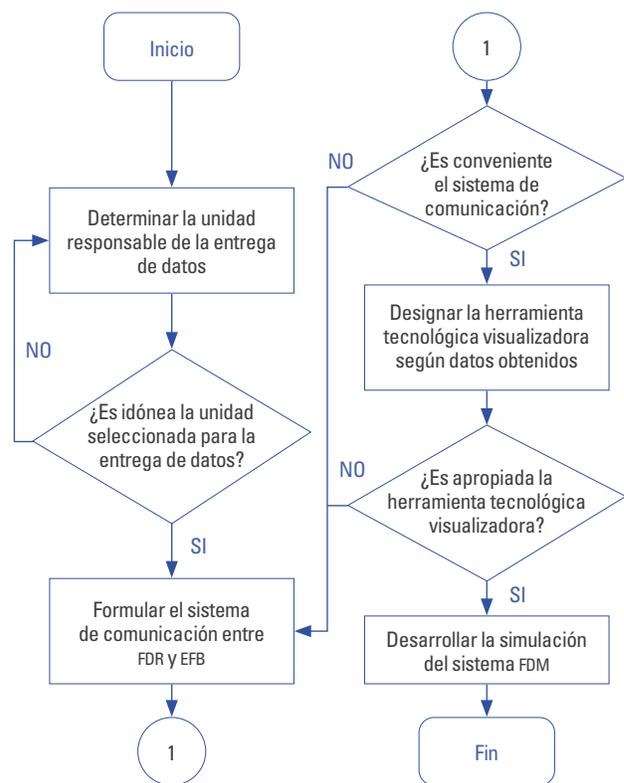


Figura 2. Diagrama de flujo orientado a la organización del trabajo  
Fuente: elaboración propia.

La propuesta presentada por la Universidad de San Buenaventura, sede Bogotá, ganó la competencia de diseño general y preliminar de una aeronave STOL en el marco del Seminario Aeronáutico y Espacial de la Feria Aeronáutica Internacional celebrada en Rionegro, Antioquia, en julio de 2019 (FAC, 2018). A pesar de esto, los informes del prototipo de aeronave Skiron indican que falta un instrumento de aviónica

capaz de codificar parámetros operativos para una maleta electrónica simulada y modelada con el fin de monitorear los datos de vuelo en misiones como reabastecimiento, carga, extinción de incendios y ambulancia aérea. La solicitud presentada para el concurso solo incluyó estructuras reguladas por las directrices MIL-STD-1553 y MIL-STD-1773 para separar los instrumentos de aviónica que clasificarían y acoplarían provisionalmente a brigadas militares e intervenciones civiles (FAC, 2018). Sin embargo, estas normas no permiten la conexión de un EFB al bus de datos, debido al tipo de red que se utiliza y al registro limitado de datos que se puede almacenar

Considerando las restricciones de la FAC para un avión multipropósito tipo Commuter que pueda ingresar a áreas remotas con condiciones de pista condicionadas o no condicionadas, similar al CASA 212, y realizar numerosos vuelos cortos para realizar tareas como reabastecimiento de combustible, transporte de carga, extinción de incendios y ambulancia aérea, se ha modelado un recorrido de nueve fases que se detallan en la figura 3. Durante este recorrido, la aeronave realiza un rodaje en una pista de asfalto “taxiway” (fase 1), seguido del despegue y ascenso (fases 2 y 3), luego el vuelo en crucero (fase 4) que permitirá maniobras de despliegue de tropas (fase 5.1) o carga una vez alcanzado el techo de servicio máximo (fase 5). Después del vuelo en crucero (fase 6), se realiza un descenso controlado (fase 7) que lleva al aterrizaje temporal para el estacionamiento y la recirculación en tierra del vehículo (fase 8). Por último, se lleva a cabo el apagado total (fase 9).

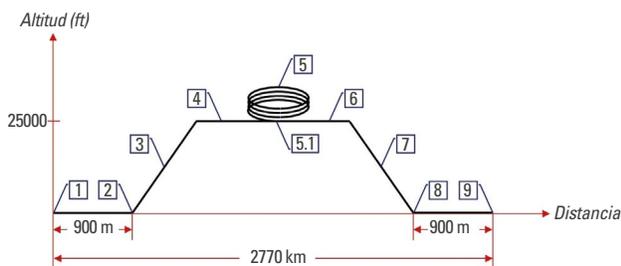


Figura 3. Plan de vuelo diseñado para la aeronave Skiron  
Fuente: elaboración propia.

Para asegurar un desempeño óptimo en términos de velocidad, localización, eficiencia y seguridad en vuelo, se optó por implementar el sistema CDU-7000 como FMS (Flight Management System) para llevar a cabo las tareas requeridas durante los vuelos, tal como se muestra en la figura 4. Con el fin de mejorar aún más la operatividad, Rockwell Collins ha integrado un conjunto Proline 21 con interfaz ADS-B (Automatic Dependent Surveillance-Broadcast) para monitorear y reportar el tráfico aéreo en tiempo real. La posición de la aeronave es determinada por sistemas de navegación satelital y transmitida mediante radiodifusión a una estación receptora (Wang *et al.*, 2020).



Figura 4. CDU-7000 de Rockwell Collins. Sistema básico ADS-B  
Fuente: tomado de Southeast Aerospace (2008).

Existen programas de seguridad, como el FOQA (Flight Operation Quality Assurance), que combinan la información de los registros de vuelo con otras fuentes y experiencias operacionales para mejorar la estabilidad operativa, la eficacia del entrenamiento, los métodos operativos, los métodos de mantenimiento e ingeniería, así como el control del tráfico aéreo. Según la FAA (Riggins, 2022), los datos se enrutan a un registrador de datos de vuelo, también conocido como Flight Data Recorder (FDR), para registrar parámetros específicos de rendimiento de la aeronave. El propósito del FDR es recopilar y registrar datos de una variedad de sensores de la aeronave en un medio diseñado para sobrevivir a un accidente, según lo establecido por la FAA (2010).

La Universidad de Dhaka ha publicado una investigación que detalla las fases operativas de los sistemas

de detección y el *hardware* necesario para recopilar y almacenar los datos obtenidos (Sarker *et al.*, 2016). El enfoque de la investigación es mejorar el acceso a los datos de vuelo mediante el diseño de un sistema conceptual rentable que se adapte a vehículos aéreos no tripulados (UAV-Unmanned Aircraft Vehicle), y se muestra una clara optimización en el proceso de diseño.

El diagrama presenta y describe los componentes principales del sistema FDAS (Flight Data Acquisition System), que utiliza un *software* para registrar los resultados finales en un formato de plano, a partir de la conversión de entradas analógicas en salidas digitales. Mediante el uso de sensores, es posible convertir los eventos naturales en señales digitales, ya sea con una salida de corriente o analógica, de modo que las señales filtradas y amplificadas se ajustan para que los datos adquiridos sean recibidos por el *hardware*. Todo el proceso de ingeniería se ilustra en la figura 5 (Sarker *et al.*, 2016).

Es importante mencionar que el término *hardware* se refiere al conjunto de componentes físicos que conforman un dispositivo electrónico, mientras que el término *software* se refiere al conjunto de programas y datos que permiten la ejecución de distintas tareas en un sistema computacional. El *hardware* es lo tangible del sistema, mientras que el *software* es lo intangible, pero ambos son fundamentales para el funcionamiento adecuado del dispositivo.

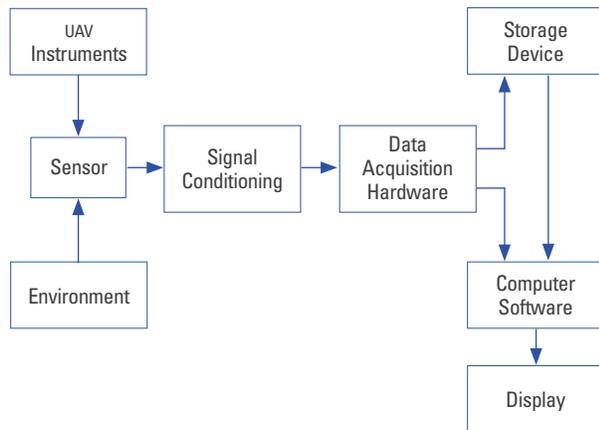


Figura 5. Esquema de datos de vuelo según su adquisición  
Fuente: tomado de Sarker *et al.* (2016).

Para garantizar la ubicación exacta del avión, es fundamental utilizar un emisor GPS y de localización. La FAA solo permite el uso de sistemas de posicionamiento global en dispositivos electrónicos de vuelo si el *software* que se utiliza cumple con los requisitos de seguridad establecidos en la norma AC 120-76B. Este documento establece las directrices de certificación, aeronavegabilidad y uso operacional del EFB, que incluyen la documentación, la funcionalidad y la interoperabilidad del dispositivo. Además, se describen pruebas de interferencia, rendimiento e integridad del sistema para garantizar el cumplimiento del *software* (FAA, 2012).

La imagen de la figura 5 presenta una evaluación de costos razonable en comparación con los estándares habituales de fabricación, lo cual cumple con el objetivo principal de la investigación. Además, se ha incorporado un microcontrolador equipado con diversos tipos de sensores que permiten detectar patrones de movimiento rotativo, aerodinámica, dirección y fuerza magnética en el diseño conceptual del sistema FDA (consulte la figura 6).

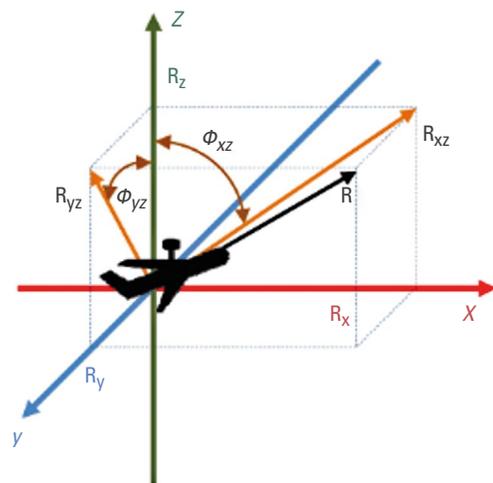


Figura 6. Marco de referencia de tres ejes para representar la velocidad de balanceo (*roll*), cabeceo (*pitch*) y guiñada (*yaw*)  
Fuente: tomado de Sarker *et al.* (2016).

Las empresas aéreas y aeroespaciales han desarrollado unidades de gestión e interconexión de datos de vuelo, conocidas como Flight Data Interphase

and Management Units (FDIMU). Estas unidades tienen dos funciones principales: el procesamiento de los parámetros digitales y discretos para que el DMU (Data Management Unit) pueda convertirlos en formato numérico, que a su vez es utilizado por el QAR (Quick Access Recorder), el DFDR (Digital Flight Data Recorder) y el DAR (Digital AIDS Recorder) (FAC, 21 de junio de 2018). En la figura 7, se puede apreciar una representación del sistema.



Figura 7. Sistema Flight Data Interphase Management Unit (FDIMU)  
Fuente: tomado de FAC (21 de junio de 2018).

Aquí, se presentan los Digital Flight Data Acquisition Unit (DFDAU), que funcionan como sistemas integrados para combinar las funciones de grabación y adquisición de datos mediante un Sistema de Monitoreo de la Condición de la Aeronave (ACMS-Aircraft Condition Monitoring System). Como se muestra en la figura 8, este sistema se especializa en proporcionar soluciones estandarizadas de *hardware* y *software* para la gestión de datos de aeronaves, llevada a cabo en un registrador PCMCIA interno (Montgomery, 2000). De esta manera, los sistemas de *software* ACMS de la DFDAU presentan una alta flexibilidad, lo cual permite a los usuarios definir los parámetros e informes necesarios para el mantenimiento y la supervisión de la eficiencia operativa de los datos de vuelo. Además, suministran un flujo continuo de datos digitales que permiten la detección, el monitoreo y el registro de fallos internos y externos del sistema, como lo destaca Montgomery (2000).



Figura 8. Digital Flight Data Acquisition Unit (DFDAU)  
Fuente: tomado de Montgomery (2000).

La FDAU es una unidad encargada de recibir y procesar diversos parámetros (discretos, analógicos y digitales), provenientes de los sensores y los sistemas de aviónica de la aeronave, para luego enviarlos al registrador de datos de vuelo, conocido como FDR-Flight Data Recorder. Si se instala en conjunto con un Quick Access Recorder (QAR), la información de la FDAU se transfiere al FDR a través de marcos de datos específicos que dependen del fabricante de la aeronave. Actualmente, hay una tendencia hacia la integración de las funciones de la FDAU en el *software* de otros componentes del sistema de la aeronave, como en el caso de los registradores de vuelo mejorados o EAFR-Enhanced Airborne Flight Recorder (FAA, 2017). Estos dispositivos se pueden adquirir mediante un APM 2.3 “ArduPilot”, un sistema de piloto automático de código abierto que permite controlar vehículos y naves para convertirlos en aparatos autónomos capaces de realizar misiones GPS programadas con Waypoints. La placa del ArduPilot incluye un barómetro con tres ejes para el acelerómetro y tres ejes para el giroscopio, y es compatible con el sistema Arduino.

Estudios recientes realizados por la Universidad Santo Tomás demuestran que es posible determinar la disposición y elevación real de un vehículo aéreo utilizando datos de aceleración y giroscopio adquiridos. Esto se logra mediante la implementación de un detector con una sucesión de cálculos que interpreta los dígitos medidos del GPS para anticipar los resultados de trayectoria, posición y aceleración. Como resultado, se puede obtener una representación gráfica de

la aeronave en tiempo real a través del portal web IoT. Para ello, es necesario verificar el fichero del *router* inalámbrico RTAMS (Sistema de Monitoreo de Aeronaves en Tiempo Real, por sus siglas en inglés), el cual se basa en un diseño y prototipo RPAS, protocolo de comunicación y obtención de datos (Awazacko, 2021). La configuración del sistema se muestra en la figura 9.

El informe consideró varios protocolos de comunicación para garantizar un sistema de monitoreo de datos de vuelo en tiempo real, como XBEE, LORA y SIGFOX, entre otros. Debido a que el rango de transmisión de frecuencias era muy alto (VHF), se consideró que el protocolo de comunicación ideal era el internet satelital. Para obtener los datos de vuelo, se optó por el sistema ACARS (Aircraft Communication Addressing and Reporting System), que permite el intercambio de datos por medio de una red digital-terrestre. De esta manera, se pudo registrar en tiempo real el desempeño de los aeromodelos Apprentice 1500 y Renager 1600 (Awazacko, 2021).

Para la monitorización de los datos de vuelo de las aeronaves, se empleó un microcontrolador que se encargó de manejar los datos recibidos durante la trayectoria de vuelo establecida. A fin de visualizar los resultados en una página web, fue necesario diseñar y prototipar el RPAS. Para ello, se utilizó el protocolo XBEE, que permitió que los datos fueran transmitidos

al Raspberry Pi, y después se utilizaron herramientas de programación como Python para la visualización de los datos. En la figura 10, se muestra el proceso de visualización de los datos. El sistema de monitoreo desarrollado, que integra un módulo de GPS y sensores de bajo costo, permite conocer la posición y el movimiento de los aeromodelos en tiempo real. Este sistema se ha desarrollado como ejercicio académico y se han demostrado sus capacidades en los aeromodelos Apprentice 1500 y Renager 1600. En resumen, este proyecto ha permitido desarrollar una herramienta de seguridad aérea muy valiosa.

En vista de lo anterior, el propósito de este trabajo es desarrollar un lenguaje de programación que permita representar adecuadamente los resultados, siguiendo las directrices establecidas por la FAA y la Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil (Aerocivil). El objetivo es que los datos de vuelo para cada tarea necesaria se presenten de manera clara y organizada, utilizando la arquitectura de comunicación adecuada. Esto permitirá integrar el sistema como un equipo complementario a la aviónica existente en el avión Skiron.

Se espera proyectar las condiciones de la aeronave prototipo mediante la lectura de datos a partir de la plataforma Stewart, que está compuesta por un sistema de bucle cerrado conectado a una base con seis

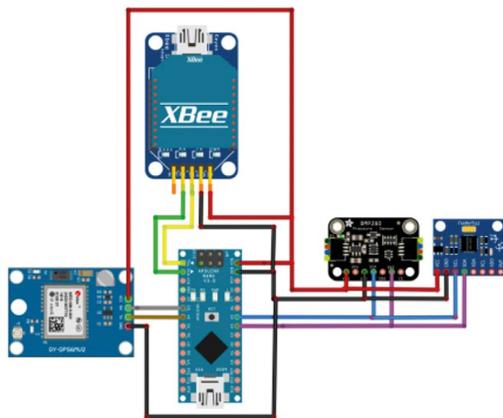


Figura 9. Circuito gráfico del sistema RTAMS  
Fuente: tomado de Awazacko (2021).

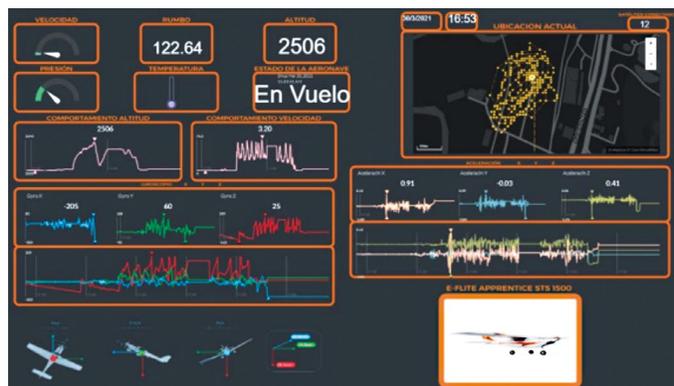


Figura 10. Diseño e implementación de página web en la plataforma IoT  
Fuente: tomado de Awazacko (2021).

actuadores que dirigen articulaciones prismáticas para recrear la operación en seis grados de libertad. Según el informe de Dasgupta y Mruthyunjaya (2000), la configuración del dispositivo es ampliamente aceptada en la industria aérea debido a su rango de movimiento y precisión, considerando la rigidez estructural de los eslabones que evitan fuerzas de inflexión no deseadas al resistir estados de compresión y tensión. El simulador de vuelo con forma de la plataforma se muestra en la figura 11. Cabe mencionar que la plataforma Stewart tiene diversas aplicaciones, como construcción naval, construcción de puentes, transporte y posicionamiento de antenas parabólicas de comunicación por satélite o telescopios



Figura 11. Plataforma Stewart utilizada por Lufthansa  
Fuente: tomado de (Gudiño *et al.* (2018).

Las articulaciones giratorias de la plataforma Stewart se destacan por su alta precisión de posicionamiento, lo cual les permite ser controladas de manera remota. La construcción simplificada del modelo y la fabricación de sus partes posibilitan generar un ensamblaje eficiente que permite lograr las metas propuestas, tal como se muestra en la figura 12. Los movimientos del avión se realizan con base en las decisiones del piloto, en coordenadas divididas sobre uno o más ejes para emular el desplazamiento en zonas de control o primarias, como se verá más adelante. El balanceo se produce en el eje  $x$  (longitudinal), el cabeceo se da en el eje  $y$  (transversal) y la guiñada ocurre en el eje  $z$  (vertical)

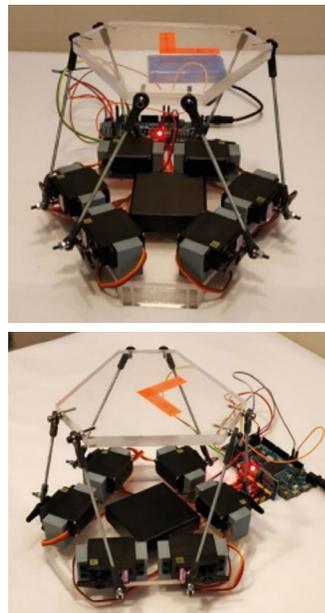


Figura 12. Modelo simplificado de plataforma Stewart  
Fuente: tomado de Nieves (2020).

Cada avión tiene tres ejes imaginarios alrededor de los cuales se llevan a cabo los movimientos: el eje longitudinal, el eje transversal y el eje vertical. El balanceo, que es el movimiento alrededor del eje longitudinal, se produce cuando un ala sube mientras la otra baja; el cabeceo, que es el movimiento alrededor del eje transversal, se produce cuando la nariz del avión se eleva o baja; y la guiñada, que es el movimiento alrededor del eje vertical, se produce cuando la nariz del avión se desplaza hacia la izquierda o hacia la derecha (en inglés, estos movimientos se conocen como *roll*, *pitch* y *yaw*, respectivamente). La figura 13 muestra estos movimientos en un avión.

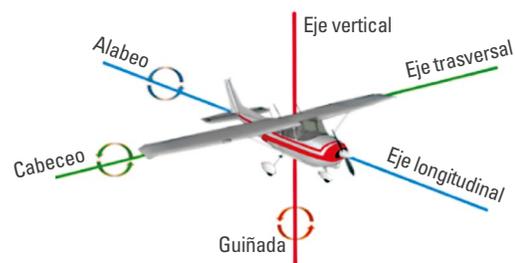


Figura 13. Ejes principales de una aeronave  
Fuente: tomado de Fulgencio (24 de abril de 2018).

## Diseño de ingeniería

Para simular con efectividad los movimientos principales de un avión, se utiliza una plataforma que incluye seis actuadores de referencia sg 90 con un mecanismo en forma de paralelo. Estos actuadores, también conocidos como servomotores, son motores eléctricos que están equipados con un circuito de control y son operados por múltiples conjuntos de engranajes. Pueden estar compuestos por partes neumáticas o hidráulicas, y se ingresa la señal de salida, tal como posición, velocidad, aceleración o desplazamiento. La transmisión del movimiento se lleva a cabo a través de eslabones que están unidos a la base mediante un cierre de forma y que se conectan a la plataforma, que a su vez mueve una placa superior. La función de esta placa es simular los seis grados de libertad de la aeronave: sus ejes x, y, z (lateral, vertical y longitudinal) y sus tres rotaciones (cabeceo, guiñada y balanceo).



Figura 14. Microservomotor sg 90 – 9G  
Fuente: tomado de Flash Rc (2022).

Para transmitir señales y efectuar el movimiento en los microservomotores sg 90, se utiliza una placa PCA9685. Esta pieza incluye pines SCL/SDA que dirigen dieciséis servos a través de entradas y salidas PWM del microcontrolador. La placa es compatible con una fuente de 5V/5A para variar la frecuencia y resolución de 12 bits. La modulación por ancho de pulsos es una estructura idónea para estos actuadores, ya que puede enlazarse sin problemas con la PCA9685. Además, la placa dispone de pines I2C que permiten comunicarse

con la placa Arduino UNO y alimentar la sección lógica de los conectores. En la figura 15, se muestra la conexión entre estos tres elementos.

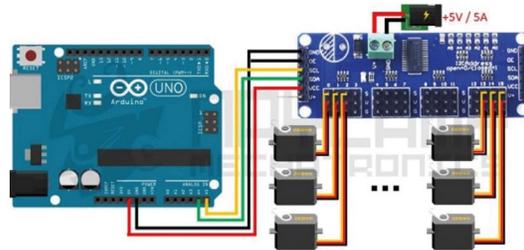


Figura 15. Control de servos con placa PCA9685 y Arduino UNO  
Fuente: tomado de Naylamp Mechatronics (2016).

Es importante destacar que la placa Arduino UNO es la opción más adecuada para comenzar la programación y el control de la plataforma, ya que interactúa simultáneamente con el *software* y el *hardware*. Su utilidad radica en su código abierto, lo cual la convierte en una herramienta accesible para el público en general, con documentación y licencias gratuitas disponibles. La elección de esta placa se basó en la capacidad de ejecutar acciones precisas mediante interfaces entre ordenadores y el control de alimentación de los actuadores. La placa requiere una conexión desde un puerto USB o un transformador AC-DC para proporcionar energía al microcontrolador ATmega328P, y se distingue por su botón de reinicio, conector de audio analógico tipo Jack, entrada ICSP para programación en PIC/AVR, oscilador de cristal que genera señales eléctricas precisas a partir de la resonancia mecánica, y catorce pines digitales en modo bidireccional (entrada-salida).

Para complementar la funcionalidad del Arduino UNO, es necesario utilizar un dispositivo llamado USB Host Shield 2.0 MAX3421E Google Adk Uno Mega, el cual se muestra en la figura 16. Este dispositivo se monta encima del Arduino UNO y permite controlar periféricos que recolectan datos de entrada para ser enviados al controlador de salida (dispositivos esclavos). El módulo incluye un chip MAX3421E que implementa un acceso USB para controlar los circuitos analógicos y digitales. Este chip se comunica con los pines digitales del Arduino UNO, funcionando a una velocidad de 2.0 en el encabezado ICSP.

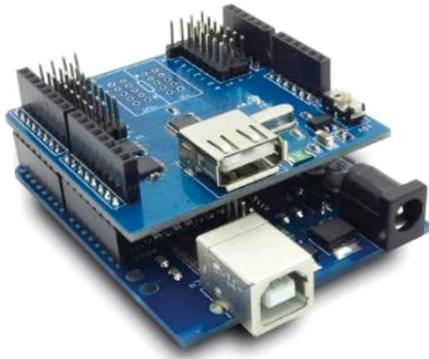


Figura 16. USB Host Shield 2.0 MAX3421E Google Adk Uno Mega  
Fuente: tomado de Yorobotics (2021).

Para conectar elementos externos a la plataforma, como la unidad de medición inercial (IMU- Inertial Measurement Unit), que se explicará más adelante, se requiere utilizar un USB Host Shield. Esto permitirá conectar un control como el *joystick* Logitech Extreme 3D Pro para enviar señales a los servomecanismos, los cuales simularán con precisión los movimientos enviados por el piloto de acuerdo con las condiciones de vuelo presentes. Los botones ubicados en la parte superior del *joystick* son programables y permiten la ejecución de comandos complejos o individuales. Las figuras 17 y 18 muestran la configuración entre los dispositivos mencionados.

Es importante destacar que el *joystick* Logitech Extreme 3D Pro ha sido elegido como dispositivo controlador de la plataforma debido a su precisión, sensibilidad, durabilidad y precio accesible. Este *joystick* cuenta con sensores de alta calidad que permiten un control de posicionamiento sumamente preciso, lo cual se traduce en una respuesta óptima y en cambios significativos en la posición de la plataforma en función de los movimientos más mínimos. Además, la configuración de botones programables es capaz de alterar el movimiento o ajustar la posición deseada. En resumen, se ha elegido el *joystick* Logitech Extreme 3D Pro por su excelente desempeño, durabilidad y accesibilidad económica.

Para censar las condiciones de vuelo, se utilizará una MPU 6050, también conocida como una IMU. Esta unidad es capaz de realizar mediciones de navegación

precisas gracias a la integración de giroscopios y acelerómetros de tipo MEMS (Microelectromechanical Systems), con un procesador Host DMP que puede medir tres ejes cada uno (seis grados de libertad en total). Los pines I2C permiten la interconexión de los sensores con el Arduino UNO para capturar las salidas digitales sincrónicamente en los canales x, y, z, con una resolución de 16 bits. Además, la figura 19 muestra cómo se debe conectar correctamente la IMU a la placa Arduino UNO. Las especificaciones del fabricante indican que la MPU 6050 es capaz de procesar algoritmos de movimientos complejos de manera eficiente, lo cual la hace adecuada para la simulación de vuelo.

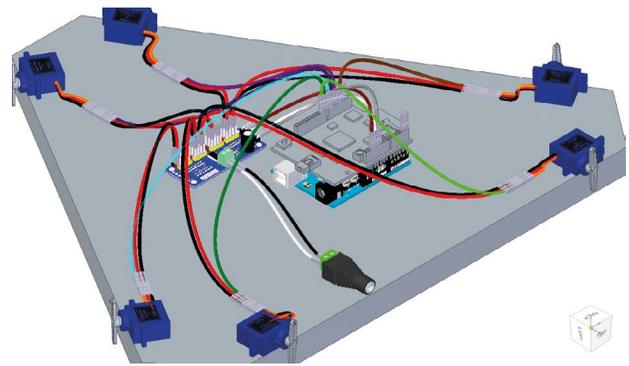


Figura 17. Conexiones de servos con placa PCA9685, Arduino UNO y USB Host Shield 2.0 MAX3421E  
Fuente: elaboración propia.



Figura 18. Conexiones entre computador, Arduino UNO y USB Host Shield 2.0 MAX3421E Joystick  
Fuente: elaboración propia.

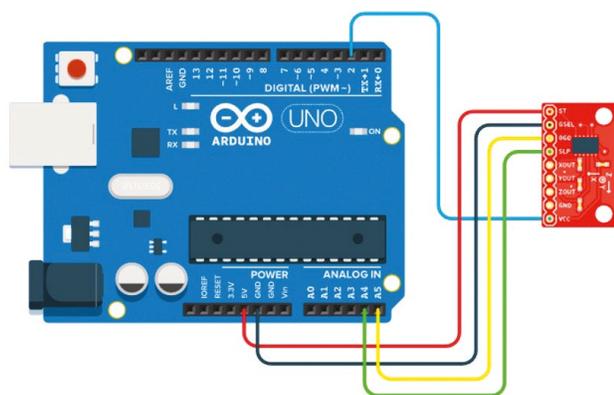


Figura 19. Conexión entre Arduino UNO y MPU6050  
Fuente: elaboración propia.

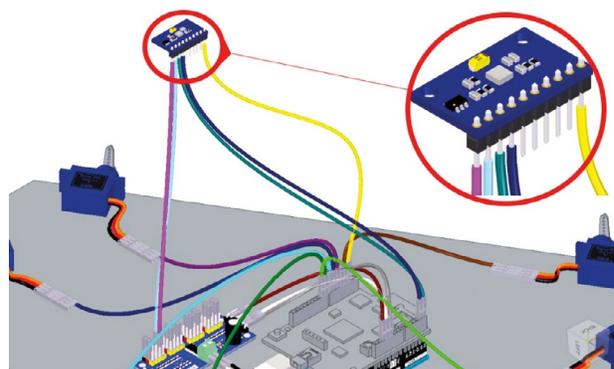


Figura 20. Detalles y ubicación de la IMU en plataforma Stewart  
Fuente: elaboración propia.

Para obtener la máxima precisión en los movimientos generados, la IMU se colocará en la parte superior, tal como se indica en la figura 20. La información capturada por la IMU se utilizará para visualizar los movimientos en un sistema de gestión de vuelo (FMS) mediante una interfaz gráfica diseñada específicamente para el prototipo de aeronave Skiron, como se planteó al comienzo de este texto. Además, en la figura 21 se muestra la disposición y las conexiones de cada elemento del sistema.

Como se mencionó antes, el USB Host Shield 2.0 MAX3421E se utiliza para enviar señales a los servomecanismos y simular los movimientos enviados por una palanca de control, en este caso el *joystick* Logitech Extreme 3D Pro. Para lograr una simulación precisa de las órdenes del usuario, es necesario escribir un código en Arduino. Para hacerlo, primero se debe incluir la librería necesaria que se encuentra en la ruta: Programas > Incluir librería > Gestionar Librerías > usb Host Shield Library 2.0

Una vez incluida la librería, se realiza la siguiente ruta que permite controlar la lectura de datos en circuitos analógicos y compuertas lógicas digitales, es decir, elementos tanto digitales como físicos. Es importante destacar que, en el apartado HID, se ajusta el código a los objetivos establecidos en el documento en los módulos `le3dp`, `le3dp_rptparser.cpp` y `le3dp_rptparser.h`. Estos módulos se pueden encontrar en la ruta Archivos > Ejemplos > USB Host Shield Library 2.0 > HID > `le3dp`.

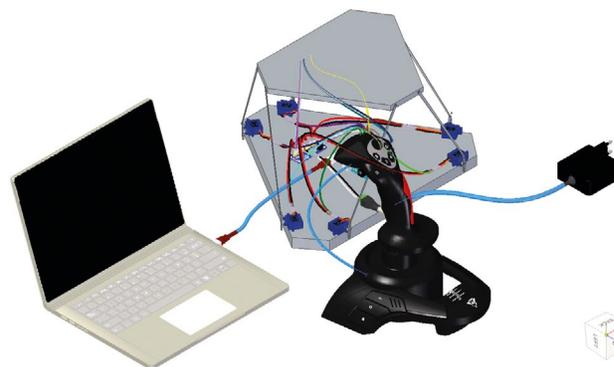


Figura 21. Disposición ergonómica de los elementos  
Fuente: elaboración propia.

En la figura 22, se puede observar que la primera parte del código se encarga de declarar las librerías que se utilizarán. Para programar el sensor, obtener los datos correspondientes y seleccionar la herramienta tecnológica que mostrará los resultados, se asigna una variable "int" a los canales x, y, z de 16 bits. A continuación, se crean los objetos que contienen los atributos de las librerías, como USB, USBHub, HIDUniversal, JoystickEvents y JoystickReportParser. En el bloque *set up* se inicia el puerto serial a 57600, que es la velocidad máxima que soporta Arduino, y se informa al usuario mediante un mensaje de inicio que se espera que el USB esté disponible

```

#include <usbhid.h>
#include <hiduniversal.h>
#include <usbhub.h>

#include "le3dp_rtparser.h"

// Satisfy the IDE, which needs to see the include statement too.
("USB_Host_Shield_2.0/SPP.ino at master - Github")
#include "I2Cdev.h"
#include "MPU6050.h"
#include "Wire.h"
#ifdef dobogusinclude
#include <spi4teensy3.h>
#endif
#include <SPI.h>

MPU6050 sensor;
int ax, ay, az;
int gx, gy, gz;

USB                Usb;
USBHub             Hub(&Usb);
HIDUniversal       Hid(&Usb);
JoystickEvents     JoyEvents;
JoystickReportParser Joy(&JoyEvents);

void setup()
{
  Serial.begin(57600); //Iniciando puerto serial
  Wire.begin();       //Iniciando I2C
  sensor.initialize(); //Iniciando el sensor

  if (sensor.testConnection()) Serial.println("Sensor iniciado
correctamente"); else Serial.println("Error al iniciar el sensor");

```

Figura 22. Configuración inicial y cíclica del código para enviar señales  
Fuente: elaboración propia.

En la segunda parte del código, se incluye la codificación de las librerías y sus ajustes correspondientes. Aquí, se declara la variable `OnGamePadChanged` de la clase `JoystickEvents`, que permitirá mostrar los valores leídos por el *joystick* Logitech Extreme 3D Pro cada vez que haya un cambio en la señal. De tal manera, solo es necesario agregar la actualización de los valores de salida. Es importante tener en cuenta que los pines de salida deben ser configurados en el código para cada servo, ya que el Arduino UNO cuenta con catorce pines disponibles.

Después de imprimir cada variable digital correspondiente a los botones del *joystick*, se seleccionan los bits de cada una y se declara un vector llamado "mul" que discrimina estos valores para seleccionar el bit correspondiente entre las variables de 8 bits que están concatenadas. Luego, se insertan dos bucles que imprimen veinte valores digitales. A continuación, se

realiza un mapeo de los ejes x y y en el rango de 0 a 1023, mientras que el eje z va de 0 a 180 para la torsión (*twist*) y *slider*. El propósito de esto es actualizar los datos de salida de los servos. La figura 23 muestra parte de la impresión de cada variable digital.

```

#include "le3dp_rtparser.h"

JoystickReportParser::JoystickReportParser(JoystickEvents *evt) :
  joyEvents(evt)
{}

"void Joystick_Report_Parser::Parse(USBHID *hid, bool is_rpt_id,
uint8_t len, uint8_t *buf)"
{
  bool match = true;

  // Checking if there are changes in the report since
  the method was last called
  for (uint8_t i=0; i<RPT_GAMEPAD_LEN; i++){
    if (buf[i] != oldPad[i]) {
      match = false;
      break;
    }
  }

  // Calling GamePad event handler
  if (!match && joyEvents) {
    joyEvents->OnGamePadChanged((const
GamePadEventData*)buf);

    for (uint8_t i=0; i<RPT_GAMEPAD_LEN; i++)
      oldPad[i] = buf[i];
  }
}

void JoystickEvents::OnGamePadChanged(const GamePadEventData *evt)
{
  Serial.print("X: ");
  PrintHex<uint16_t>(evt->x, 0x80);
  Serial.print(" Y: ");
  PrintHex<uint16_t>(evt->y, 0x80);
  Serial.print(" Hat Switch: ");
  PrintHex<uint8_t>(evt->hat, 0x80);
  Serial.print(" Twist: ");
  PrintHex<uint8_t>(evt->twist, 0x80);

```

Figura 23. Estructura funcional del código al generar un cambio en las señales recibidas  
Fuente: elaboración propia.

Finalmente, se procede a implementar la funcionalidad del código, añadiendo la librería de los servomotores. La clase `JoystickEvents` utiliza el constructor de la librería "Servo.h" para crear objetos para cada uno de los servomotores. Como se muestra en la figura 24, se le asigna un nombre a cada uno de ellos, como `servo3`, `servo5`, `servo6`, `servo9`, `servo7`, `servo8`. Estos objetos se utilizan en el método `OnGamePadChanged`, que representa una estructura que permite acceder

directamente a los canales de  $x$  y  $y$ . El canal  $z$ , por su parte, se puede acceder a través de la variable “int” en la IMU MPU 6050 que se explicó antes. En resumen, en esta sección del código se describen las conexiones, la lectura de datos, la inicialización del programa y las variables recibidas de manera general.

```
#if !defined(__HIDJOYSTICKRPTPARSER_H_)
#define __HIDJOYSTICKRPTPARSER_H_
#include <Servo.h>
#include <usbhid.h>

struct GamePadEventData
{
    union { //axes and hut switch
        uint32_t axes;
        struct {
            uint32_t x : 10;
            uint32_t y : 10;
            uint32_t hat : 4;
            uint32_t twist : 8;
        };
    };
    uint8_t buttons_a;
    uint8_t slider;
    uint8_t buttons_b;
};

class JoystickEvents
{
public:
    Servo servo3,servo5,servo6,servo9,servo7,servo8;
    virtual void OnGamePadChanged(const GamePadEventData *evt);
};

#define RPT_GAMEPAD_LEN sizeof(GamePadEventData)/sizeof(uint8_t)

class JoystickReportParser : public HIDReportParser
{
public:
    JoystickEvents *joyEvents;
};
```

Figura 24. Configuración del *joystick* que da movilidad a los servomotores  
Fuente: elaboración propia.

Para obtener resultados precisos, es importante que la orientación del sensor IMU MPU6050 esté correctamente posicionada, como se muestra en la figura 25. En el siguiente apartado, se expondrán los resultados obtenidos. Además, matemáticamente se puede demostrar la primera ley de Newton al usar el *joystick* en un rango de tiempo en el que la rapidez de un objeto varía en función de su masa, como se muestra en la ecuación 1:

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a} \quad (1)$$

La aceleración es la tasa de cambio de la velocidad respecto al tiempo y es proporcional al desplazamiento. Esto se puede expresar matemáticamente mediante la ecuación 2, que describe el cambio en la posición en los ejes  $x$ ,  $y$  y  $z$  con respecto al tiempo. Es decir, la ecuación 2 expresa el cambio de velocidad en cada eje, lo cual resulta en un cambio de posición en el tiempo, por lo que es importante tener en cuenta la orientación del sensor IMU MPU6050.

$$\vec{a} = \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} = \frac{\partial^2 \vec{r}}{\partial t^2} \quad (2)$$

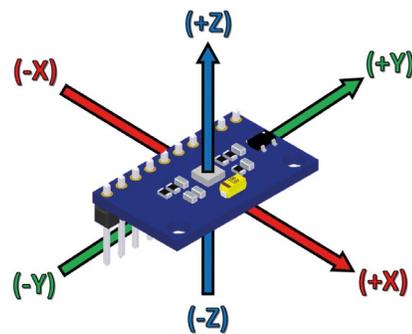


Figura 25. Posición y representación de los ejes del MPU 6050  
Fuente: elaboración propia.

En la evaluación de la eficacia del sistema FMS en el avión prototipo Skiron, se utiliza una herramienta de análisis de datos de vuelo y simulación aérea llamada Tacview. Este *software* es capaz de leer, grabar y reproducir datos de vuelo en tiempo real en diferentes simuladores. Además, cuenta con diversas opciones de visualización, tales como una visualización 3D y la superposición de datos de vuelo sobre mapas y terrenos reales.

Para recrear una trayectoria de vuelo en un avión con características de patrulla marítima, se optó por utilizar Flight Simulator x como simulador de vuelo en tierra. Dicha trayectoria fue trazada según las especificaciones de la RAC 15, capítulo IV (Aerocivil, 2023). La información de los aeródromos necesarios para la ruta SKBO-SKIB (Bogotá-Ibagué), que se muestra en la figura 26, fue localizada y copiada.



valor constatado fue en el minuto 15, cuando se debía acceder al Aeropuerto Nacional Perales por la pista 32 tomando GEBES a 7000 pies.

La figura 29 muestra el movimiento de guiñada que se produce al desviar el timón. El intervalo de tiempo estudiado fue de 19 minutos, durante los cuales se registró un límite superior en el minuto 1 y un límite inferior en el minuto 18. Durante el despegue, las fuerzas asimétricas del viento pueden alterar la trayectoria del avión en la pista. Por eso, se utilizan los pedales para controlar el timón de dirección y garantizar la dirección correcta entre la ruta y la pista de aterrizaje. En este caso, el uso de los pedales se observa en la salida SILEG 2 DELTA para llegar a la ruta 31 durante el despegue, mientras que en el minuto 18 el movimiento de los pedales es breve durante el aterrizaje en la pista 32 del Aeropuerto Nacional Perales.

Debido a que este trabajo es un ejercicio académico que aún se encuentra en desarrollo y que se enfoca en la evaluación de un sistema acorde al diseño conceptual de una aeronave que no ha sido fabricada hasta la fecha, no es posible proporcionar una estimación de costos en el momento. Además, es importante tener en cuenta que el precio de las maletas electrónicas de vuelo dependerá de factores como: *hardware* y *software*

utilizados, instalación y configuración necesarias, capacitación de uso, monitoreo y análisis continuo, o mantenimiento y actualizaciones requeridas. Esto influye en el precio de las maletas electrónicas de vuelo, por lo que no es posible estipular un valor. Sin embargo, es importante señalar que en el mercado existen marcas privadas que ofrecen diferentes tarifas según la licencia o suscripción. Por ejemplo, Simplify3D, 3DPrinterOs y MatterControl son algunas de las marcas disponibles. La versión básica y personal de Simplify3D es la opción más económica, con un costo de 149 dólares, mientras que la versión empresarial de 3DPrinterOs puede llegar a costar hasta 10 000 dólares anuales para una licencia compartida.

En este momento, solamente se ha programado el Arduino y la IMU, y se ha seleccionado una pantalla tentativa para el sistema EFB; el costo de adquisición del sistema propuesto es significativamente más bajo en comparación con los sistemas existentes. Esto se debe a que el *software* utilizado es de código abierto y compatible con múltiples tabletas inteligentes. Esta aproximación permitirá mejorar el sistema propuesto en futuros trabajos y calcular con precisión el costo total de la maleta electrónica de vuelo, considerando los elementos adicionales que sean previstos, a fin de optimizar principalmente los factores de precisión.

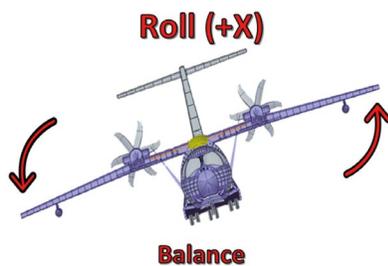
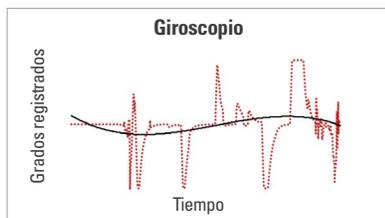


Figura 27. Gráfica presentada durante el balanceo según Tacview  
Fuente: elaboración propia.

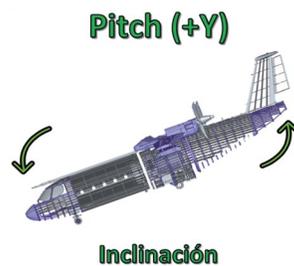
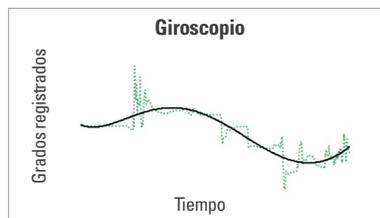


Figura 28. Gráfica presentada durante el cabeceo según Tacview  
Fuente: elaboración propia.

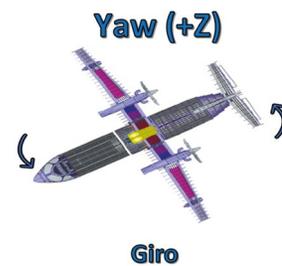
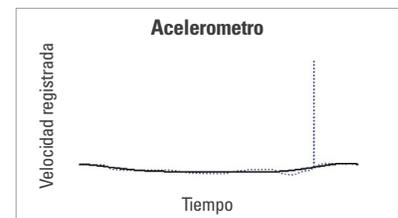


Figura 29. Gráfica presentada durante la guiñada según Tacview  
Fuente: elaboración propia.

## Resultados

Para el análisis correspondiente de las respuestas obtenidas por la IMU, se hicieron pruebas en la plataforma Stewart únicamente con los movimientos principales que la aeronave Skiron estará capacitada para realizar en el futuro. Las gráficas del acelerómetro y el giroscopio para los tres casos serán anexadas y explicadas en breve. Cabe aclarar que los puntos seccionados son los datos suministrados y la línea sólida es una línea de tendencia para percibir el comportamiento del fenómeno presentado.

La gráfica de la figura 30 muestra el movimiento rotacional presentado en el acelerómetro y el giroscopio sobre el eje x. Su intervalo de tiempo fue 14,2 segundos, el límite superior fue obtenido en el segundo 8,8, mientras que el límite inferior fue en el segundo 6. Al comparar la figura 27 con la figura 30, es notoria una línea de tendencia más pronunciada y constante en la gráfica de la figura 27, la razón es que el simulador de vuelo toma en consideración las cargas del avión en cada fase de vuelo, mientras que la plataforma Stewart no está diseñada para tener esa característica. Además, la tasa de tiempo tanto en la plataforma como en el simulador de vuelo usado difieren en el tiempo de muestreo, ya que el primero solo presenta segundos, mientras que el segundo presenta minutos y segundos. Pese a esto, las gráficas tienen comportamientos similares.

A partir de lo anterior, las variaciones en las gráficas de la figura 27 y la figura 30 radican en el balanceo producido durante la trayectoria de vuelo causada por la desviación de los alerones del Skiron. Esto indica que con una mayor desviación hacia abajo habrá un aumento en la sustentación, como lo demuestra al inicio de la gráfica, y posteriormente se presenta una desviación hacia arriba dando a entender la reducción en la sustentación. De ello es posible comprender que los alerones, al funcionar en pares, no distribuyen las fuerzas equitativamente, por lo que el valor del giro neto alrededor del centro de gravedad difiere del eje de balanceo (eje x).

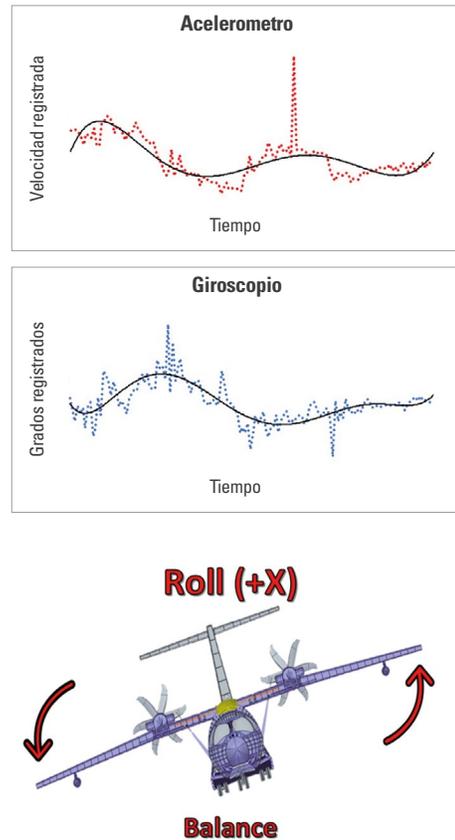


Figura 30. Datos presentados durante un balanceo en el acelerómetro y el giroscopio

Fuente: elaboración propia.

Por otro lado, a lo largo de una trayectoria de vuelo se produce la desviación del elevador. Esta acción causa el movimiento de cabeceo (ver figura 31). Para el estudio, el intervalo de tiempo fue de 13,9 segundos, el límite superior fue obtenido en el segundo 10,9, mientras que el límite inferior fue en el segundo 11,3. En la figura 28, la actitud de cabeceo es constante en gran medida, lo cual indica estabilidad y control, caso contrario a la figura 31 que presenta mayor fluctuación; se infiere que esto pudo ser causado por los movimientos mínimos involuntarios que registró el *joystick*. A pesar de todo, la línea de tendencia en ambos casos demuestra un comportamiento semejante para distintas fases de tiempo registradas.

A partir de lo presentado en las gráficas, se infiere que el elevador y el estabilizador horizontal están

alineados, lo cual no produce un cambio en la sustentación del Skiron idealmente. Sin embargo, enseguida se observa un aumento en la sustentación debido a la desviación hacia abajo causada por el *joystick* controlado, y finalmente, se planea regresar al estado inicial del avión por medio de una desviación hacia abajo causando la disminución de la sustentación. Los desvíos en el elevador permiten girar el avión sobre su centro de gravedad (eje y).

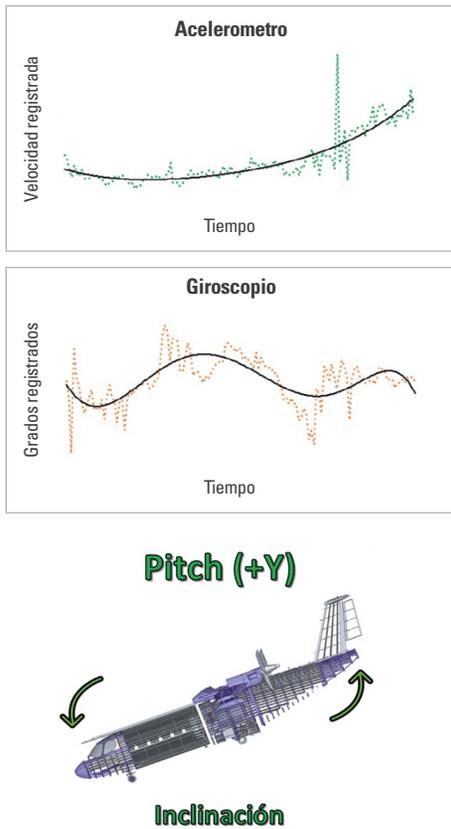


Figura 31. Resultados dados durante un cabeceo en el acelerómetro y el giroscopio  
Fuente: elaboración propia.

Según representa la aeronave Skiron, se evidencia un movimiento de guiñada causado por la desviación del timón (*rudder*) en la figura 32. Para ello, el intervalo de tiempo fue de 14,5 segundos, el límite superior fue obtenido en el segundo 0,1, mientras que el límite inferior fue en el segundo 3. La variación repentina al final

del vuelo (figura 29) se produce posiblemente por el viento cruzado que se presentó en el simulador de vuelo. Además, las cargas y las velocidades del viento registradas en el simulador afectaron la dirección de ruta entre el avión y la pista de aterrizaje, siendo otro parámetro que omite la plataforma Stewart.

En este sentido, las tablas prueban que al desviar el timón alrededor de su centro de gravedad se genera un cambio en la fuerza lateral del avión. Para el estudio, se identifica un pico descendente en la lectura de los datos según lo obtenido por la IMU, lo cual corresponde a un aumento de la fuerza lateral hacia la derecha en relación con la desviación del timón dirigido hacia la izquierda. Luego de esta acción, la gráfica permanece idealmente constante, caso contrario al del giroscopio que varía a lo largo del tiempo.

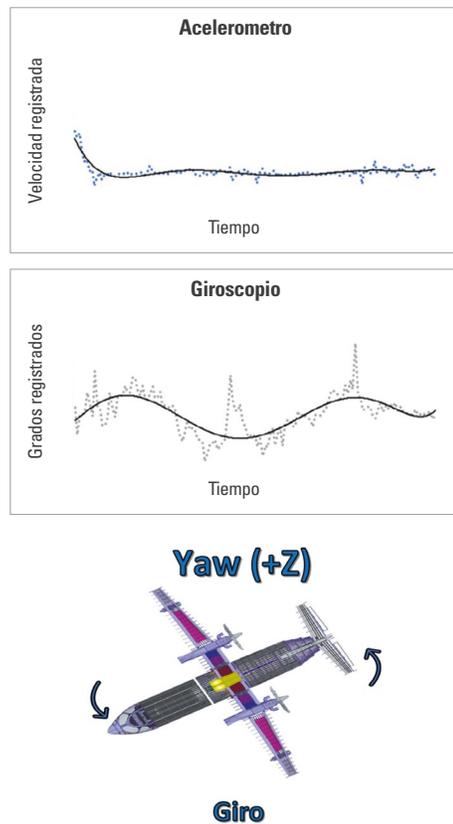


Figura 32. Datos obtenidos durante una guiñada en el acelerómetro y el giroscopio  
Fuente: elaboración propia.

## Conclusiones

Luego de llevar a cabo este estudio, se puede concluir que el diseño preliminar del sistema FDM para la aeronave prototipo Skiron fue capaz de identificar los parámetros de actitud en cada fase de vuelo, lo cual permite establecer los límites máximos y mínimos necesarios para una operación segura por parte del operador.

Una vez definida la arquitectura de comunicación, se puede monitorear el comportamiento del vehículo a lo largo de toda la trayectoria mediante sensores y sistemas inerciales incorporados, que están accesibles al público y son un elemento ideal para desarrollar proyectos futuros centrados en la seguridad operacional. Este estudio preliminar está sujeto a mejoras que podrían incorporar otras variables de medición y reducir los costos de operación en tierra, así como mejorar la eficiencia funcional de la aeronave. Con estas mejoras, el sistema se transformaría en un equipo trascendente para la futura integración.

Se puede aumentar la precisión de la adquisición de datos al incorporar un sensor más sofisticado. En el estudio, se utilizaron pruebas con un sistema económico con fines educativos solamente. Las relaciones entre la exactitud y la calidad de los datos establecen algunas incertidumbres. Por lo tanto, la implementación de nuevas tecnologías permitirá predecir con mayor fiabilidad los comportamientos de la aeronave en el futuro y, por ende, reducir posibles situaciones de riesgo durante su operación.

## Referencias

- Aguilar Castro, L. M. y Ortiz Astudillo, C. P. (2017). *Análisis de la tecnología ArduPilot orientada a la implementación de sistemas de control automático* (tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana). Repositorio institucional UPS. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/13480/1/UPS-CT006885.pdf>
- Allen, D. (2008). Electronic Flight Bag: Real-Time Information Across an Airline's Enterprise. *Aero Magazine*, (8), 22-27.
- [https://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/articles/qtr\\_2\\_08/AERO\\_Q208.pdf](https://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/articles/qtr_2_08/AERO_Q208.pdf)
- Arduino. (2022). Arduino UNO. <https://arduino.cl/arduino-uno/>
- Awazacko, J. A. (2021). *Desarrollo de un dispositivo de monitoreo en tiempo real de los sistemas de una aeronave mediante un protocolo de comunicación inalámbrica RTAMS (Real-time Aircraft Monitoring System)* (tesis de grado, Universidad de Santo Tomás). Repositorio institucional Usta. <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/35156>
- Dasgupta, B. y Mruthyunjaya, T. S. (2000). The Stewart Platform Manipulator: A Review. *Mechanism and Machine Theory*, 35(1), 15-40. [https://doi.org/10.1016/S0094-114X\(99\)00006-3](https://doi.org/10.1016/S0094-114X(99)00006-3)
- Delhom, J. (2014). *Flight Data Analysis (FDA), a Predictive Tool for Safety Management System (SMS)*. Airbus. <https://safetyfirst.airbus.com/flight-data-analysis-fda-a-predictive-tool-for-safety-management-system-sms/>
- Federal Aviation Administration (FAA). (2010). *Advisory Circular. Airworthiness and Operational Approval of Digital Flight Data Recorder Systems*. [https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory\\_Circular/AC\\_20-141B.pdf](https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory_Circular/AC_20-141B.pdf)
- Federal Aviation Administration (FAA). (2012). *Advisory Circular. Guidelines for the Certification, Airworthiness, and Operational Use of Electronic Flight Bag*. [https://www.faa.gov/documentlibrary/media/advisory\\_circular/ac%20120-76b.pdf](https://www.faa.gov/documentlibrary/media/advisory_circular/ac%20120-76b.pdf)
- Federal Aviation Administration (FAA). (2017). *Advisory Circular. Authorization for Use of Electronic Flight Bags*. [https://www.faa.gov/documentlibrary/media/advisory\\_circular/ac\\_120-76d.pdf](https://www.faa.gov/documentlibrary/media/advisory_circular/ac_120-76d.pdf)
- Federal Aviation Administration (FAA). (2021). *Automatic Dependent Surveillance-Broadcast (ADS-B)*. [https://www.faa.gov/air\\_traffic/technology/adsb](https://www.faa.gov/air_traffic/technology/adsb)
- Federal Aviation Administration (FAA). (2022). *Flight Data Monitoring*. <https://www.faa.gov/sites/faa.gov/files/2022-01/Flight%20Data%20Monitoring.pdf>
- Flash rc. (2022). *Novedades*. <https://www.flashrc.com/es/>
- Fuerza Aérea Colombiana (FAC). (2018, 21 de junio). *Primer Concurso de Diseño Aeronáutico en Conmemoración al Centenario FAC*. Sala de Prensa. <https://secad.fac.mil.co/es/noticias/primer-concurso-de-diseno-aeronautico-en-conmemoracion-al-centenario-fac>
- Fulgencio. (2018, 24 de abril). *¿Cómo se controlan los aviones en vuelo? Sociedad Aeronáutica Española*. <https://www.sociedad aeronautica.org/control-aviones/>

- García, V. (2015). *Prácticas con el sensor de 3 ejes y Arduino*. Electrónica Práctica Aplicada. <https://www.diarioelectronicohoy.com/blog/sensor-mpu6050>
- Gudiño, J., Alcalá, J., Narrarro, H., Velez, D. y Charre, S. (2018). *Diseño y modelo cinemático de un robot delta para el diagnóstico y rehabilitación* (tesis de grado, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo). Repositorio institucional UAEH. <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/xikua/article/download/2764/2789/>
- Montgomery, D. (2000). *Manual de seguridad de vuelo para operadores*. Gain.
- Naylamp Mechatronics. (2016). *Tutorial Módulo Controlador de Servos PCA9685 con Arduino*. [https://naylampmechatronics.com/blog/41\\_tutorial-modulo-controlador-de-servos-pca9685-con-arduino.html](https://naylampmechatronics.com/blog/41_tutorial-modulo-controlador-de-servos-pca9685-con-arduino.html)
- Nieves Belmar, D. (2020). *Diseño e implementación de un plataforma Stewart* (tesis de máster, Universitat Politècnica de València). Repositorio institucional UPV. <https://riunet.upv.es/handle/10251/158625>
- Riggins, D. W. (2022). *Flight Program Operations*. Federal Aviation Administration. [https://www.faa.gov/air\\_traffic/flight\\_info/flight\\_ops](https://www.faa.gov/air_traffic/flight_info/flight_ops)
- Sarker, T., Hannan, P., Shahed, S. A., Rahman, N. y Sakib, S. N. (2016). *Conceptual Design of a Low Cost Flight Data Acquisition System for Analyzing Flight Behavior of Small Unmanned Aerial Vehicles* [ponencia]. Conference ICCIT 2016. Northsouth University, Dhaka, Bangladesh. Diciembre de 2016. [https://www.researchgate.net/publication/311983505\\_Conceptual\\_Design\\_Of\\_A\\_Low\\_Cost\\_Flight\\_Data\\_Acquisition\\_System\\_For\\_Analyzing\\_Flight\\_Behavior\\_Of\\_Small\\_Unmanned\\_Aerial\\_Vehicles](https://www.researchgate.net/publication/311983505_Conceptual_Design_Of_A_Low_Cost_Flight_Data_Acquisition_System_For_Analyzing_Flight_Behavior_Of_Small_Unmanned_Aerial_Vehicles)
- Southeast Aerospace. (2008). *Collins Aerospace. Model CDU-7000D*. <https://www.seaerospace.com/sales/product/Collins%20Aerospace/CDU-7000D>
- Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil (Aerocivil). (2023). *Publicación de información aeronáutica - AIP*. <https://www.aerocivil.gov.co/servicios-a-la-navegacion/servicio-de-informacion-aeronautica-ais/aip>
- Wang, P., Wang, W., Zhang, Z., Chen, M., & Yang, J. (2020). *Civil Aviation University of China*. <https://www.cauc.edu.cn/en/>
- Yorobotics. (2021). *Usb Host Shield 2.0 MAX3421E Google Adk Uno Mega*. <https://yorobotics.co/producto/usb-host-shield-2-0-max3421e-google-adk-arduino-uno-mega>

# Geospatial collective intelligence approach in the appreciation phase of military planning

Fecha de recibido: 15 de febrero 2023	Fecha de aprobado: 28 de abril 2023
Reception date: February 15, 2023	Approval date: April 28, 2023
Data de recebimento: 15 de Fevereiro de 2023	Data de aprovação: 28 de abril de 2023

## Alex Fernando Jiménez Vélez

<https://orcid.org/0000-0003-4667-0838>  
ajimenez@fae.mil.ec

Ph.D. in Engineering and Projects  
Professor and researcher – University of Armed Forces ESPE, Ecuador  
Researcher's role: theoretical and writing  
CELSO Research Group

Ph.D. en Ingeniería y Proyectos  
Docente e investigador – Universidad de Fuerzas Armada ESPE, Ecuador  
Rol del investigador: teórico y escritura  
Grupo de Investigación CELSO

Doutoramento em Engenharia e Projectos  
Docente e investigador – Universidade das Forças Armadas ESPE, Equador  
Papel do investigador: teórico e escritor  
Grupo de investigação CELSO

**Cómo citar este artículo:** Jiménez Vélez, A. F. (2023). Geospatial collective intelligence approach in the appreciation phase of military planning. *Ciencia y Poder Aéreo*, 18(2), 67-74. <https://doi.org/10.18667/cienciaypoderaereo.772>



## Geospatial collective intelligence approach in the appreciation phase of military planning

**Abstract:** Military planning is an important process that allows to determine the best tactic and the most efficient mean to use military power, allowing command staff to make accurate and prompt decisions. For this purpose, it is essential to have a deep knowledge of military science and operational factors such as geographic space, force, and time, which results in greater probabilities of success in the execution of military operations. This research article intends to propose a new approach in the appreciation phase of military planning based on a research project called *Collective Intelligence Geospatial Planning Model*, which works through an automation of the Real Time Spatial Delphi method from a web-based tool called Geospatial System of Collective Intelligence (SIGIC, acronyms in Spanish). Such automation obtains a geo-consensus that allows us to conclude if it would be relevant or adequate to provide or give support to the commander in complex geographical scenarios. Current and prospective geospatial patterns can be established through geo-consensus, which is mainly focused on the planning, organization, and use of territorial resources.

**Keywords:** Collective intelligence; military planning; Spatial Delphi method; Spatial Decision Support Systems.

## Enfoque geoespacial de inteligencia colectiva en la fase de apreciación de la planificación militar

**Resumen:** La planificación militar es un proceso esencial por el cual se puede llegar a determinar la mejor idea de maniobra y la forma más eficiente de empleo del poder militar, lo que permite al comandante tomar decisiones acertadas y oportunas. Para ello es fundamental un conocimiento profundo de la ciencia militar, así como de factores operacionales como espacio geográfico, fuerza y tiempo que permitan tener mayores probabilidades de éxito en la ejecución de las operaciones militares. Este artículo de investigación pretende plantear un nuevo enfoque en la fase de apreciación de planificación militar basado en un proyecto de investigación denominado *Modelo de Planificación Geoespacial de Inteligencia Colectiva*, mismo que tiene como método principal al método Delphi Espacial en tiempo real, automatizado a través de una herramienta web denominada Sistema Geoespacial de Inteligencia Colectiva (SIGIC), mediante la cual se obtiene un geoconsenso que nos permite concluir que sería pertinente o adecuado para poder brindar o dar soporte al comandante en escenarios geográficos complejos; así como también establecer patrones geoespaciales actuales y prospectivos enfocados principalmente a la planeación, organización y empleo de recursos territoriales.

**Palabras clave:** inteligencia colectiva; método Delphi Espacial; planificación militar; Sistemas de Soporte a la Decisión Espaciales.

## Enfoque de Inteligência Colectiva Geoespacial na fase de apreciação do planeamento militar

**Resumo:** O planeamento militar é um processo essencial pelo qual a melhor idéia de manobra e o uso mais eficiente do poder militar podem ser determinados, permitindo ao comandante tomar decisões precisas e oportunas; para isso, é essencial um conhecimento profundo da ciência militar e de fatores operacionais como espaço geográfico, força e tempo, permitindo uma maior probabilidade de sucesso na execução de operações militares. Este artigo estimulante tem como objetivo propor uma nova abordagem para a fase de avaliação do planeamento militar com base em um projeto de pesquisa chamado Modelo de Planeamento Geo-espacial de Inteligência Coletiva, no qual através da automatização do método Delphi Espacial em tempo real em uma ferramenta web chamada Sistema Geoespacial de Inteligência Coletiva (SIGIC) obtendo um geoconsenso que nos permite concluir que seria relevante ou adequado fornecer ou apoiar o comandante em cenários geográficos complexos, através do qual podem ser estabelecidos padrões geoespaciais atuais e prospectivos, principalmente focados no planejamento, organização e utilização de recursos territoriais.

**Palavras-chave:** Inteligência coletiva; método Delphi Espacial; planeamento militar; Sistemas de Apoio à Decisão Espacial.

## Introduction

The evaluation and management of human, material, financial, technological, and natural resources are essential in decision-making at all levels of war planning. Any military organization and its staff, especially High Command, requires a strategic system that helps him or her to conceive and plan and direct his or her activities, identifying in each case the best ideas for maneuver.

Geospatial entities allow to incorporate locations and characteristics of both natural and social aspects, visible and invisible elements of geographic space on a geographic information system, as well as the relationships formed between them. Their study requires a systematic and systemic complex treatment of the “inseparable set of systems of objects, and systems of actions, which enables going from the past to the future, through the consideration of the present” (Santos, 2006, p. 60), thus making the elaboration of current and prospective studies and models within a given context of force, time, and space possible, even constituting under this approach a recent field of research called geo-prospective (Emsellem *et al.*, 2012), (Houet & Gourmelon, 2014), (Voiron, 2012). Given the complexity of these scenarios, to address the decision-making support process, command staff must resort to the Integral Work of the General Staff (TIEM, acronyms in Spanish), provided by the staff members who, through shared epistemological, conceptual, and methodological frameworks, contribute to the development of feasible alternatives, thanks to the inter-subjective tendencies provided by their knowledge, analysis, and social responsibility.

## Geospatial collective intelligence approach

The objective of this approach focuses on a complementary methodology for the TIEM and the military planning process, which for the first time converges

collective intelligence, complexity theory, decision theory, Spatial Decision Support Systems (SDSS), Group Decision Support Systems (GDSS), and geo-prospective. To test this new approach, a geospatial web-GDSS application was designed and built combining such tools. A software function designed from the spatial version of the Delphi method (Di Zio & Pacinelli, 2011) was added to the real time Delphi method (Gnatzy *et al.*, 2011), (Hsieh *et al.*, 2011), and the Vector Consensus model (Monguet *et al.*, 2010).

This application will allow to present High Command a survey whose purpose is to identify the factors or aspects to be evaluated in a certain geographical space, both at present and in the possible future, such as: the location of a deployment point, a communication antenna, military checkpoints, among others.

Each subject and military expert who participates in this space survey anonymously provides their opinion regarding the place they consider appropriate to install a particular infrastructure or service, placing a point on the map and complementing it with a brief insert message explaining the reason. Additionally, the platform contains information of interest such as: documents, videos, photographs, etc., which would serve as assistance to the survey process and, likewise, each subject can share the information available to the rest of the group if they desire.

Moreover, each expert can use the means they consider convenient according to their criteria: knowledge, training, and possibilities to provide the requested location, thus constituting an exercise of collective intelligence, understood as the “capacity of human collectives to participate in intellectual cooperation to create, innovate, and invent” (Levy, 1997, p. 254).

From the points obtained in the consensus, the function will compose a geospatial pattern constituted by an arrangement of geo-atoms (Goodchild *et al.*, 2007), which will include all the qualitative and quantitative properties found in them, according to the different levels of geospatial information used in the system, whether vector, raster, or matrix.

Based on this initial pattern, a classification of the study area will be made from an artificial neural networks algorithm of multilayer type, since they have

presented encouraging results in numerous geographical problems, and some advantages over other methods traditionally used for data classification (Painho *et al.*, 2005). The result provided by the Commander will be composed of a thematic map showing for each statement of the survey the sites that present similarities with respect to the corresponding initial pattern, weighting the locations in three ranges of similarity (high, medium, and low). Additionally, the location of the initial pattern will be highlighted (the place where the consensus of the group of experts was obtained), and a text will be provided composed of the arguments of the group supporting the positions.

## Methodology and application framework

A geospatial collective intelligence model for military planning was used in the different stages of a territorial decision-making process through a geospatial

system of collective intelligence (from Spanish: Sistema Geoespacial de Inteligencia Colectiva — SIGIC) (Castillo *et al.*, 2015). These stages are embedded within the real-time spatial Delphi method and can be adjusted to any type of military problem, seeking to determine suitable places to locate goods, services, and/or events related to territorial aspects areas (refer to Figure 1).

**Stage 1:** In this phase called **Approach**, the military planning problem to be solved is defined in a general way, this must be derived from a need that afflicts those involved. This stage allows us to know the problem in a specific geographical context. In the case of the exercise carried out in Antarctica, this technical analysis is performed using a multidisciplinary group composed of researchers, officers of the Army, Navy and Air Force of Ecuador who have participated in the Ecuadorian campaigns to Antarctica (some of which are based in other countries of the world).

**Stage 2:** In this phase called **Analysis**, once the problem to be solved has been determined, the existing multisectoral information on the problem is analyzed, determining the main causes that generate the military problem.

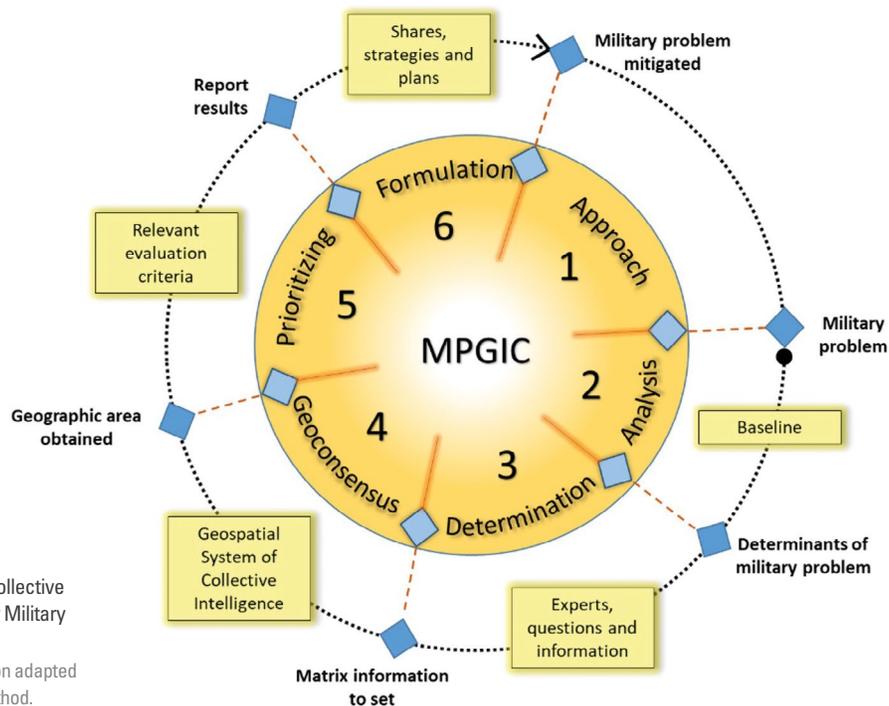


Figure 1. Geospatial Collective Intelligence Model for Military Planning (GCI-MHP)  
Source: Own elaboration adapted from Spatial Delphi Method.

**Stage 3:** This phase called **Determination** consists in determining the group of experts, questions, and suitable information necessary to consider for the solution of the problem. For this purpose, all this information must be filled in a configuration matrix, which will allow through the application called Geospatial System of Collective Intelligence (SIGIC, acronyms in Spanish) to start with the interaction of the geo-consensus phase. For the exercise, the question determined the participation of a group of seventeen people composed of researchers, officers of the Army, Navy and Air Force of Ecuador who have participated in the Ecuadorian campaigns to Antarctica and its geographical context to be evaluated. Within the panel of experts, questions asked and relevant information are detailed in Table 1. With this information (and other aspects), a configuration matrix was structured to enter all these parameters in the application developed under this approach.

Table 1.  
Description of the information required for the application architecture of SIGIC

Item	Description
Question	What is the site of scientific interest around the Pedro Vicente Maldonado Station, where visitor access should be restricted?
Panel of experts	Seventeen analysts (ten Antarctic researchers, seven officers from different Ecuadorian armed forces).
Geographic information	Georeferenced orthophoto scientific station "Pedro Vicente Maldonado". Station physical infrastructure layer.
Non-georeferenced information	Antarctic campaign information.

Source: Own elaboration.

**Stage 4:** In this phase called **Geoconsensus**, based on the configuration matrix and generated in the previous stage, we proceed to configure: the questions to be asked, the experts that will intervene in the solution of the problem, and all the base intersectorial information (geo-referenced and non-georeferenced) provided for consultation of the experts, in each of the panels for the effect that we have in the SIGIC.

Once all these parameters have been configured, we proceed to carry out the following activities in the following order:

1. An invitation is sent by e-mail to the group of experts, who upon acceptance, may participate under anonymity by analyzing the intersectorial data provided in the system itself for the purpose.
2. A (spatial) survey is presented, through which the experts are asked to identify the location they consider ideal for the goods, services or events in a given geographic space. The purpose of this is projecting those scenarios with the sought-after purposes.
3. Each expert responds anonymously to the survey, giving his or her opinion by positioning a point on the map and complementing it with a brief text message supporting the response.
4. In this way, each participant examines in real time the prevailing geo-consensus in an area of the map (in which there is at least 50 % of the opinions of all participants), and can also observe whether his or her opinion is positioned within or outside the consensus, as well as the textual arguments of the other participants. However, he or she cannot know which expert has given his or her opinion in each case, nor the exact location of the opinions, thus encouraging controlled feedback and encouraging the search for geo-consensus.

The geo-consensus area will therefore indicate a model with the optimal locations for the required goods, services or events, from a purely interdisciplinary approach, and together with the arguments provided, the needs, strengths and weaknesses of the corresponding territory will be exhibited.

It should be noted that this phase is carried out through the Internet at the time and place that each expert panelist has available for this purpose.

**Stage 5:** In this phase called **Prioritization**, with the areas and arguments resulting from the geo-consensus, all the arguments provided by the experts are evaluated, prioritizing those that are common or of greater relevance within the spatial consensus

or geo-consensus, thus determining the strengths or weaknesses of that location.

**Stage 6:** In this phase called **Formulation**, with the results obtained through geo-consensus, and after determining the strengths and territorial weaknesses of each area, organization, and use of resources in the territory, a decision was reached. The actions, strategies, and plans to locate goods, services, or events to mitigate the proposed military problem contributed to the decision-making process.

## Empirical evaluation

As part of the evaluation of this approach we proceeded to conduct a first study the previous year at the Ecuadorian Antarctic Institute, an entity attached to the Ministry of National Defense of this country under

the framework of the XX Antarctic Campaign 2015-2016, where a multidisciplinary group composed of researchers, officers of the Army, Navy and Air Force of Ecuador who have participated in the Ecuadorian campaigns to Antarctica (of which some are based in other countries of the world), collaborated in an exercise to contribute their knowledge and experience in order to locate, through anonymity and the convergence of their opinions, some areas of priority interest for the planning of activities at the Pedro Vicente Maldonado Station.

The Fig. 4 shows the history of the geo-consensus, which once the exercise was completed was determined in a diameter  $d=66.82$  m with an area of  $a= 3507.12$  m

In the main arguments that were obtained from the criteria of the experts, they determined the geo-consensus was oriented towards precautionary and restricting the nesting area of species typical of the Antarctic ecosystem.

Figure 2. SIG User Interface. Where we can observe the elements configured to interact under this approach: A. Information panel; B. Geo-consensus tools; C. Expert Opinion; D. Questions Panel; E. Obtaining the geo-consensus F. List of arguments

Source: Own elaboration.

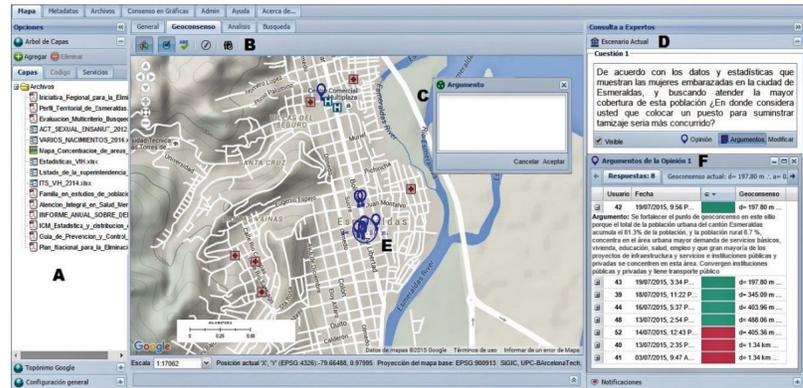
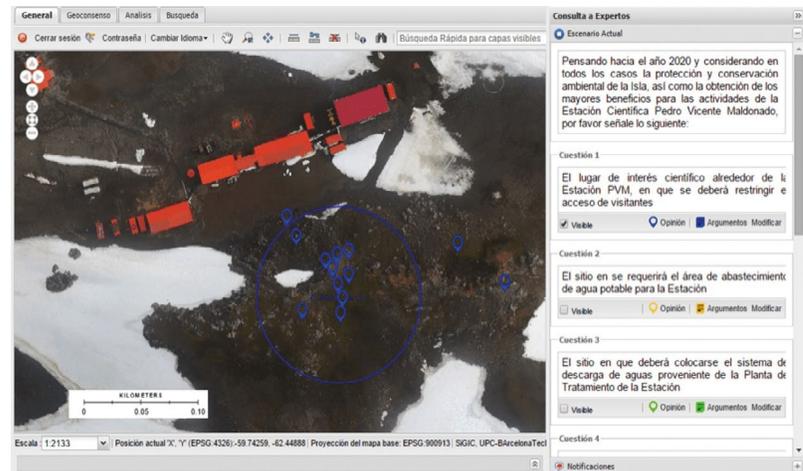


Figure 3. Screenshot of the case study in the planning of logistics operations at the Pedro Vicente Maldonado Scientific Station – Antarctica

Source: Own elaboration.



Usua...	Fecha	e	Geoconsenso
98	06/10/2015, 1:54 PM UTC -5	Green	d= 1.51 km . a= 1.79 km <sup>2</sup>
93	07/10/2015, 3:49 AM UTC -5	Green	d= 70.12 m . a= 3861.73 m <sup>2</sup>
97	09/10/2015, 6:51 PM UTC -5	Green	d= 70.24 m . a= 3874.95 m <sup>2</sup>
105	13/10/2015, 12:27 PM UTC -5	Green	d= 61.27 m . a= 2948.26 m <sup>2</sup>
112	15/10/2015, 4:34 PM UTC -5	Green	d= 70.12 m . a= 3861.73 m <sup>2</sup>
107	16/10/2015, 6:20 AM UTC -5	Green	d= 69.14 m . a= 3754.68 m <sup>2</sup>
94	16/10/2015, 8:34 PM UTC -5	Green	d= 83.74 m . a= 5507.53 m <sup>2</sup>
7	16/10/2015, 9:24 PM UTC -5	Green	d= 68.69 m . a= 3705.26 m <sup>2</sup>
99	19/10/2015, 10:28 AM UTC -5	Green	d= 68.95 m . a= 3733.35 m <sup>2</sup>
108	20/10/2015, 9:03 AM UTC -5	Green	d= 66.82 m . a= 3507.12 m <sup>2</sup>
117	07/12/2015, 9:14 PM UTC -5	Green	d= 58.65 m . a= 2701.31 m <sup>2</sup>
110	06/10/2015, 8:11 AM UTC -5	Red	d= 500.00 m . a= 0.20 km <sup>2</sup>
95	14/10/2015, 6:25 PM UTC -5	Red	d= 69.41 m . a= 3784.29 m <sup>2</sup>
96	16/10/2015, 2:35 PM UTC -5	Red	d= 70.12 m . a= 3861.73 m <sup>2</sup>
104	16/10/2015, 9:33 PM UTC -5	Red	d= 80.49 m . a= 5088.74 m <sup>2</sup>
101	19/10/2015, 2:46 PM UTC -5	Red	d= 68.95 m . a= 3733.35 m <sup>2</sup>
1	04/08/2016, 5:03 PM UTC -5	Red	d= 58.65 m . a= 2701.31 m <sup>2</sup>

Figure 4. Screenshot of the geo-consensus record

Source: Own elaboration.

Usu...	Fecha	e	Geoconsenso
98	06/10/2015, 1:54 PM UTC -5	Green	d= 1.51 km . a= 1.79 km <sup>2</sup>
<b>Argumento:</b> por que es zona de anidacion de aves y de especies como los líquenes y musgos..			
93	07/10/2015, 3:49 AM UTC -5	Green	d= 70.12 m . a= 3861.73 m <sup>2</sup>
<b>Argumento:</b> Zona rocosa con de cobertura brioliquénica. Cualquier zona cubierta de vegetación debe ser evitada			
97	09/10/2015, 6:51 PM UTC -5	Green	d= 70.24 m . a= 3874.95 m <sup>2</sup>
<b>Argumento:</b> Es una zona donde hay presente vegetación y nidos de petreles.			
105	13/10/2015, 12:27 PM UTC -5	Green	d= 61.27 m . a= 2948.26 m <sup>2</sup>
<b>Argumento:</b> En general se debe marcar senderos específicos y señalética, muy ligeros y de material biodegradable, que evite o minimice impactos ambientales y concientice a la vez a la comunidad técnica y especialmente de apoyo. La zona señalada es una de las principales pero se debe contar con un layer o capa de bionformación para que se defina lo inicialmente propuesto.			
112	15/10/2015, 4:34 PM UTC -5	Green	d= 70.12 m . a= 3861.73 m <sup>2</sup>
<b>Argumento:</b> Esta parte puede ser peligroso en ciertos meses del año. La nieve no puede asentarse bien y podría ser peligroso si alguien trata de subir pensando que es una colina con pendiente. Sin embargo, la pregunta indica un punto de interés científico, y hay varios puntos cercanos a la estación donde suelen pasar animales u aves de forma rutinaria, que podían considerarse de mayor interés que la parte que está detrás de la estación.			
107	16/10/2015, 6:20 AM UTC -5	Green	d= 69.14 m . a= 3754.68 m <sup>2</sup>
94	16/10/2015, 8:34 PM UTC -5	Green	d= 83.74 m . a= 5507.53 m <sup>2</sup>
<b>Argumento:</b> Por ser una zona de anidación de albatros y presentar una fragilidad ecológica de especies endémicas			
7	16/10/2015, 9:24 PM UTC -5	Green	d= 68.69 m . a= 3705.26 m <sup>2</sup>
<b>Argumento:</b> Zona de anidamiento de petreles que se debería precautelar el acceso de visitantes, así mismo restringir el acceso a expedicionarios			
99	19/10/2015, 10:28 AM UTC -5	Green	d= 68.95 m . a= 3733.35 m <sup>2</sup>
<b>Argumento:</b> Presencia de nidos de Petrel. Se sugiere considerar restringir el acceso solo para fines científicos. Aunado a ello, el acceso puede tomarse peligroso en ocasiones dado a lo abrupto del terreno.			
108	20/10/2015, 9:03 AM UTC -5	Green	d= 66.82 m . a= 3507.12 m <sup>2</sup>
<b>Argumento:</b> El lugar de interés de las investigaciones está en todos los materiales genéticos provenientes de los líquenes, musgos y del suelo alrededor de los mismos donde se encuentran bacterias con características únicas y también en el RIO Culebra por encontrarse en esta zona			

Figure 5. Screenshot of the main arguments

Source: Own elaboration.

## Conclusion

The results obtained from this first exercise allow us to determine that this new approach could be applied, with the appropriate adaptation, in the planning of air operations by incorporating in the TIEM a collective online feedback; also by taking into consideration the

General Staff as a collective subject, allowing to provide the Commander a multiple and interdisciplinary panorama of alternatives that facilitate his or her decision making, among which the strengths and vulnerabilities of geographical points can be mapped in order to plan, organize and execute military operations tending to avoid or accelerate their occurrence with respect to the desired future, constituting a tool of territorial strategic intelligence available to the command, at different levels of war planning.

## References

- Castillo Rosas, J. D., Jiménez Vélez, Á. F., Díez Rodríguez, J. J., Monguet Fierro, J. M. & Núñez Andrés, M. A. (2015). Geospatial System of Collective Intelligence: A technological application for the interdisciplinary study of the geographical space complexity. *Collective Intelligence Conference*, Michigan, EEUU <https://sites.lsa.umich.edu/collectiveintelligence/wp-content/uploads/sites/176/2015/06/Rosas-CI-2015-Abstract.pdf>
- Di Zio, S. & Pacinelli, A. (2011). Opinion convergence in location: A spatial version of the Delphi method. *Technological Forecasting and Social Change*, 78(9), 1565-1578. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2010.09.010>
- Emsellem, K., Lizard, S. & Scarella, F. (2012). La géoprospective: l'émergence d'un nouveau champ de recherche. *Espace géographique*, 41(2), 154-168. <https://doi.org/10.3917/eg.412.0154>
- Gnatzy, T., Warth, J., von der Gracht, H. & Darkow, I. L. (2011). Validating an innovative real-time Delphi approach - A methodological comparison between real-time and conventional Delphi studies. *Technological Forecasting and Social Change*, 78(9), 1681-1694. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2011.04.006>
- Goodchild, M. F., Yuan, M. & Cova, T. J. (2007). Towards a general theory of geographic representation in GIS. *International Journal of Geographical Information Science*, 21(3), 239-260. <https://doi.org/10.1080/13658810600965271>
- Hsieh, C. H., Tzeng, F. M., Wu, C. G., Kao, J. S. & Lai, Y. Y. (2011). The comparison of online Delphi and real-time Delphi. *Proceedings of PICMET '11: Technology Management in the Energy Smart World (PICMET)*, (pp. 1-3). <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6017652>

- Houet, T. & Gourmelon, F. (2014). La géoprospective – Apport de la dimension spatiale aux démarches prospectives. *Cybergeo: European Journal of Geography*. [En ligne], Systèmes, Modélisation, Géostatistiques, document 667, mis en ligne le 08 février 2014, consulté le 29 mai 2023. URL : <http://journals.openedition.org/cybergeo/26194> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/cybergeo.26194>
- Monguet, J., Ferruzca, M., Gutiérrez, A., Alatrisme, Y., Martínez, C., Cordoba, C., Fernández, J., Sanguino, T. & Aguilà, J. (2010). Vector Consensus: Decision Making for Collaborative Innovation Communities [conference]. *Enterprise Information Systems: International Conference, CENTERIS 2010*, Viana do Castelo, Portugal. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-16419-4\\_22](https://doi.org/10.1007/978-3-642-16419-4_22)
- Lévy, P. (1997). Education and training: New technologies and collective intelligence. *Prospects*, 27(2), 248-263. <https://doi.org/10.1007/BF02737169>
- Painho, M., Vasilakos, A., Bacao, F. & Pedrycz, W. (2005). Exploring spatial data through computational intelligence: a joint perspective. *Soft Computing*, 9, 326-331. <https://doi.org/10.1007/s00500-004-0411-6>
- Santos, M. (2006). The nature of space: technique and time, reason and emotion. *Edusp, Sao Paulo*, 4. <https://ebin.pub/the-nature-of-space-1478013486-9781478013488.html>
- Voiron-Canicio, C. (2012). L'anticipation du changement en prospective et des changements spatiaux en géoprospective. *Espace géographique*, 41(2), 99-110. <https://doi.org/10.3917/eg.412.0099>

# Sistemas aéreos remotamente tripulados en aplicaciones militares. Una revisión

| Fecha de recibido: 18 de julio 2022 | Fecha de aprobado: 26 de septiembre 2022 |

| Reception date: July 18, 2022 | Approval date: September 26, 2022 |

| Data de recebimento: 18 de julho de 2022 | Data de aprovação: 26 de setembro de 2022 |

## Richard Humberto Cáceres León

<https://orcid.org/0000-0002-0244-1980>

[richard.caceres@fac.mil.co](mailto:richard.caceres@fac.mil.co)

Doctorado en Física

Docente e investigador – Fuerza Aérea Colombiana, Colombia

Rol del investigador: teórico y escritura

Grupo de Investigación en Electrónica y Tecnologías para la Defensa

PhD in Physics

Teacher and researcher – Colombian Air Force, Colombia

Researcher's role: theoretical and writing

Electronics and Defense Technologies Research Group

Doutorado em Física

Professor e pesquisador – Força Aérea Colombiana, Colômbia

Função do pesquisador: teórica e escrita

Grupo de Pesquisa em Eletrônica e Tecnologias de Defesa

## Ignacio Alfonso Alvarado Ortega

<https://orcid.org/0000-0001-9076-6648>

[ignacio.alvarado@fac.mil.co](mailto:ignacio.alvarado@fac.mil.co)

Químico

Docente e investigador – Fuerza Aérea Colombiana, Colombia

Rol del investigador: teórico y escritura

Grupo de Investigación en Electrónica y Tecnologías para la Defensa

Chemist

Teacher and researcher – Colombian Air Force, Colombia

Researcher's role: theoretical and writing

Electronics and Defense Technologies Research Group

Químico

Professor e pesquisador – Força Aérea Colombiana, Colômbia

Função do pesquisador: teórica e escrita

Grupo de Pesquisa em Eletrônica e Tecnologias de Defesa

**Cómo citar este artículo:** Cáceres León, R. H. y Alvarado Ortega, I. A. (2023). Sistemas aéreos remotamente tripulados en aplicaciones militares. Una revisión. *Ciencia y Poder Aéreo*, 18(2), 75-93. <https://doi.org/10.18667/cienciaypoderaereo.792>



## Sistemas aéreos remotamente tripulados en aplicaciones militares. Una revisión\*

**Resumen:** Los sistemas de aeronaves remotamente tripulados de ala rotatoria en el ámbito militar se han convertido en aeronaves con aplicación táctica en el reconocimiento y la vigilancia de gran utilidad, factor que ha promovido incrementos en la investigación y el desarrollo de estos sistemas desde 2012 hasta la actualidad. Una búsqueda bibliográfica en Scopus permitió identificar 1166 documentos, que fueron tratados mediante el *software* vosViewer, organizando la información en conceptos básicos y clasificación, sistemas de los RPAS y sus aplicaciones militares. El estudio permitió evidenciar que Estados Unidos ha liderado la investigación en el área, que podría estar relacionada con las implicaciones de la tecnología en el desarrollo de múltiples conflictos armados, y que las Fuerzas Aéreas en cada país han sido los principales patrocinadores o investigadores en el desarrollo de esta tecnología.

**Palabras clave:** ala rotatoria; componentes RPAS; fuerza aérea; operaciones militares; RPAS.

## Remotely manned aerial systems in military applications. A review\*\*

**Abstract:** The rotary wing remotely piloted aircraft systems in the military field have become aircraft with tactical application in reconnaissance and surveillance of great utility, a factor that has promoted increases in research and development of these systems from 2012 to the present. A bibliographic search in Scopus allowed identifying 1166 documents, which were treated using vosViewer software, organizing the information in basic concepts and classification, RPAS systems and their military applications. The study showed that the United States has led research in the area, which could be related to the implications of the technology in the development of multiple armed conflicts, and that the Air Forces in each country have been the main sponsors or researchers in the development of this technology.

**Keywords:** Rotary wing; RPAS components; air force; military operations; RPAS.

## Sistemas aéreos remotamente tripulados em aplicações militares. Uma análise\*\*\*

**Resumo:** Os sistemas de aeronaves remotamente pilotadas de asa rotativa no campo militar tornaram-se aeronaves com aplicação táctica em reconhecimento e vigilância de grande utilidade, fator que promoveu o aumento da pesquisa e do desenvolvimento desses sistemas de 2012 até o presente. Uma pesquisa bibliográfica no Scopus identificou 1166 documentos, que foram processados com o *software* vosViewer, organizando as informações em conceitos básicos e classificação, sistemas RPAS e suas aplicações militares. O estudo mostrou que os Estados Unidos lideraram as pesquisas na área, o que pode estar relacionado às implicações da tecnologia no desenvolvimento de múltiplos conflitos armados, e que as Forças Aéreas de cada país foram as principais patrocinadoras ou pesquisadoras no desenvolvimento dessa tecnologia.

**Palavras-chave:** asa rotativa; componentes de RPAS; força aérea; operações militares; RPAS.

---

\* Artículo de revisión, elaborado en el marco del proyecto de investigación “Mejora de las capacidades operacionales de sistemas aéreos no tripulados tipo cuadricóptero para la Fuerza Aérea Colombiana”, vinculado al grupo de investigación en Electrónica y Tecnologías para la Defensa, adscrito al Centro Tecnológico de Innovación Aeronáutica de la Fuerza Aérea Colombiana

\*\* Review article, prepared within the framework of the research project “Improvement of the operational capabilities of quadcopter-type unmanned aerial systems for the Colombian Air Force”, linked to the Electronics and Technologies for Defense research group, attached to the Aeronautical Innovation Technological Center of the Colombian Air Force.

\*\*\* Artigo de revisão, elaborado no âmbito do projeto de pesquisa “Improving the operational capabilities of quadcopter-type unmanned aerial systems for the Colombian Air Force”, vinculado ao grupo de pesquisa Electronics and Defence Technologies, ligado ao Centro de Tecnologia de Inovação Aero-náutica da Força Aérea Colombiana.

## Introducción

Los nuevos desarrollos tecnológicos adelantados en la industria militar están enfocados hacia la creciente necesidad de optimizar tiempo, recursos, personal y, especialmente, salvaguardar vidas en el teatro de operaciones mediante la implementación de ventajas tecnológicas que se transforman en oportunidades operacionales significativas y facilitan el cumplimiento de la misión de las Fuerzas Militares a escala global (Altice et al., 2022; Collins, 2018; Galloy, 2022).

Una tecnología relativamente reciente y cuyas aplicaciones se han ampliado en las actividades militares son los Sistemas de Aeronaves Remotamente Tripuladas (RPAS, Remotely Piloted Aircraft Systems). Estos han venido transformando la planeación y ejecución de las operaciones militares de seguridad, vigilancia o reconocimiento no solo por el hecho de contar con una aeronave controlada desde tierra por tripulaciones que pueden ser fácilmente reemplazadas, sino también por la actualización de armamento, estrategias, tecnología, formas de defender la integridad territorial y brindar seguridad a la población civil (Hernández, 2009), aunado al interés en la seguridad de las operaciones, un factor crucial que permite mitigar la pérdida de recursos y aumentar la eficiencia operacional (Almeida, 2006; Sizza, 2014).

Una consulta bibliográfica a través de Scopus permite observar que las investigaciones en RPAS se han pronunciado desde 2012 hasta la actualidad, con un especial y creciente interés por las aplicaciones militares. A su vez, han sido financiadas principalmente por entidades de carácter militar, como la Fuerza Aérea de cada país e incluso en el marco de los programas de apoyo a la investigación de la Comisión Europea, cuyo propósito es proveer los medios que permitan la deshumanización y reducción de los efectos de la guerra en la población civil y militar (Moreno-Licona, 2012).

Por su parte, los RPAS pueden ser clasificados en sistemas de ala fija, de ala rotatoria y de conformación mixta, aunque sus características permiten una diversidad de aplicaciones en cuanto a vigilancia aérea e incluso entrega de armamento (Caño, 30 de septiembre de 2011). En el caso de los RPAS de ala rotatoria, su

reciente inmersión en las operaciones militares aéreas ha favorecido sustancialmente el desarrollo, la actividad y la planeación militar, así como la sofisticación y deshumanización del teatro de operaciones (Moreno-Licona, 2012). Esto último es debido a su autonomía en vuelo, ergonomía y reducido tamaño, que permite su inmersión desapercibida en espacios hostiles, así como un reconocimiento detallado y de alta precisión de objetivos militares específicos (Farrow, 2016).

El presente artículo de revisión busca esbozar una concepción fundamental de los RPAS en el ámbito militar, haciendo especial énfasis en los RPAS de ala rotatoria que, gracias a sus características, se han convertido en aeronaves con aplicación táctica en el reconocimiento y la vigilancia, así como en la recolección de información de alto valor en tiempos de operación reducidos. Los documentos encontrados en el área de RPAS fueron tratados mediante el *software* vosviewer y clasificados en tres temas de interés, que son abordados en esta revisión.

En primer lugar, se trata de algunos conceptos básicos referentes a la reglamentación y clasificación de los RPAS, aunque en cada caso y de manera general se hacen algunas acotaciones de las actividades o aeronaves que han sido adquiridas por la Fuerza Aérea Colombiana (FAC), en busca de contrastar el estado de la tecnología a nivel nacional en cuanto a los desarrollos y las aplicaciones a escala mundial. En segundo lugar, se describen los sistemas que son requeridos para conformar un RPAS de ala rotatoria, así como algunos trabajos referentes al diseño de: 1) sistema estructural, 2) sistema electromecánico y 3) sistema de control, que han sido los principales puntos de investigación y desarrollo reportados. Por último, se describen algunas aplicaciones recientes de los RPAS en conflictos armados y la incidencia que han tenido en el desarrollo y la planeación de las operaciones militares.

## Método

Para la elaboración del presente artículo de revisión, se realizó una búsqueda detallada a través de

metabuscadores y bases de datos como Scielo, Scopus, PubMed y Google Scholar en el periodo 2012-2022. Se encontraron 27 532 documentos relacionados con la palabra de referencia “drone”, que en su mayoría llevan a un análisis erróneo y disperso de las características propias de los RPAS y sus aplicaciones en el entorno militar, centrándose en la concepción de la aeronave y sus aplicaciones en el área civil (control climático, seguimiento fauna y flora, fotografía, geografía, espectrofotometría y agricultura de precisión, entre los conceptos relevantes). De esta manera, con el propósito de discriminar la documentación e incluir conceptos relacionados con los RPAS, los sistemas de comando y control, la navegación y la reglamentación, se empleó como palabra clave “Remotely Piloted Aircraft Systems”. Así, en ese mismo periodo se obtuvieron

1166 documentos, que fueron tratados mediante el software vosViewer; se identificaron siete clústeres o temas de interés que se relacionan directamente con RPAS, que son: 1) aeronavegabilidad, 2) nuevos desarrollos en el área, 3) automatización y tecnificación, 4) conformación de RPAS, 5) control remoto, 6) detección y sensores, y 7) aplicaciones, como se relaciona en la figura 1.

Por último, se realizó una discriminación de los documentos encontrados por aplicaciones en entornos o actividades militares, con lo que se encontraron 266 documentos, entre los cuales se destacan cinco clústeres o temas de interés principal en el área, que son: 1) operaciones militares, 2) Fuerza Aérea, 3) sistemas de información, 4) aeronavegabilidad, y 5) toma de decisiones, como se evidencia en la figura 2:

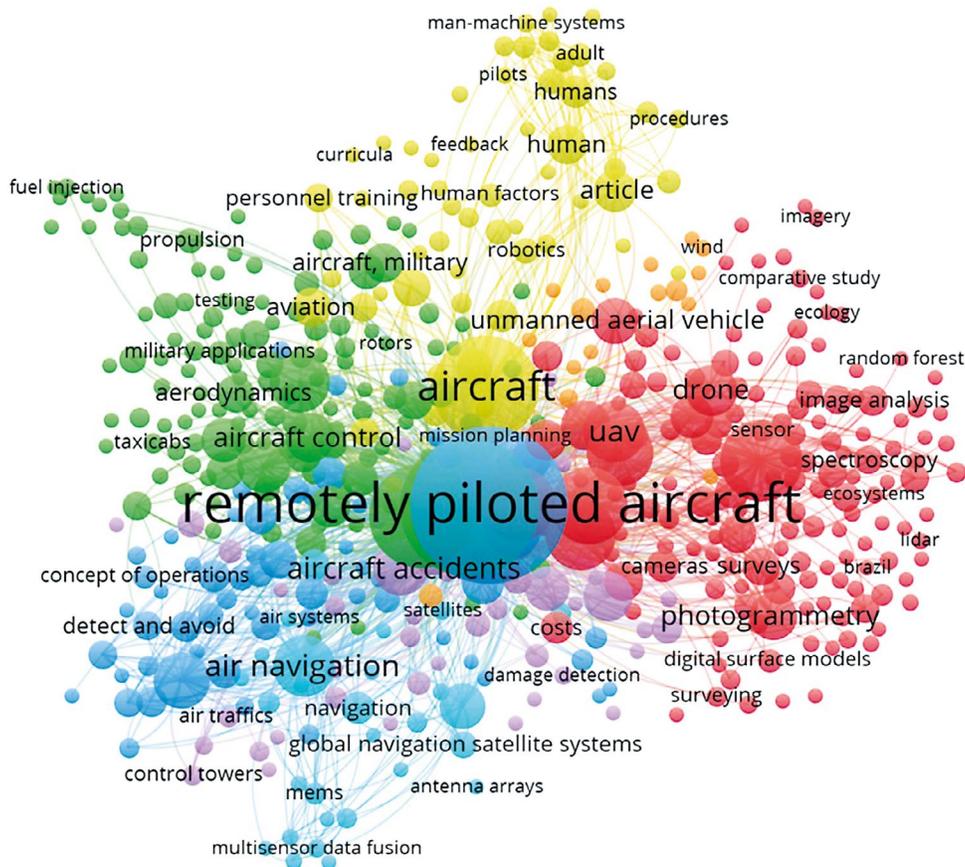


Figura 1. Análisis de correlación para las palabras claves en artículos científicos indexados sobre RPAS  
Fuente: obtenido a través de vosViewer.



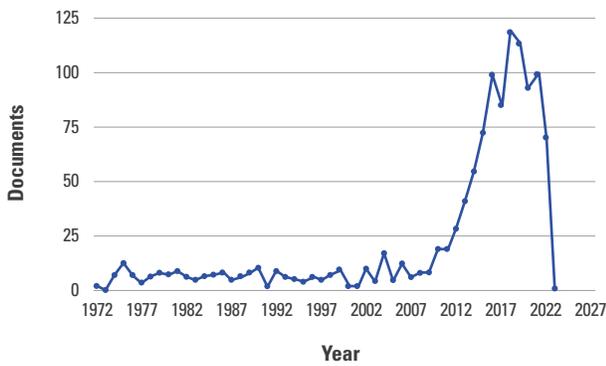


Figura 3. Relación entre la cantidad de artículos científicos publicados y el año

Fuente: tomado de Scopus.

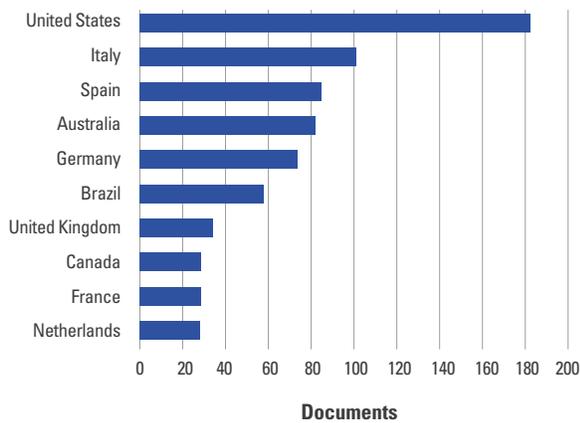


Figura 4. Relación de artículos publicados en el área de RPAS con el país de origen

Fuente: tomado de Scopus.

La amplia variedad de investigaciones sobre RPAS ha permitido que las aplicaciones de estas aeronaves sean múltiples y de amplia versatilidad; además, dependen de su clasificación, y en especial, de la reglamentación establecida que permite su funcionamiento controlado. Así pues, desde las primeras aplicaciones militares de los sistemas aéreos no tripulados en la entrega de explosivos por parte de los austriacos en 1849, entendido como el uso de un prototipo que resultó más ligero que el aire, hasta el papel crucial y estratégico que han desempeñado los RPAS en conflictos bélicos actuales (Angevine *et al.*, 2019), se ha permitido el desarrollo tecnológico de estos dispositivos favoreciendo su aplicación en áreas como: recolección de

información, reconocimiento de territorio, topografía, búsqueda y rescate, video aéreo, seguridad, vigilancia y aplicaciones agrícolas. Además, posee capacidad de manipulación remota, fácil despliegue, y costos y tiempos de operación reducidos, factores que permiten mantener la integridad del operador y aumentan la eficiencia de las actividades (Addati y Pérez, 2014; Stehr, 2015; Zhu *et al.*, 2018).

Partiendo de las amplias aplicaciones de los RPAS en diferentes áreas, la Organización de Aviación Civil Internacional (Oaci) reglamentó este tipo de aeronaves a través de la Circular 328 de 2015; y con base en esta normativa, la Aerocivil, mediante el apéndice 13 del Reglamento Aeronáutico de Colombia n.º 91 (RAC 91), estableció los lineamientos, los límites y la clasificación para este tipo de aeronaves (Ávila-Herrera, 2017; Hernández-Narváez, 2022). En la tabla 1, se relacionan el peso máximo al despegue (MTOW-Maximum Takeoff Weight) y el tipo de regulación para cada clase de aeronave, así:

Tabla 1. Clasificación RPAS según el RAC 91

Clase	MTOW	Regulación
Clase A	250 g -25 Kg	Abierta
Clase B	25 -150 Kg	Regulada
Clase C	>150 kg	Certificado

Fuente: elaboración propia.

En este caso, además del peso y la clasificación de las aeronaves, la normativa indica las limitaciones a tener en cuenta para cada clase de aeronave. En general, las operaciones no pueden efectuarse sobre el público o en reuniones de personas, solo se pueden realizar en horario diurno, no se debe operar en un radio inferior a 9 km de un aeródromo y no se puede transportar ningún elemento empleando estas aeronaves. Sin embargo, dichas regulaciones no aplican en su totalidad para las actividades y aplicaciones militares.

De tal manera, la FAC, a través de la Autoridad Aeronáutica de Aviación de Estado (AAAE), en la Circular 003 de 2021, estableció una clasificación y unos límites para los RPA, como se presenta en la tabla 2.

Tabla 2.  
Clasificación AAAE-FAC

Clase AAAE	MTOW	Radio misión (km)	Velocidad máx. (kt)
Clase I-A	200 g - 7 kg	15	40
Clase I-B	7 kg - 15 kg	25	50

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 2, es posible evidenciar que la clasificación se realiza en torno al MTOW y a las capacidades particulares de los RPAS. Así mismo, la normativa específica que los RPAS deben poseer registro, matrícula y póliza para poder realizar operaciones. Además, establece los requisitos mínimos para la selección, la instrucción y el entrenamiento de operadores y pilotos de RPAS. Esta reglamentación ha favorecido enormemente el control y la aeronavegabilidad de los RPAS en ámbitos civiles y militares, reduciendo los riesgos operacionales con aeronaves tripuladas, así como la seguridad en el interior de las bases o unidades militares.

## 1.2. Clasificación de los sistemas aéreos no tripulados

Los RPAS pueden ser clasificados de acuerdo con su peso, aplicación y estructura. Para el caso de la estructura, es posible clasificarlos en: ala fija, ala rotatoria y conformación mixta.

### 1.2.1. Sistemas de aeronaves remotamente tripuladas de ala fija

Un RPAS de ala fija es una aeronave cuya principal fuente de sustentación son sus superficies alares y posee un sistema de propulsión o despegue que le ofrece la potencia para navegar en la atmósfera (Isorna *et al.*, 2020). Estos RPAS son construidos por lo general en materiales poliméricos o espumas y la mayoría tienen una cámara en posición fija de forma horizontal, que favorece su aplicación en cartografía y toma de imágenes en amplias extensiones de territorio (Fernández y Gutiérrez, 2016).

A escala global y en el marco de conflictos armados, los RPAS más empleados han sido aeronaves como

el Raven, cuyo reducido tamaño (envergadura de 90 cm) y su versatilidad permiten su operación para el reconocimiento de zonas de geografía montañosa; y su capacidad para aterrizar en espacios reducidos lo convierte en una herramienta de mucha utilidad en el teatro de operaciones. Una segunda aeronave es el Global Hawk, que posee una envergadura de 40 m, autonomía aproximada de 22 000 km y una velocidad de más de 500 km/h, empleado especialmente para actividades de vigilancia y reconocimiento (Fulghum, 2002; Caño, 30 de septiembre de 2011).

Una tercera aeronave es el MQ 1 Predator, la cual se empleó por primera vez para realizar actividades de inteligencia y entrega de armamento en los conflictos del Medio Oriente en febrero de 2002. Posee una capacidad de 300 kg de carga útil de combustible y armamento, alcanzando velocidades de 400 km/h y autonomías de hasta veinticuatro horas de vuelo (Acosta *et al.*, 2020). Junto con el MQ 9 Reaper, una aeronave de 20 m de envergadura, velocidad de 370 km/h y una autonomía de casi 2000 km, se convirtieron rápidamente en aeronaves empleadas para ejecutar ataques a objetivos identificados, con reducidos efectos colaterales gracias a su equipamiento con sensores infrarrojo y láser (Calderón, 4 de enero de 2020).

Por su parte, la FAC opera RPAS de ala fija como Scan Eagle (Páez, 2020), Hermes 450, Hermes 900 (Cadauid, 2018); y más recientemente, el FVR-90 Airframe. Los RPAS ScanEagle llegaron a Colombia en 2006 mediante una donación de Estados Unidos; y su primer logro importante se realizó en julio de 2007, dado que gracias a la información recolectada por esta aeronave se ejecutó una operación militar de bombardeo en la zona de Aguablanca, Caquetá (García, 23 de diciembre de 2011); fue la primera operación conjunta realizada mediante la coordinación de aeronaves tripuladas y no tripuladas en Colombia. Esta aeronave tiene una envergadura de 3,1 m, un alcance de 100 km, autonomía de más de veinte horas de vuelo y puede alcanzar velocidades cercanas a los 140 km/h; además, está equipada con cámaras de alta potencia y sensibilidad que permite obtener información detallada de un objetivo desde distintas perspectivas (Goyné, 2019; Reineman *et al.*, 2016).

La FAC adquirió los RPAS de tipo Hermes en 2013 y fueron asignados al Comando Aéreo de Combate N.º 2, con lo que se convirtieron en un referente regional del uso de RPAS en el desarrollo del conflicto, que contrarresta la influencia de la actividad de los grupos ilícitos en la Orinoquia colombiana (Jaimes y Cárdenas, 2019). El Hermes 450 es una aeronave con una envergadura de 10,5 m, capacidad de carga útil de máximo 150 kg, alcanza velocidades de hasta 150 km/h y una autonomía cercana a las veinte horas (Ortega, 2015); y el Hermes 900 es una aeronave que puede alcanzar velocidades de hasta 220 km/h, posee una envergadura 15 m y una capacidad de carga útil de hasta 300 kg. Ambas aeronaves le han otorgado una capacidad distintiva a la FAC para la ejecución de actividades y operaciones de reconocimiento e inteligencia aérea (Cadavid, 2018).

Aunque los RPAS de ala fija ofrecen una capacidad operacional para el desarrollo de las operaciones militares, estas aeronaves poseen elevados tiempos de alistamiento, en conjunto con los costos atribuidos a la adquisición y el mantenimiento. Un caso específico es el de los sistemas Hermes 450 y 900 asignados al Comando Aéreo de Combate N.º 2, en los que se han evidenciado inconvenientes respecto a la transferencia tecnológica por parte de la casa fabricante para la instrucción y el entrenamiento de nuevos pilotos, factores que afectan la logística y operatividad de esta aeronave en la Orinoquia colombiana (Jaimes y Cárdenas, 2019).

### 1.2.2. *Sistemas de aeronaves remotamente tripuladas de ala rotatoria*

Los RPAS de ala rotatoria son aeronaves cuya principal fuente de sustentación está dada por la acción de hélices o propelas, que a su vez, y acorde a la capacidad de los motores, ofrecen el empuje necesario para navegar por la atmósfera, así como la velocidad en el desplazamiento o la capacidad de carga útil (Kardasz *et al.*, 2016; Serrano *et al.*, 2022). Estas aeronaves son clasificadas de acuerdo con el número y la disposición de las propelas, que van desde helicópteros con una propela y un rotor de cola, hasta modelos más complejos tipo cuadricóptero, hexacóptero y octacóptero con cuatro,

seis y ocho rotores, respectivamente. La cantidad de motores depende de las aplicaciones que se pretendan para la aeronave, y a mayor cantidad de motores, el control del vehículo es más complejo, pero aumenta su estabilidad y resistencia a fallas. Aunque la forma más común de los RPAS multirrotor son los cuadricópteros (cuatro hélices), debido a la compensación de fuerzas dada por acción de los cuatro motores (Calabrini *et al.*, 2015).

Los primeros prototipos de estas aeronaves aparecieron en 1907, cuando los hermanos Breguet lograron el primer vuelo vertical a motor en un cuadricóptero, conformado por cuatro tubos de acero, cada uno acoplado a un rotor de cuatro palas de estilo biplano, de modo que cada rotor tenía ocho superficies de elevación (Leishman, 2006). Este primer prototipo necesitaba un piloto y cuatro personas que se ubicaban en cada brazo del cuadricóptero para equilibrar la máquina (Nicol, 2008). En 1920, el ingeniero francés Étienne Oehmichen construyó un sistema aéreo multirrotor, que constaba de cuatro rotores de dos palas y ocho pequeñas propelas, empleadas para la estabilidad lateral de la aeronave y para dar empuje y direccionalidad (Leishman, 2006). En 1956, Convertawings creó el Modelo A Quadrotor, el primer diseño de un cuadricóptero con la capacidad de mantener el vuelo estacionario y lateral, empleando únicamente cuatro rotores. Desde entonces, con base en este diseño, se han dado múltiples avances en cuanto a su estructura, tamaño y fabricación (Nicol, 2008).

Estas aeronaves ofrecen una ventaja para las aplicaciones militares, puesto que tienen autonomías de vuelo aproximadas a los 30 min acorde con la eficiencia y densidad energética de la fuente de poder; además, pueden girar sobre su propio eje en distancias relativamente cortas, lo cual permite su aplicación en actividades de reconocimiento, inteligencia aérea o infiltración en zonas de difícil acceso (Zhu *et al.*, 2018). La FAC ha adquirido estas aeronaves de la casa fabricante DJI, que tienen elevadas prestaciones en relación con el costo-beneficio y que han sido asignadas a los diferentes grupos de seguridad de las unidades militares aéreas con el propósito de hacer, principalmente, vigilancia y reconocimiento aéreo.

En el marco de estas aplicaciones, la investigación y el desarrollo de los RPAS de ala rotatoria está en auge a escala global, por lo que la FAC, dentro de su sistema de ciencia, tecnología e innovación, ha adjudicado importantes recursos al Centro Tecnológico de Innovación Aeronáutica (Cetia). Este es un espacio orientado al apoyo en infraestructura, equipos e insumos para el desarrollo de los proyectos de investigación adscritos al grupo de investigación en Electrónica y Tecnologías para la Defensa (TESDA), que ha encaminado sus actividades de investigación en torno al diseño y la fabricación de sistemas aéreos remotamente tripulados de ala rotatoria con capacidades misionales autónomas, que permitan en un futuro ofrecer una capacidad distintiva en la ejecución de las operaciones militares aéreas. Además, la FAC cuenta con la Escuela Básica de Aeronaves Remotamente Tripuladas (EBART) del Comando Aéreo de Combate N.º 3, que han sido pioneros en la capacitación y formación de personal en actividades de pilotaje de RPAS de ala rotatoria con aplicaciones militares.

## 2. Sistemas RPAS

El desarrollo de sistemas de aeronaves remotamente tripuladas ha estado orientado a tres sistemas, así: 1) sistema estructural, 2) sistema electromecánico y 3) sistema de control, que son descritos en detalle a continuación.

### 2.1. Sistema estructural

Este sistema se apoya en el diseño asistido por computadora y hace referencia a las hélices y a la conformación del fuselaje del RPA, que es el encargado de dar soporte y estabilidad a la aeronave; además, dependiendo del material de elaboración puede tener aplicaciones diversas según su peso (Addati y Pérez, 2014). Las hélices están compuestas por un cubo al que van acopladas las palas, que al ser sometidas a un sistema en rotación, tras interactuar con un medio fluido, generan una fuerza de sustentación y una trayectoria helicoidal, esto es, la combinación de un movimiento de rotación en torno a un eje dado con un movimiento de

traslación sobre el mismo eje (movimiento rototraslatorio), que lleva al desplazamiento de la aeronave. De esta manera, al espacio recorrido en una revolución o giro completo de la hélice se le denomina paso efectivo (López, 2012; García y Tarazona, 2006).

Las hélices también se someten a una fuerza de arrastre o resistencia que se opone al movimiento y reduce la velocidad, así cada pala contribuye a la potencia y a la fuerza ejercida por el motor para la rotación de la hélice (torque). Se pueden emplear hélices de dos y tres palas, según las necesidades del RPA; las hélices de dos palas ofrecen fuerza, mientras que las hélices de tres palas ofrecen velocidad y maniobrabilidad a la aeronave (Kabierschke, 2004).

Los RPAS de ala rotatoria multirrotores, acorde a la disposición y relación de las hélices, pueden dar lugar a diferentes diseños para la estructura o *frame*, como se presenta en la figura 5. Para los cuadricópteros, dos de las propelas deben girar en sentido horario y dos en sentido antihorario, acción que genera una fuerza de empuje que provee sustentación y contrarresta el torque, impidiendo que la aeronave se mueva en círculos (Addati y Pérez, 2014).

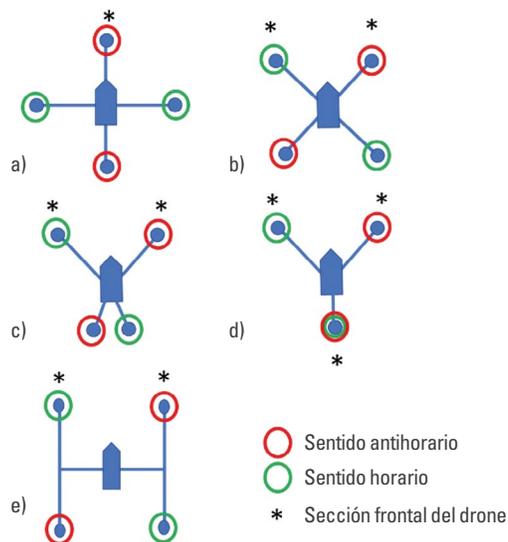


Figura 5. Conformación del *frame*, el cual puede ser de tipo a) +; b) X; c) V; d) Y; e) H

Fuente: adaptado de Kardasz *et al.* (2016).

En este caso, las hélices que ejercen el control de la aeronave son señalizadas con un asterisco (\*). Para la figura 5d) conformación en Y, el eje puede ser conducido por los dos ejes principales, como el caso de las conformaciones en X, o puede ser controlado por un único eje, como el caso de la figura 5a). Adicionalmente, la figura 5 presenta los ejes de rotación para cada uno de los ejes de movimiento en las diferentes conformaciones, en los que es posible evidenciar el giro en sentido horario y antihorario de los rotores.

Alrededor del sistema estructural se han desarrollado múltiples investigaciones que buscan determinar métodos eficientes y económicos para el diseño y la fabricación del fuselaje de los RPAS. Bright *et al.* (2021) reportaron el diseño y la fabricación del *frame* para un RPA y un estudio comparativo con aeronaves comerciales; esta investigación enfatiza la exploración del diseño del marco del dron utilizando la herramienta Generative Design en Autodesk. Los resultados de la simulación, como la tensión-deformación estática, la frecuencia modal y el desplazamiento del cuadricóptero fabricado se compararon con el marco de un dron DJI Flame Wheel F450. Se encontró que la técnica de Generative Design permite la obtención de estructuras con mejores características, como resistencia a la fractura, y con desplazamiento mínimo en comparación con el marco del dron F450 de DJI de diseño tradicional (Bright *et al.*, 2021).

Así mismo, Nvss *et al.* (2022) presentaron una investigación sobre la reducción del peso del marco mientras se cumple con los requisitos de integridad estructural, a través de la optimización de la topología, la consolidación de piezas y el diseño para la fabricación aditiva (DFAM), con el fin de obtener un marco como una estructura de monocasco. Para su fabricación, se emplearon filamentos fusionados (FFF) y se evaluaron las características estructurales, vibratorias y de fatiga. En este trabajo, se encontró un desempeño superior en operatividad y resistencia frente a los diseños comerciales, siendo una excelente herramienta para el diseño preciso, aerodinámico y eficiente (Nvss *et al.*, 2022).

Por su parte, el Cetia plantea una metodología para el diseño y la fabricación de los fuselajes para

RPAS, con base en tres herramientas: 1) diseño 3D, 2) manufactura aditiva y 3) ingeniería inversa. Para el desarrollo de esta metodología, el Cetia ejecuta un proceso secuencial para obtener los diseños conceptuales, preliminares y detallados de las piezas y los prototipos, mediante el empleo de diferentes *softwares* de diseño, procesamiento y simulación de piezas de altas prestaciones y características, a saber: Solidworks, Ansys, Design X, Catia, SolidEdge, Altium y Abaqus.

Así mismo, se desarrolla un proceso de ingeniería previo, verificando y validando cada uno de los diseños para la fabricación de los prototipos mediante manufactura aditiva, un proceso importante que se puede desarrollar en corto tiempo, con un gasto mínimo de recursos, y obtener desarrollos eficientes y contundentes. Para lo anterior, se cuenta con diferentes impresoras de manufactura aditiva (*3D printing*) que permiten ofrecer múltiples soluciones según el requerimiento planteado. Estas son: Markforged Mark Two (impresora de alta calidad con refuerzo en materiales compuestos); ProtoLab (impresora de altas prestaciones para prototipado rápido en materiales como ABS, PLA, TPU, etc.); SnapMaker 3en1 (impresora de tamaño pequeño con capacidad de realizar tres procesos: impresión, corte láser y mecanizado); y Mcor Iris (impresora de prototipado en papel). Una tercera herramienta es la ingeniería inversa, que complementa los procesos anteriores, se compone de un escáner 3D industrial de alta precisión y su respectivo *software* de posprocesamiento, que permite reducir los tiempos de diseño y la obtención de prototipos funcionales con alto grado de detalle.

## 2.2. Sistema electromecánico

Un sistema electromecánico es todo aquel que posee la capacidad para convertir un flujo de energía eléctrica en energía mecánica, o también puede ser descrito como aquel sistema mecánico cuyo funcionamiento requiere electricidad; es el caso específico de los motores como principal fuente de propulsión y sustentación de los RPAS de ala rotatoria. Los motores eléctricos están constituidos por dos elementos: 1) un estator y 2) un rotor (Nüesch *et al.*, 2014). Cuando se habla del

estator, se hace referencia a la sección del motor que no gira, conformada por imanes que inducen polos magnéticos y un embobinado de cobre por donde circula la corriente eléctrica; mientras el rotor es la parte interna del motor que gira a gran velocidad, se apoya en cojinetes de rozamiento (denominados baleros) y siempre se mantiene un espacio constante rotor-estator (denominado entrehierros). El movimiento del rotor es estrictamente dependiente del número de puntos magnéticos (imanes) que tenga el estator (Tiseira *et al.*, 2022; Xie *et al.*, 2022)

El funcionamiento de estos motores eléctricos se da mediante el paso de un flujo de corriente eléctrica, que va a través de un material conductor (por lo general, un embobinado de cobre), y tras la interacción con los imanes del estator, lleva a la formación de campos y polos magnéticos. Posteriormente, por acción de polos opuestos se induce al movimiento del rotor (eje interno), en sentido contrario a la bobina o imán externo (estator), dando lugar al movimiento de rotación de las hélices (Calcabrini *et al.*, 2015; Eqbal *et al.*, 2021; Fernández y Gutiérrez, 2016; Lobo *et al.*, 2021)

Los RPAS de tipo multirrotor, en general, emplean motores tipo Brushless, de modo que el cambio de la polaridad no está dado por acción de las escobillas, sino que son eléctricamente conmutados por interruptores. Esto ofrece algunas ventajas técnicas y de funcionamiento, como la reducción de fricción, ruido y temperatura, que se ven reflejadas en una relación peso-potencia superior a la utilizada por los motores con escobillas y en una eficiencia energética mayor al 80%; además, son alimentados por una fuente de corriente continua (Calcabrini *et al.*, 2015; Fernández y Gutiérrez, 2016).

La elección de los motores para los VANT se debe realizar teniendo en cuenta la relación empuje/peso, eficiencia, consumo energético, el kv y los usos que tendrá la aeronave. El valor de kv hace referencia a la constante de velocidad por unidad de voltaje o también puede definirse como el aumento de RPM del motor cuando la tensión sube un voltio. De tal manera, los motores con un kv pequeño son motores con un menor consumo energético y están recomendados para mover hélices de grandes dimensiones; por el contrario,

los motores de kv alto emplean un mayor amperaje, son indicados para mover hélices pequeñas y se emplean en aeronaves con altos requerimientos de velocidad (Villaseñor, 2016).

Aunque el kv ofrece un valor cercano a las características operacionales del motor, se trata de un valor teórico calculado en laboratorio sin tener en consideración el peso o los entornos reales a los que se verá sometido; resulta necesario tener un parámetro adicional para la elección del motor, como el tamaño (Norhisam *et al.*, 2010). Los motores eléctricos pueden clasificarse acorde a su tamaño, que normalmente se indica con cuatro dígitos AABB, donde AA es el diámetro del estator y BB es la altura del estator, ambos valores medidos en milímetros. Al incrementar las magnitudes del estator en altura o diámetro, aumenta el volumen del motor, los imanes y el embobinado que lleva a un incremento en el empuje del motor (Park *et al.*, 2015).

En la tabla 3, se relacionan las especificaciones técnicas de funcionamiento de cuatro motores comerciales de diferentes tamaños. La selección del tamaño de los motores se hizo teniendo en cuenta el tamaño de la hélice más grande sugerida para el motor, el empuje máximo generado y la batería, en busca de evidenciar los cambios de las especificaciones técnicas a los que llevan variaciones en las magnitudes de diámetro y altura del estator. En todos los casos, se tuvo en cuenta la casa fabricante EMAX<sup>R</sup>, valiéndose de la amplia información técnica que ofrece de sus motores y su posición en el mercado (tabla 3).

**Tabla 3.**  
Especificaciones técnicas de motores acorde a su tamaño

	Tamaño	kv	Hélice	Empuje (g)	Batería
a	5210	190	18*5,5	3460	6S
b	4008	380	15*5,5	1550	6S
c	3515	650	10*3,8	1200	5S
d	2808	660	10*4,5	950	4S

Fuente: elaboración propia.

La tabla 3 evidencia la relación directamente proporcional del tamaño del motor y el empuje máximo que puede ejercer, así como la relación inversamente

proporcional entre el kv y el tamaño de la hélice. En las filas a y b de la tabla 3, se puede observar que, aunque la fuente de alimentación para ambos casos es una batería 6S, algunos parámetros como el empuje y el tamaño de la hélice tienen una amplia diferencia en cuanto a magnitudes. En el caso de las filas c y d, aunque el kv y el tamaño de la hélice es semejante, el empuje resultante es diferente y se relaciona con el tamaño del motor.

Como se evidencia en la tabla 3, existe una relación estrecha entre la fuente de alimentación (batería) y el funcionamiento adecuado del motor. Las fuentes de poder utilizadas en los RPAS son muy variadas, pero se deben tener en cuenta, así como el tiempo en el que pueden ser empleadas sin generar residuos o efectos adversos en el entorno. Las baterías, en este caso, han tomado un papel fundamental frente al almacenamiento y el uso de la energía, desde su producción a escala por Sony en 1991 (Kazimierski, 2018). Estas pueden estar constituidas por componentes como: plomo-ácido, níquel-cadmio, zinc-bromo, sodio-azufre, iones litio y vanadio (Da Silva Lima *et al.*, 2021). Además, su uso resulta ventajoso en relación con su capacidad energética y tiempo de vida útil, frente a herramientas que son dependientes de la disponibilidad de otros recursos, que algunas veces son de especificidad geográfica, factor que no es conveniente para la producción descentralizada de energía (Ibrahim *et al.*, 2008).

A su vez, la ergonomía de las baterías ha permitido el desarrollo de múltiples tecnologías de tamaño reducido. Es el caso de las baterías basadas en el ion litio, uno de los átomos más livianos del sistema periódico y cuyas propiedades como baja electronegatividad y electroafinidad le permiten una movilidad del electrón en su capa más externa, que favorece los procesos de óxido-reducción durante la carga y descarga de la batería ofreciéndole un alto valor electroquímico (Evarts, 2015). Aunque el ion litio posee un potencial de reducción y una capacidad energética menores a las de su forma metálica, ofrece mayor estabilidad térmica y más ciclos de recarga (Parker *et al.*, 2017). Así mismo, estas baterías poseen alta eficiencia energética, efectos de memoria bajos y densidad de energía

adecuada para sistemas de almacenamiento de energía con mayor capacidad, y para sistemas y dispositivos eléctricos y electrónicos (Dos Reis *et al.*, 2021).

En el área de las baterías de ion litio, uno de los avances relativamente recientes son las celdas de litio-polímero (en adelante, LiPo). Estas baterías son empaquetadas de forma laminar y en tamaño incluso menor a las de las baterías de ion Li<sup>+</sup> convencional. La diferencia en este tipo de baterías está en el tipo de electrolito presente en la celda electroquímica; para el caso de las baterías LiPo, este electrolito puede ser un material poroso o un gel conductor, siendo este último el más acogido y disminuyendo el riesgo de derrame. Aunque el costo de producción y manufactura de las baterías LiPo es más elevado que el de las baterías convencionales, son flexibles y ofrecen una mayor capacidad de descarga, factor que se refleja en una mayor capacidad operativa del RPAS (Venkatasetty y Jeong, 2002).

Las baterías LiPo no resultan ventajosas frente a la cantidad de ciclos de recarga a los que se pueden exponer. Una batería con manejo adecuado puede permitir hasta 300 ciclos de recarga, y un manejo inapropiado conduce a un tiempo de vida incluso menor de 50 ciclos; mientras que las celdas de ion Li<sup>+</sup> pueden ofrecer hasta 1000 ciclos de recarga. De tal manera, el manejo en los ciclos de carga y descarga de las celdas LiPo es minucioso, debido a que el voltaje de ruptura del gel empleado como electrolito está muy cercano al voltaje de carga total de la batería, así que una sobrecarga o fluctuaciones en la energía conllevan daños irreversibles en los componentes de las celdas de la batería. Bajo esta premisa, las baterías de LiPo que manejan varias celdas electroquímicas requieren un control electrónico en su carga que impida el estrés o la sobrecarga en alguna de las celdas (Moore y Schneider, 2001). Esto último aunado a su inestabilidad, envejecimiento y potencial peligro a explotar en caso de que los electrodos se toquen.

### 2.3. Sistema de control

Este sistema está constituido especialmente por una controladora de vuelo, un controlador electrónico de

velocidad (ESC-Electronic Speed Controller) y los sensores. La controladora de vuelo posee un algoritmo de control para operar basado en la información que recibe de los sensores, como la brújula, el magnetómetro y el giróscopo, que se encuentran presentes en la Unidad de Medida Inercial (IMU-Inertial Measurement Unit). La IMU es un dispositivo electrónico que detecta la tasa de aceleración, la velocidad angular y los cambios del campo magnético, utilizando una combinación de acelerómetro, giroscopio y magnetómetro (Sigalos *et al.*, 2019).

Adicionalmente, la controladora de vuelo recibe las señales del centro de control o ejecuta los comandos para rutas programadas, enviando la información al ESC para el comando del movimiento de los motores, y compensar y equilibrar el sistema. El ESC es el encargado de controlar la velocidad y la dirección del motor variando constantemente el flujo eléctrico proveniente de la batería, efecto que permite acelerar y desacelerar los motores y ejecutar los movimientos del RPA como *pitch*, *roll* y *yaw* (Garijo *et al.*, 2009; Hejduk, 2015), definidos como:

- **Pitch** (cabeceo): es un movimiento del RPAS que consiste en la inclinación del frente de la aeronave, ya sea hacia arriba o hacia abajo, y en conjunto con el empuje de los motores permite el desplazamiento de la aeronave hacia adelante o hacia atrás.
- **Roll** (alabeo): este movimiento consiste en la rotación de la aeronave sobre su eje longitudinal, facilitando el movimiento izquierda-derecha.
- **Yaw** (guiñada): movimiento de rotación sobre el eje vertical y el centro de gravedad de la aeronave.

Aunque la controladora de vuelo y el controlador electrónico de velocidad cumplen un papel fundamental en el funcionamiento del RPA, se deben tener en cuenta los sensores con los que está equipada la aeronave. Entre los principales sensores se tienen:

**Acelerómetro.** Este sensor permite una medición precisa de la aceleración del RPAS cuando se llevan a cabo movimientos de la aeronave en cualquier

dirección sobre un eje específico. Un inconveniente de este sensor es que estima la aceleración de manera general, es decir, involucra en esta medida el valor de la gravedad (Pozo, 2010).

- **Giroscopio.** Es un dispositivo empleado en la navegación inercial, encargado de medir la variación del ángulo de movimiento de la aeronave en función del tiempo, mientras la aeronave se encuentra sometida a una velocidad angular o en rotación. Su uso en los RPAS consiste en la medición de los ángulos para ejecutar los movimientos de *pitch*, *roll* y *yaw* (Pozo, 2010).
- **Magnetómetro.** Provee una señal eléctrica que es proporcional al vector del campo geomagnético, lo cual permite la orientación de la aeronave en sentido de los puntos cardinales y es semejante a la acción de la brújula.
- **Barómetro.** Permite determinar la altura a la que se encuentra la aeronave respecto a la superficie, con base en la relación de proporcionalidad inversa entre las variables de altura y presión atmosférica (Esposito *et al.*, 2021).

A su vez, los RPA utilizan un tipo especial de sensores para realizar la navegación y garantizar un vuelo seguro, a saber, los sensores de proximidad que permiten detectar la presencia de un objeto a cierta distancia y se basan en un emisor que genera una señal y el tiempo que tarda en reflejarse en una superficie (Bernad, 2019). Existen distintos tipos que van desde cámaras hasta sistemas electromagnéticos, y los más utilizados son:

- **Sensor infrarrojo:** El funcionamiento de este sensor se basa principalmente en la emisión de un haz de luz con longitud de onda en la región infrarroja, que al chocar con una superficie se ve reflejada y es detectada por el sensor. Este tipo de sensores tiene desventajas como la distancia, los límites de detección y la sensibilidad en entornos iluminados, factores que limitan el tiempo de reacción frente a una posible colisión (Bernad, 2019).

- **Sensor Lidar:** (Light Detection and Ranging). Estos sensores están basados en la teledetección por láser, operan emitiendo una radiación laser sobre una superficie, y mediante un receptor se estima el tiempo que tarda el láser en reflejarse sobre la superficie y volver a su fuente, tiempo que permite identificar la proximidad con objetos que puedan interponerse en el trayecto del RPAS (Thakur, 2016).

Algunos trabajos reportados en la literatura evidencian la importancia de los sistemas de sensores de un RPAS, especialmente en la prevención de desastres o en procedimientos de mitigación, preparación, respuesta y recuperación, tal como: evaluación de vulnerabilidades y modelización de riesgos; supervisión de sistemas de barrera, desviación y retención; detección de peligros; suministro de datos de referencia, búsqueda y rescate; evacuación; evaluación rápida de daños e infraestructura crítica; evaluación de daños en profundidad; recuperación de infraestructura; recuperación de vivienda, y seguimiento ambiental (Kucharczyk y Hugenholtz, 2021). Adicionalmente, los autores reportan que cerca del 70% de las aeronaves utilizadas en estos procedimientos son sistemas multirrotor con autonomía de vuelo cercana a los 30 min y equipadas con cámaras comerciales RGB (Red Green Blue) (Gonçalves *et al.*, 2022).

Así mismo, el uso combinado de los sensores que equipan el RPAS da lugar a un sistema de detección y posicionamiento altamente eficiente. Deilamsalehy y Havens (2016) reportaron un procedimiento para la determinación de posición y orientación para una plataforma en movimiento en un entorno tridimensional (3D), mediante la fusión de sensores múltiples para una estimación precisa y para compensar las deficiencias individuales de los sensores. Se emplearon sensores con la capacidad de localización 3D a fin de estimar la posición completa de un vehículo aéreo no tripulado, y se emplearon datos de detección de luz 2D tipo Lidar, que es capaz de estimar una posición en un plano 2D, y junto con los datos de la cámara y los sensores de inercia, permite determinar una posición tridimensional bastante precisa (Deilamsalehy y Havens, 2016).

### 3. Aplicaciones militares de los RPAS

A escala global, Estados Unidos ha sido pionero en el uso de RPAS en conflictos bélicos, como en la denominada “guerra contra el terrorismo”, patrocinada por el gobierno de George Bush desde 2001 y demás implicaciones que han surgido alrededor de este conflicto (Batiz, 2014).

De acuerdo con Scopus, las investigaciones relacionadas con las aplicaciones de RPAS en entornos militares han tenido su mayor actividad en el periodo 2014-2017. Esto podría estar relacionado, para el caso de Estados Unidos, con la ampliación de la actividad militar a otras zonas de conflicto como Pakistán, Afganistán, Somalia, Libia y Yemen en las conocidas “guerras sucias”. Diferentes autores han reportado que en dichos países para 2012 se habían eliminado cerca del 70% de los líderes de Al Qaeda empleando ataques con RPAS y para 2015 habían sido ejecutados cerca de 500 ataques con RPAS, con 4000 bajas enemigas (Batiz, 2014; Tello, 2018).

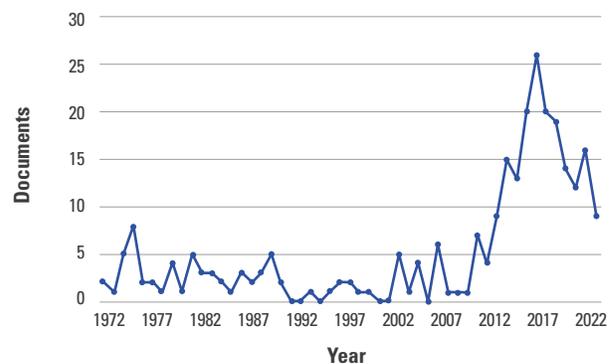


Figura 6. Relación de los documentos publicados por año para aplicaciones de RPAS en actividades militares

Fuente: tomado de Scopus

De tal manera, la inclusión de RPAS ha permitido modificar el planeamiento y el desarrollo de las operaciones militares, especialmente en el área de la estrategia, tomando nuevas acciones para controlar la actividad del enemigo; incluso, se ha reportado que desde 2004 Estados Unidos no contempla el desarrollo de operaciones militares sin el empleo de RPAS (Jaimes y Cárdenas, 2019). Un caso puntual es la situación de

Pakistán, donde se ha evidenciado que la inclusión de RPAS en los procedimientos militares favorece la ejecución de una estrategia que involucra la ruptura y la destrucción del sistema organizacional del enemigo (Bergen y Tiedemann, 2011; Johnston y Sarbahi, 2016). La ruptura como primer mecanismo de ataque es la interrupción de las actividades del enemigo, posibilitando la reducción de la capacidad operacional y el control de un territorio, mediante la selección de objetivos y la ejecución de ataques precisos de letalidad reducida (Aslam, 2011; Johnston y Sarbahi, 2016). La destrucción como segundo mecanismo hace referencia al ataque a figuras de autoridad y liderazgo dentro de la organización, lo cual la deteriora, debido a que una transición de mando en el interior de estas organizaciones resulta compleja, especialmente porque son violentas, clandestinas y carecen de legitimidad (Price, 2012).

Un caso reciente de las aplicaciones de RPAS en operaciones militares es el conflicto entre Ucrania y Rusia, que ha sido denominado la ‘primera guerra mundial con tecnología’ y en el que los sistemas aéreos remotamente tripulados han demostrado una capacidad determinante para la reducción de bajas de los integrantes de las diferentes instituciones militares y para la optimización de los equipos, aeronaves, vehículos, personal y armamento (Collins, 2018). En este conflicto, se ha destacado la capacidad para equipar a los RPAS con sensores de alta sensibilidad y una estructura sólida en las telecomunicaciones, articulando múltiples fuentes de información con un sistema de selección y eliminación de objetivos en tiempo real de operación (Angevine *et al.*, 2019).

En Latinoamérica, las implicaciones de los RPAS en las operaciones han estado relacionadas con actividades de reconocimiento, seguridad, búsqueda y salvamento de personal, pero se espera su aplicación en actividades operativas de mayor exigencia como la entrega de armamento, especialmente por el incremento en las importaciones de estas aeronaves y las crecientes iniciativas de fabricación de RPAS abordadas por diferentes países latinoamericanos (Ortega, 2015).

En general, los RPAS a escala global, regional y nacional han apoyado el desarrollo de conflictos bélicos

mitigando sustancialmente la pérdida de vidas humanas y encaminando a la civilización en una nueva forma de hacer la guerra. Pero, aunque es una tecnología que tiene diversidad de aplicaciones, aún se requiere el desarrollo de capacidades y autonomías superiores, motivo por el cual los países invierten recursos importantes en la investigación y el desarrollo de nuevas tecnologías con aplicaciones en los diferentes teatros de operaciones, que en últimas pretenden alcanzar de manera veloz la deshumanización de la guerra.

## Conclusiones

La búsqueda bibliográfica en Scopus evidenció la gran cantidad de investigaciones realizadas en el área de los sistemas aéreos remotamente tripulados. Se identificó a Estados Unidos, Italia y España como los países con mayor aporte en el desarrollo y la investigación en temas relacionados a RPAS; además de una creciente productividad en la investigación de aplicaciones militares, tema en el cual los mayores aportes fueron realizados por Estados Unidos y con patrocinio de entidades militares como la Fuerza Aérea en cada país.

El análisis de los datos mediante el *software* viewer permitió identificar tres puntos de interés para abordar la investigación de los sistemas aéreos remotamente tripulados, que son: 1) la clasificación y las regulaciones; 2) los sistemas que confirman un RPAS; y 3) las aplicaciones, que en este caso se orientaron con especial interés al entorno militar y las ventajas que ofrecen en el desarrollo de operaciones militares.

Se logró evidenciar: i) el efecto sinérgico del sistema estructural, el sistema electromecánico y el sistema de control, ii) la relación de proporcionalidad entre el tamaño del motor y el empuje máximo ejercido, y iii) la proporcionalidad inversa del kv del motor y el tamaño de la hélice, parámetros que son claves al momento de optimizar los tiempos de autonomía o alcance de los RPAS en el marco de nuevos proyectos de investigación y desarrollo.

Por último, los RPAS han sido partícipes del desarrollo de operaciones militares en el marco de conflictos

de distinta índole, poniendo en evidencia muchas de las ventajas de optimización de recursos y operación al destacar su desempeño, capacidades y versatilidad de aplicaciones. Esta realidad ha favorecido la tecnificación del teatro de operaciones, la ejecución de ataques certeros y precisos, y, sobre todo, la protección del personal civil y militar que se ve inmerso en los conflictos.

## Referencias

- Acosta, H., Fuentes, A., Herrera, E. y Márquez, A. (2020). RPAS, aeronaves pilotadas a distancia para contribuir a la investigación de delitos y accidentes. *Semilla Científica*, 1(1), 488-502. <https://repositorio.umecit.edu.pa/bitstream/handle/001/4740/Revista-Semilla-Cient%C3%ADfica-489-503%20-%20copia.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Addati, G. A. y Pérez Lance, G. (2014). *Introducción a los UAV, drones o VANT de uso civil* [en línea]. Documentos de Trabajo, Universidad del Cema. <https://ucema.edu.ar/publicaciones/download/documentos/551.pdf>
- Almeida, A. (2006). Perspectivas de la seguridad aérea en el siglo XXI. *Ciencia y Poder Aéreo*, 1(1), 22-24. <https://doi.org/10.18667/cienciaypoderaereo.94>
- Altice, F. L., Bromberg, D. J., Dvoriak, S., Meteliuk, A., Pykalo, I., Azbel, L., Islam, Z. y Madden, L. M. (2022). Extending a Lifeline to People with HIV and Opioid Use Disorder During the War in Ukraine. *The Lancet Public Health*, 7(5), e482-e484. [https://doi.org/10.1016/S2468-2667\(22\)00083-4](https://doi.org/10.1016/S2468-2667(22)00083-4)
- Angevine, R., Warden, J. K., Keller, R., & Frye, C. (2019). *Learning Lessons from the Ukraine Conflict* [en línea]. Institute for Defense Analyses. <https://nsiteam.com/learning-lessons-from-the-ukraine-conflict/>
- Aslam, M. W. (2011). A Critical Evaluation of American Drone Strikes in Pakistan: Legality, Legitimacy and Prudence. *Critical Studies on Terrorism*, 4(3), 313-329. <https://doi.org/10.1080/17539153.2011.623397>
- Ávila-Herrera, C. C. (2017). Drones vs. aeronáutica civil: licencias para pilotos y su procedimiento. *Novum Jus: Revista Especializada en Sociología Jurídica y Política*, 11(2), 135-165. <https://novumjus.ucatolica.edu.co/article/view/1518>
- Batiz, R. M. (2014). *Drones: la muerte por control remoto*. Ediciones Akal.
- Bergen, P. y Tiedemann, K. (2011). Washington's Phantom War: The Effects of the US Drone Programs in Pakistan. *Foreign Affairs*, 90(4), 12-18. <https://www.jstor.org/stable/23039602>
- Bernad Catalá, J. X. (2019). *Diseño y fabricación de dron con sistema de seguridad anticolidión mejorado*. Universitat Politècnica de València.
- Bright, J., Suryaprakash, R., Akash, S. y Giridharan, A. (2021). *Optimization of quadcopter frame using generative design and comparison with DJI F450 drone frame*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1012/1/012019>
- Cadavid, E. S. (2018). Los Hermes 900 y 450 de la Fuerza Aérea Colombiana. *Tecnología Militar*, 40(1), 58-59.
- Calabrini, A., Carrano, J. I., Ubeira, J. I. y Venturo, N. (2015). *Controladora electrónica para multirrotores* (tesis de grado, Instituto Tecnológico de Buenos Aires).
- Calderón, Y. (2020, 4 de enero). Así es el MQ-9 Reaper, el supuesto dron con el que EE.UU. atacó a Soleimani. *La FM*. <https://www.lafm.com.co/internacional/asi-es-el-mq-9-reaper-el-supuesto-dron-con-el-que-eeuu-ataco-soleimani>
- Caño, A. (2021). La guerra teledirigida de EE.UU. *El País*. [https://elpais.com/internacional/2011/09/30/actualidad/1317401034\\_480630.html](https://elpais.com/internacional/2011/09/30/actualidad/1317401034_480630.html)
- Collins, L. (2018). A New Eastern Front: *What the US Army Must Learn from the War in Ukraine* [en línea]. Association of the United States Army. <https://www.ausea.org/articles/new-eastern-front-what-us-army-must-learn-war-ukraine>
- Da Silva Lima, L., Quartier, M., Buchmayr, A., Sanjuan-Delmás, D., Laget, H., Corbisier, D., Mertens, J. y Dewulf, J. (2021). Life Cycle Assessment of Lithium-Ion Batteries and Vanadium Redox Flow Batteries-Based Renewable Energy Storage Systems. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 46. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101286>
- Deilamsalehy, H. y Havens, T. C. (2016). *Sensor fused three-dimensional localization using IMU, camera and LiDAR* [ponencia]. 2016 IEEE SENSORS. Octubre 30-Noviembre 3 de 2016. <https://doi.org/10.1109/ICSENS.2016.7808523>
- Dos Reis, G., Strange, C., Yadav, M. y Li, S. (2021). Lithium-Ion Battery Data and Where to Find It. *Energy and AI*, 5. <https://doi.org/10.1016/j.egyai.2021.100081>
- Eqbal, M., Fernando, N., Marino, M. y Wild, G. (2021). Development of a Turbo Electric Distribution System for Remotely Piloted Aircraft Systems. *Journal of Aerospace Technology and Management*, 13. <https://doi.org/10.1590/jatm.v13.1209>

- Esposito, M., Crimaldi, M., Cirillo, V., Sarghini, F. y Maggio, A. (2021). Drone and Sensor Technology for Sustainable Weed Management: A Review. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 8(1), 1-11. <https://chembioagro.springeropen.com/articles/10.1186/s40538-021-00217-8>
- Evarts, E. C. (2015). Lithium Batteries: To the Limits of Lithium. *Nature*, 526(7575), S93-S95. <https://www.nature.com/articles/526S93a#:~:text=Researchers%20are%20developing%20a%20type,powerful%20microcomputer%20in%20your%20pocket.>
- Farrow, A. (2016). La guerra con drones como instrumento militar de la estrategia antiterrorista [en línea]. *Air & Space Power Journal*. [https://www.airuniversity.af.edu/Portals/10/ASPJ\\_Spanish/Journals/Volume-28\\_Issue-4/2016\\_4\\_02\\_farrow\\_s.pdf](https://www.airuniversity.af.edu/Portals/10/ASPJ_Spanish/Journals/Volume-28_Issue-4/2016_4_02_farrow_s.pdf)
- Fernández Lozano, J. y Gutiérrez Alonso, G. (2016). Aplicaciones geológicas de los drones. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 29(1), 89-105. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6806890>
- Fulghum, D. A. (2002). Global Hawk UAVs to Remain Unarmed. *Aviation Week & Space Technology*, 156(15), 20-20.
- Gallo, T. (2022). *Arming Ukraine, Understanding the Benefits and Risks of Arms Transfers* [en línea]. Policy Paper CIFE, (127). [https://www.cife.eu/Ressources/FCK/files/publications/policy%20paper/2022/CIFE\\_PP\\_Gallo\\_Arming%20Ukraine%20Understanding%20the%20Benefits%20and%20Risks%20of%20Arms%20Transfers.pdf](https://www.cife.eu/Ressources/FCK/files/publications/policy%20paper/2022/CIFE_PP_Gallo_Arming%20Ukraine%20Understanding%20the%20Benefits%20and%20Risks%20of%20Arms%20Transfers.pdf)
- García, R. (2011, 23 de diciembre). *Aeronaves no tripuladas en Colombia: el ScanEagle* [en línea]. Infomil. <https://www.webinfomil.com/2011/12/aeronaves-no-tripuladas-en-colombia-el.html?m=1>
- Garijo Verdejo, D., López Pérez, J. I. y Pérez Estrada, I. (2009). *SSI: Control de un vehículo aéreo no tripulado* [en línea]. <https://eprints.ucm.es/id/eprint/9477/1/documentacion.pdf>
- Gonçalves, R. M., Holanda, T. F., Queiroz, H. A. A., Sousa, P. H. G. O. y Pereira, P. S. (2022). Exploring RPAS Potentiality Using a RGB Camera to Understand Short Term Variation on Sandy Beaches. *CATENA*, 210. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105949>
- Goyne, R. (2019). Technology Scaneagle: Australia's Eye in the Sky over Afghanistan. *Sabretache*, 60(3), 63-123. <https://search.informit.org/doi/10.3316/INFORMIT.719536522457576>
- Hejduk, M. (2015). *The Use of Unmanned Aerial Vehicles-Drones Supply Courier*. University of Wrocław.
- Hernández, C. S. (2009). Las nuevas doctrinas militares, el espionaje militar aéreo y la tecnología en la guerra (2001-2008): de Hanoi a Bagdad II. *Nómadas: Critical Journal of Social and Juridical Sciences*, (21), 41-68 <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4732006>
- Hernández-Narváez, L. D. (2022). *Regulación jurídica de los drones: caso colombiano* (tesis de grado, Universidad Santo Tomás). Repositorio institucional Usta. <http://hdl.handle.net/11634/42887>
- Ibrahim, H., Ilinca, A. y Perron, J. (2008). Energy Storage Systems — Characteristics and Comparisons. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(5), 1221-1250. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2007.01.023>
- Isorna Llerena, F., Fernández Barranco, A., Bogeat, J. A., Segura, F. y Andújar, J. M. (2020). Converting a Fixed-Wing Internal Combustion Engine RPAS into an Electric Lithium-Ion Battery-Driven RPAS. *Applied Sciences*, 10(5). <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/5/1573>
- Jaimes Grimaldos, S. D. y Cárdenas Lancheros, E. A. (2019). *Analizar la tecnología de realidad aumentada (RA) y virtual (RV) en la instrucción de pilotos en sistema no tripulados del Comando Aéreo de Combate n.º 2 de Apiay Villavicencio* (tesis de especialización, Universidad Nacional Abierta y a Distancia). Repositorio institucional Unad. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/34472>
- Johnston, P. B. y Sarbahi, A. K. (2016). The Impact of US Drone Strikes on Terrorism in Pakistan. *International Studies Quarterly*, 60(2), 203-219.
- Kabierschke Colonia, M. (2004). Caracterización y diseño de hélices y rotores con alta velocidad de punta.
- Kardasz, P., Doskocz, J., Hejduk, M., Wiejkut, P. y Zarzycki, H. (2016). Drones and Possibilities of their Using. *Journal of Civil & Environmental Engineering*, 6(3), 1-7.
- Kazimierski, M. A. (2018). Almacenamiento energético frente al inminente paradigma renovable: el rol de las baterías ion-litio y las perspectivas sudamericanas. *Letras Verdes, Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales*(23), 108-132.
- Kucharczyk, M. y Hugenholtz, C. H. (2021). Remote Sensing of Natural Hazard-Related Disasters with Small Drones: Global Trends, Biases, and Research Opportunities. *Remote Sensing of Environment*, 264, 112577. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2021.112577>
- Leishman, G. J. (2006). *Principles of Helicopter Aerodynamics*. Cambridge University Press.

- Lobo, D., Patel, D., Morainville, J., Shekhar, P. y Abichandani, P. (2021). Preparing Students for Drone Careers Using Active Learning Instruction. *IEEE Access*, 9, 126216-126230. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3110578>
- López Crespo, J. (2012). *Módulo 17 Hélices*. Ediciones Paraninfo.
- Moore, S. W. y Schneider, P. J. (2001). *A Review of Cell Equalization Methods for Lithium-Ion and Lithium-Polymer Battery Systems*. SAE Technical Paper 2001-01-0959. <https://doi.org/10.4271/2001-01-0959>
- Moreno-Licon, D. C. (2012). El derecho internacional frente a la deshumanización de la guerra en el conflicto armado interno en Colombia (tesis de grado, Universidad CES). Repositorio institucional Universidad CES. <http://hdl.handle.net/10946/1924>
- Nicol, C. E., Macnab, C. J. B. y Ramírez Serrano, A. (2008). *A Robust Adaptive Neural Network Control for a Quadrotor Helicopter* [ponencia]. Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering. Mayo 4-7 de 2008. Niagara Falls, Canadá. <http://doi.org/10.1109/CCECE.2008.4564736>.
- Norhisam, M., Nazifah, A., Aris, I., Wakiwaka, H. y Nirei, M. (2010). *Effect of Magnet Size on Torque Characteristic of Three Phase Permanent Magnet Brushless DC Motor* [ponencia]. IEEE Student Conference on Research and Development (SCORED). Diciembre 13-14 de 2010. Kuala Lumpur, Malaysia. <http://doi.org/10.1109/SCORED.2010.5704019>
- Nüesch, T., Elbert, P., Flankl, M., Onder, C. y Guzzella, L. (2014). Convex Optimization for the Energy Management of Hybrid Electric Vehicles Considering Engine Start and Gearshift Costs. *Energies*, 7(2), 834-856. <https://doi.org/10.3390/en7020834>
- Nvss, S., Esakki, B., Yang, L.-J., Udayagiri, C. y Vepa, K. S. (2022). Design and Development of Unibody Quadcopter Structure Using Optimization and Additive Manufacturing Techniques. *Designs*, 6(1). <https://doi.org/10.3390/designs6010008>
- Ortega Sánchez, J. A. (2015). *Estudio de la prospectiva tecnológica y análisis de patentes para identificar las necesidades específicas del sector civil de los sistemas aéreos no tripulados*. Quetzal Aeroespacial. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/209412/35-0432\\_Complemento\\_del\\_programa\\_integral\\_aeroespacial\\_para\\_incrementar\\_la\\_competitividad\\_Parte\\_1.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/209412/35-0432_Complemento_del_programa_integral_aeroespacial_para_incrementar_la_competitividad_Parte_1.pdf)
- Páez López, G. A. (2020). Herramienta de entrenamiento basada en funcionamiento neuropsicológico y fisiológico en operadores de Aeronaves Remotamente Tripuladas Scan Eagle de la Fuerza Aérea Colombiana. *Ciencia y Poder Aéreo*, 15(1), 39-52. <https://doi.org/10.18667/cienciaypoderaereo.658>
- Park, Y.-U., Cho, J.-H. y Kim, D.-K. (2015). Cogging Torque Reduction of Single-Phase Brushless DC Motor with a Tapered Air-Gap using Optimizing Notch Size and Position. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 51(6), 4455-4463. <https://doi.org/10.1109/TIA.2015.2453131>
- Parker, J. F., Chervin, C. N., Pala, I. R., Machler, M., Burz, M. F., Long, J. W. y Rolison, D. R. (2017). Rechargeable Nickel – 3D Zinc Batteries: An Energy-Dense, Safer Alternative to Lithium-Ion. *Science*, 356(6336), 415-418. <https://doi.org/10.1126/science.aak9>
- Pozo Espín, D. F. (2010). *Diseño y construcción de una plataforma didáctica para medir ángulos de inclinación usando sensores inerciales como acelerómetro y giroscopio* (tesis de grado, Escuela Politécnica Nacional). Repositorio institucional EPN. [https://biblioteca.epn.edu.ec/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=9877&shelfbrowse\\_itemnumber=10256](https://biblioteca.epn.edu.ec/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=9877&shelfbrowse_itemnumber=10256)
- Price, B. C. (2012). Targeting Top Terrorists: How Leadership Decapitation Contributes to Counterterrorism. *International Security*, 36(4), 9-46. <https://www.jstor.org/stable/41428119>
- García Ramírez, A. y Tarazona Caro, S. *Rediseño de ingeniería de una hélice de paso variable para un aerodeslizador ruso* (tesis de grado, Universidad de San Buenaventura). Repositorio institucional USB. <http://biblioteca.usbbog.edu.co:8080/Biblioteca/BDigital/36633.pdf>
- Reineman, B. D., Lenain, L. y Melville, W. K. (2016). The Use of Ship-Launched Fixed-Wing UAVs for Measuring the Marine Atmospheric Boundary Layer and Ocean Surface Processes. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 33(9), 2029-2052. <https://doi.org/10.1175/JTECH-D-15-0019.1>
- Romero Huertas, J. C. (2019). *Determinación de los valores de arrastre y sustentación de las superficies alares de un dron de ala fija* (tesis de grado, Escuela Politécnica Nacional). Repositorio institucional EPN. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/1794>
- Serrano, J. R., García-Cuevas, L. M., Bares, P. y Varela, P. (2022). Propeller Position Effects over the Pressure and Friction Coefficients over the Wing of an UAV with Distributed Electric Propulsion: A Proper Orthogonal Decomposition Analysis. *Drones*, 6(2). <https://doi.org/10.3390/drones6020038>
- Sigalos, A., Papoutsidakis, M., Chatzopoulos, A. y Piromalis, D. (2019). Design of a Flight Controller and Peripherals for a Quadcopter. *International Journal of Engineering Applied Sciences and Technology*, 4(5), 463-470. <http://doi.org/10.33564/ijeast.2019.v04i05.067>

- Sizza Moreno, J. F. (2014). Simuladores para entrenamientos en la Fuerza Aérea Colombiana. *Ciencia y Poder Aéreo*, 9(1), 135-141. <https://doi.org/10.18667/cienciaypoderaereo.142>
- Stehr, N. J. (2015). Drones: The Newest Technology for Precision Agriculture. *Natural Sciences Education*, 44(1), 89-91. <https://doi.org/10.4195/nse2015.04.0772>
- Thakur, R. (2016). *Infrared Sensors for ADAS and Beyond – LiDAR/ Infrared Camera* [ponencia]. Conference TU Automotive - ADAS and Autonomous.
- Tello, A. P. (2018). Drones. *Relaciones Internacionales*, 27(55), 245-268. <https://doi.org/10.24215/23142766e050>
- Tiseira Izaguirre, A. O., García-Cuevas González, L. M., Quintero Igeño, P. y Varela Martínez, P. (2022). Series-Hybridisation, Distributed Electric Propulsion and Boundary Layer Ingestion in Long-endurance, Small Remotely Piloted Aircraft: Fuel Consumption Improvements. *Aerospace Science and Technology*, 120. <https://doi.org/10.1016/j.ast.2021.107227>
- Venkatasetty, H. V. y Jeong, Y. U. (2002). *Recent Advances in Lithium-Ion and Lithium-Polymer Batteries* [ponencia]. Annual Battery Conference on Applications and Advances. Enero 18 de 2022. Long Beach, Canadá. <http://doi.org/10.1109/BCAA.2002.986391>
- Villaseñor, E. B. (2016). Cálculo de variables de control PID para drones cuadcopter. *Reaxion*, 3(1). [http://reaxion.utleon.edu.mx/Art\\_Calculo\\_de\\_variables\\_de\\_control\\_PID\\_para\\_Drones\\_Cuadcopter.html](http://reaxion.utleon.edu.mx/Art_Calculo_de_variables_de_control_PID_para_Drones_Cuadcopter.html)
- Xie, Y., He, S., Savvaris, A., Tsourdos, A., Zhang, D. y Xie, A. (2022). Convexification in Energy Optimization of a Hybrid Electric Propulsion System for Aerial Vehicles. *Aerospace Science and Technology*, 123. <http://doi.org/10.1016/j.ast.2022.107509>
- Zhu, P., Wen, L., Bian, X., Ling, H. y Hu, Q. (2018). Vision Meets Drones: A Challenge. *ArXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1804.07437>

# F-39 Gripen e KC-390 Millennium: Ações humanitárias internacionais

Fecha de recibido: 25 de febrero 2023	Fecha de aprobado: 28 de abril 2023
Reception date: February 25, 2023	Approval date: April 28, 2023
Data de recebimento: 25 de Fevereiro de 2023	Data de aprovação: 28 de abril de 2023

## Bruno Américo Pereira

<https://orcid.org/0009-0005-9147-1661>  
 brunoamericobap@gmail.com

Doctorando em Defesa e Poder Aeroespacial  
 Pesquisador – Universidade da Força Aérea (UNIFA), Brasil  
 Papel do investigador: teórico e escritor  
 Grupo de pesquisa: Questões Humanitárias e Poder Aeroespacial

Doctorando en Defensa y Energía Aeroespacial  
 Investigador – Universidad de la Fuerza Aérea (UNIFA), Brasil  
 Rol del investigador: teórico y escritura  
 Grupo de investigación: Asuntos Humanitarios y Poder Aeroespacial

PhD student in Defense and Aerospace Power  
 Researcher – University of the Air Force (UNIFA), Brazil  
 Researcher role: theoretician and writer  
 Research Group: Humanitarian Issues and Aerospace Power

## Flavio Neri Hadmann Jasper

<https://orcid.org/0000-0002-0849-5154>  
 fnhjasper@gmail.com

Ph.D. em Ciências Aeroespaciais  
 Professor e pesquisador – Universidade da Força Aérea (UNIFA), Brasil  
 Papel do investigador: teórico e escritor  
 Grupo de pesquisa: Questões Humanitárias e Poder Aeroespacial

Ph. D. en Ciencias Aeroespaciales  
 Docente e investigador – Universidad de la Fuerza Aérea (UNIFA), Brasil  
 Rol del investigador: teórico y escritura  
 Grupo de investigación: Asuntos Humanitarios y Poder Aeroespacial

Ph.D. in Aerospace Sciences  
 Teacher and Researcher – Air Force University (UNIFA), Brazil  
 Research role: theorist and writer  
 Research Group: Humanitarian Issues and Aerospace Power

**Cómo citar este artículo:** Pereira B. A., y Jasper, F. N. H. (2023). F-39 Gripen e KC-390 Millennium: Ações humanitárias internacionais. *Ciencia y Poder Aéreo*, 18(2), 94-105. <https://doi.org/10.18667/cienciaypoderareo.774>



## F-39 Gripen e KC-390 Millennium: Ações humanitárias internacionais

**Resumo:** As ações na ONU tornam-se uma tarefa cada vez mais necessária, contribuindo para a melhoria das condições de vida das pessoas e comunidades em situação de vulnerabilidade. As possíveis contribuições futuras do Brasil em missões de *Peace Enforcement* ou *Peace Keeping* da ONU, com os novos aviões, continuarão a refletir o viés pragmático de política externa brasileira. Com o objetivo de propor iniciativas para ampliar a capacidade e a eficácia das ações humanitárias internacionais empreendidas pelo Brasil, este artigo demonstrou o propósito de projeção do Brasil nas relações de cooperação internacional com outros países, destacando suas possíveis causas e efeitos. Vivemos um momento de transição na política externa. Devido a esta situação internacional, a ajuda humanitária passou a ter um papel importante para diminuir os efeitos negativos em países ou populações que se encontrem em estado de conflito armado, de desastre natural, de calamidade pública ou de insegurança alimentar e nutricional. Os meios que permitirão a inserção brasileira nesse contexto são as novas aeronaves brasileiras F-39 Gripen e KC-390 Millennium da Força Aérea Brasileira. Para identificar esta capacidade, realizou-se uma análise destes vetores, estipuladas na fase de pré-desenvolvimento dos projetos. Em seguida, foi demonstrada a aplicabilidade destas aeronaves nas questões de ajuda humanitária a nível global e suas capacidades em missões de conflito real. Após a rodada de análise e demonstração, evidenciou-se que o F-39 e o KC-390 ratificarão a prevalência de relações internacionais pacíficas e a projeção do País no campo da segurança cooperativa, com suas medidas de confiança mútua. Foi possível identificar, também, que estes vetores estratégicos possibilitarão, em uma visão prospectiva, uma maior participação brasileira nas operações de paz e proporcionarão maior assistência material e logística, prestadas para fins de conforto social humanitário nos esforços para o desenvolvimento da paz mundial.

**Palavras-Chave:** F-39; KC-390; Ajuda Humanitária

## F-39 Gripen y KC-390 Millennium: Operaciones humanitarias Internacionales

**Resumen:** Las acciones en la ONU se están convirtiendo en una tarea cada vez más necesaria, contribuyendo a la mejora de las condiciones de vida de las personas y comunidades en situación de vulnerabilidad. Las posibles contribuciones futuras de Brasil en misiones de imposición o mantenimiento de la paz de la ONU, con las nuevas aeronaves, seguirán reflejando el sesgo pragmático de la política exterior brasileña. Con el fin de proponer iniciativas para ampliar la capacidad y la eficacia de las acciones humanitarias internacionales emprendidas por Brasil, este artículo demostró el propósito de la proyección de Brasil en las relaciones de cooperación internacional con otros países, destacando sus posibles causas y efectos. Vivimos un momento de transición en política exterior. Debido a esta situación internacional, la ayuda humanitaria ha pasado a desempeñar un papel importante para mitigar los efectos negativos en países o poblaciones que se encuentran en estado de conflicto armado, catástrofe natural, calamidad pública o inseguridad alimentaria y nutricional. Los medios que permitirán la inserción de Brasil en este contexto son los nuevos aviones F-39 Gripen y KC-390 Millennium de la Fuerza Aérea Brasileña. Para identificar esta capacidad, se realizó un análisis de estos vectores, estipulado en la fase de pre-desarrollo de los proyectos. A continuación, se demostró la aplicabilidad de estas aeronaves en cuestiones de ayuda humanitaria a nivel mundial y sus capacidades en misiones de conflicto real. Tras la ronda de análisis y demostraciones, se evidenció que el F-39 y el KC-390 ratificarán la prevalencia de las relaciones internacionales pacíficas y la proyección del país en el campo de la seguridad cooperativa, con sus medidas de confianza mutua. También fue posible identificar que estos vectores estratégicos posibilitarán, en una visión prospectiva, una mayor participación brasileña en operaciones de paz y proporcionarán una mayor asistencia material y logística, prevista para el confort social humanitario en los esfuerzos para el desarrollo de la paz mundial.

**Palabras clave:** F-39; KC-390; Ayuda humanitaria

## F-39 Gripen and KC-390 Millennium: International Humanitarian Operations

**Abstract:** Actions at the UN are becoming an increasingly necessary task, contributing to the improvement of living conditions of people and communities in vulnerable situations. Brazil's possible future contributions in UN enforcement or peacekeeping missions, with the new aircrafts, will continue to reflect the pragmatic bias of Brazilian foreign policy. In order to propose initiatives to expand the capacity and effectiveness of international humanitarian actions undertaken by Brazil, this article demonstrated the purpose of Brazil's projection in international cooperation relations with other countries, highlighting its possible causes and effects. We are living in a moment of transition in foreign policy. Due to this international situation, humanitarian aid has come to play an important role in mitigating the negative effects on countries or populations in a state of armed conflict, natural disaster, public calamity or food and nutritional insecurity. The means that will allow Brazil's insertion in this context are the Brazilian Air Force's new F-39 Gripen and KC-390 Millennium aircraft. To identify this capability, an analysis of these vectors, stipulated in the pre-development phase of the projects, was carried out. The applicability of these aircraft to global humanitarian aid issues and their capabilities in real conflict missions was then demonstrated. After the round of analysis and demonstrations, it became evident that the F-39 and the KC-390 will ratify the prevalence of peaceful international relations and the country's projection in the field of cooperative security, with their mutual confidence measures. It was also possible to identify that these strategic vectors will make possible, in a prospective vision, a greater Brazilian participation in peace operations and will provide greater material and logistic assistance, foreseen for humanitarian social comfort in the efforts for the development of world peace.

**Keywords:** F-39; KC-390; Humanitarian Aid

## Introdução

O objetivo deste artigo é demonstrar o propósito de projeção do Brasil nas relações de cooperação internacional com outros países, destacando também as possíveis causas e efeitos da implantação das novas aeronaves F-39 Gripen e KC-390 Millennium na Força Aérea Brasileira nesse contexto.

A política externa é uma área extensa cujo enfoque inclui questões diversas, entre elas, a segurança. A agenda é, por isso, carregada, e as burocracias e grupos que apoiam o processo de concepção e decisão cruzam diferentes competências (Freire *et al.*, 2011). No entanto, a natureza fluida do ambiente político internacional contemporâneo impõe uma renovada reflexão sobre a sua conceptualização.

No âmbito da Aeronáutica, o esforço para projeção internacional do Brasil surge diante da possibilidade de desempenhar responsabilidades crescentes em ações humanitárias e em missões de paz sob a égide de organismos multilaterais, de acordo com os interesses nacionais. A capacidade de projeção de poder, visando sua eventual utilização em operações estabelecidas ou autorizadas pelo Conselho de Segurança da Organização das Nações Unidas (ONU)<sup>1</sup>, também faz parte deste esforço de notoriedade internacional.

Todavia, nos dias de hoje, o Brasil possui um desafio internacional de gerir as crises econômica e política. Em parte, é um problema de recursos. Diante desta dificuldade atual, é preciso imaginar opções de política externa, que até ontem pareciam impossíveis, e estimular toda e qualquer forma de projeção internacional do Brasil.

Pereira da Silva Schneider *et al.* (2019):

Acredita que as práticas multilaterais, marcada por união, relações pacíficas e cooperação, representam

interesses mais complementares que antagônicos. Sendo assim, a Organização das Nações Unidas, desempenhando o papel de uma das principais organizações internacionais multilaterais, se apresenta como solução para os problemas atuais devido ao forte compromisso que possui no enfrentamento de desafios dramáticos que ameaçam a humanidade. (p. 148)

Segundo Andrade de Oliveira *et al.* (2021), o governo brasileiro tem desempenhado um papel significativo nas operações de paz da ONU desde a sua gênese em 1947, tendo enviado mais de 57 000 militares para missões em todo o mundo ao longo dos últimos 70 anos.

O Brasil, pelo reconhecimento interno e externo, como um país amante da paz, vem, ao longo dos anos, cumprindo seu papel nas operações de manutenção da paz, na prevenção de conflitos e na solução pacífica de controvérsias. Não obstante, há preocupações a ter em conta, tais como o desafio sobre o uso da força, o princípio da inviolabilidade da soberania da política externa, o compromisso da imagem do Brasil como ator pacífico e o baixo envolvimento doméstico no assunto.

Segundo Krause (2009), a perspectiva de envolvimento em operações de paz foi fortemente influenciada pela noção de segurança humana e pela promoção dos direitos humanos universais. No contexto brasileiro, clarificar a trajetória histórica do país sobre estas questões é fundamental para definir o seu rumo futuro e as suas aspirações relacionadas às operações de paz. Deste modo, as possíveis contribuições futuras do Brasil em missões de *Peace Enforcement* ou *Peace Keeping* da ONU, com os novos aviões da Força Aérea Brasileira (FAB), continuarão a refletir o viés pragmático de política externa brasileira.

Antes de propor a participação das aeronaves brasileiras F-39 Gripen e KC-390 Millennium nas missões de paz, é importante o conhecimento e o entendimento de alguns conceitos.

O *Peace Keeping* refere-se a operações para manter a paz. Estas operações requerem: 1) o consentimento das partes envolvidas; 2) imparcialidade; e 3) não utilização da força, exceto em autodefesa (United Nations - UN, 2008). Por sua vez, *Peace Enforcement* refere-se a

<sup>1</sup> A Organização das Nações Unidas, popularmente conhecida como ONU, é uma associação voluntária de Estados soberanos, criada com o fim de preservar as gerações futuras do flagelo da guerra, como uma instituição internacional que busca assegurar a paz mundial (Pereira da Silva Schneider *et al.*, 2019).

operações para a aplicação da paz, envolvendo o uso de medidas coercivas, incluindo o uso de força militar, quando autorizado pelo Conselho de Segurança das Nações Unidas (CSNU). O mecanismo legal que permite operações para impor a paz é o Capítulo VII da Carta das Nações Unidas, cujo Artigo 42 declara que o CSNU “pode realizar, por meio de forças aéreas, terrestres e marítimas, qualquer ação que considere necessária para manter ou restabelecer a paz e a segurança internacionais” (United Nations - UN, 1945, Art. 42).

Conforme Andrade de Oliveira *et al.* (2021), o papel de liderança do Brasil na MINUSTAH, uma missão de paz no Haiti apoiada pelo Capítulo VII da Carta da ONU e com um grande número de tropas armadas, pode apontar para um horizonte com a presença brasileira em futuras operações de paz, o que pode ser explicado pela vontade do país em satisfazer a sua política externa e os seus interesses de defesa.

Embora o Brasil pretenda continuar a participar em outras operações de paz, ele enfrenta, dentre outros, alguns desafios, como se descreve a seguir (Kenkel *et al.*, 2012):

- 1) A agenda política do país tende a concentrar-se em questões domésticas, tais como economia e assuntos sociais como a redução da pobreza, o combate à violência e o reforço da industrialização, o que pode causar a falta de prioridade do envolvimento militar brasileiro na arena internacional.
- 2) Há um intenso debate sobre a transição entre os Capítulos VI (meios pacíficos) e VII (uso potencial da força) no seio da academia, governo e militares, e a não aceitação do uso potencial da força poderia levar a uma retração da participação brasileira em operações de paz.

Segundo Benzecry (2019), apesar da resistência e dos desafios quanto ao desdobramento de tropas sob o Capítulo VII da Carta das Nações Unidas, recente pesquisa evidenciou que há 25 anos o Brasil envia seus nacionais para missões onde a resolução autoriza o uso da força. Desde 1990, das 23 operações com mandatos sob o Capítulo VII, 17 contaram com o apoio de brasileiros. (pp. 67-68)

Assim, apesar das numerosas dificuldades, desafios e incertezas relativas à participação brasileira nas operações de paz em larga escala da ONU, é impossível negar o progresso na trajetória do Brasil, contribuindo para reforçar os interesses nacionais e projetar o país no cenário internacional.

Dentre as participações mais relevantes estão as tropas enviadas a Suez, Moçambique, Angola, Timor Oriental, Haiti e Líbano. Em relação aos locais de atuação, houve um grande predomínio dos países africanos, sendo a maioria das missões em países com relações históricas, culturais ou no entorno estratégico do Brasil. (Benzecry, 2019, p. 77)

Atualmente, para atuar de forma protagonista no novo cenário das missões de paz, onde o *Peace Enforcement* tem sido utilizado em conjunto com outros métodos estabelecidos de resolução de conflitos, tais como a intervenção humanitária e a ação em autodefesa, o Brasil precisará não apenas saber como interagir no jogo político-estratégico da ONU, mas também compreender e aceitar assumir novos riscos que serão impostos (Osman, 2018).

O Brasil vem evidenciando uma quebra no paradigma do uso da força, à medida em que ficou mais clara a diferenciação entre ações impositivas ou intervencionistas ditadas por acordos regionais ou coligações de países e as Operações de Manutenção da Paz multidimensionais robustas. (Benzecry, 2019, p. 72).

É justo supor que uma participação contínua do Brasil em missões de paz, especialmente naquelas exigências pela comunidade internacional e vistas como mais complexas e relevantes, ao mesmo tempo em que expõe a capacidade operacional de suas tropas e equipamentos, ajuda a robustecer sua diplomacia e consolidar uma imagem de importante “player” nos grandes temas que envolvem a segurança e a paz mundiais (Benzecry, 2019).

Nesta conjuntura, a necessidade cada vez maior de projeção do governo brasileiro no cenário internacional impulsionou também o desenvolvimento de

novos projetos, como os atuais aviões brasileiros F-39 Gripen e KC-390 Millennium da Força Aérea Brasileira. As possíveis contribuições futuras do Brasil em missões de *Peace Enforcement* ou *Peace Keeping* da ONU, com estas novas aeronaves, continuarão a refletir o viés pragmático de política externa brasileira.

Diante do exposto, desenvolveu-se o seguinte problema de pesquisa: Quais são os efeitos da chegada dos novos vetores militares F-39 e KC-390, que poderão influenciar a projeção do governo brasileiro no contexto internacional?

Sendo assim, essa pesquisa é relevante, pois poderá ser utilizada para entender as causas e os efeitos da implantação das novas aeronaves como propósito adicional de projeção do Brasil nas relações de cooperação internacional com outros países.

## 1. Metodologia e fundamentação teórica

Segundo os procedimentos propostos por Gil (2007), com relação ao objetivo, esta pesquisa é do tipo descritiva, na medida em que foram descritos os efeitos que o F-39 e o KC-390 terão no contexto nacional e internacional, e foram listadas as Tarefas Aéreas da ONU, que poderão ser realizadas pelos referidos vetores militares.

Foi utilizado o método comparativo para a análise qualitativa, com a identificação das palavras-chave das definições das Tarefas definidas pela ONU e das Ações de Força Aérea, por parte da FAB. Adicionalmente, foi também empregado o Glossário das Forças Armadas para auxiliar nesta correlação. Assim, foi possível distinguir três categorias propostas de relacionamento: a) Aceitável; b) Parcialmente Aceitável, e c) Não Aceitável.

O entendimento norteador da projeção brasileira dos vetores militares F-39 e KC-390, no cenário internacional, foi delineado por meio da Política Nacional de Defesa (PND) e das teorias de emprego do Poder Aéreo em Operações de Paz da ONU, definidas por Dallaire e Dorn.

Dallaire (2014, citado por Da Costa Silva et al., 2016) defende em sua teoria que o desenvolvimento e

bem-estar da humanidade são fundamentais para a integração entre os países. Dallaire ratifica, ainda, que o Exército e a Marinha têm de reconhecer na Força Aérea o nascimento do terceiro irmão, jovem, mas não menos importante no reforço do multilateralismo.

A teoria de Dallaire é ratificada com a teoria de Dorn (2014), que defende a igualdade de importância entre a campanha terrestre e a campanha aérea, dentro das Operações de Paz da ONU. Para Dorn, a campanha aérea é tão vital quanto à campanha terrestre. O papel do Poder Aéreo nas missões humanitárias foi o ponto focal de quebra de paradigma do conceito comum, antigo e equivocado de que as Operações de Paz são missões exclusivamente da Força Terrestre (Da Costa Silva *et al.*, 2016).

## 2. Análise e interpretação dos dados

A Defesa Nacional é tema de relevância para o Brasil, pois garante a soberania e o reconhecimento da estatura do país no concerto das nações, em particular, no seu entorno estratégico. Dentro desse contexto, encontram-se as novas aeronaves militares F-39 e KC-390.

Em consonância com a DCA 11-45, Conceção Estratégica da Força Aérea 100, a FAB, estrategicamente com as aeronaves F-39, poderá contribuir “para a ordem e a paz mundial e compromissos internacionais” ao realizar as missões de *Peace Enforcement* dentro do contexto da Ajuda Humanitária Internacional, contribuindo para a solução de crises e de conflitos (Portaria nº 1.597/GC3 de 2018, p. 27).

Dependendo do contexto em questão, a letalidade e a capacidade de sobrevivência do F-39 em cenários extremamente hostis podem ser requisitos importantes para a escolha do vetor a ser empregado.

Por sua vez, a FAB, estrategicamente com as aeronaves KC-390, também “pode ser acionada para contribuir para as operações de ajuda humanitária e para mitigação de efeitos de desastres, tanto em âmbito nacional ou como parte de um esforço internacional coordenado” (Rodríguez Silva, 2020, p. 52), respeitando o princípio da não-intervenção. Fazendo um paralelo

com o pressuposto da atual Estratégia Nacional de Defesa (END), o novo sistema da FAB contribui para a estratégia de dissuasão brasileira, pois colabora para o permanente esforço de exposição das capacidades militares do Estado, além de incentivar a cooperação militar e a integração da América do Sul.

Levando em consideração as conclusões de Kenkel *et al.* (2012), é possível concluir-se que a decisão política do Brasil em tomar parte nas Operações de Paz da ONU com os futuros F-39 e KC-390 garantirão, ao mesmo tempo, a projeção de poder nas relações internacionais e a solidariedade ativa na ajuda humanitária, que passou a ter papel importante para diminuir os efeitos negativos em países ou populações que se encontrem em estado de conflito armado, de desastre natural, de calamidade pública ou de insegurança alimentar e nutricional.

Esta visão preconiza que projeção de poder (pragmatismo) e solidariedade (humanismo) não são excludentes, e sim complementares no processo de modelagem do interesse nacional. A ampliação da ajuda humanitária e a maior atuação como integrante da aviação militar da ONU representam, respectivamente, com a chegada das futuras aeronaves, os efeitos positivos de projeção brasileira no nível social e estratégico.

De modo a sumarizar as perspectivas domésticas e as influências internacionais para apontar a projeção brasileira das aeronaves F-39 e KC-390 foi gerado o quadro 1 a seguir:

**Quadro 1.**  
Fatores influenciadores para a projeção do Brasil com a Ajuda Humanitária Internacional

As causas e os efeitos das aeronaves brasileiras F-39 Gripen e KC-390 Millennium na Ajuda Humanitária Internacional	
Social	Ampliação da ajuda humanitária aos países necessitados.
As causas e os efeitos das aeronaves brasileiras F-39 Gripen e KC-390 Millennium na Ajuda Humanitária Internacional	
Estratégico	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Maior atuação como integrante da aviação militar da ONU.</li> <li>- Ampliação da capacidade militar de dissuasão, garantindo a soberania.</li> <li>- Maior reconhecimento do Brasil no concerto das nações e no seu entorno estratégico.</li> </ul>

Percebe-se, no quadro 1, as causas e os efeitos positivos da implantação das aeronaves F-39 Gripen e KC-390 Millennium na Força Aérea Brasileira, atingindo-se parcialmente o objetivo estabelecido nesta pesquisa. Os fatores influenciadores para a projeção do Brasil com a Ajuda Humanitária Internacional, conforme quadro 1, estão em consonância com Alsina Júnior (2014), que diz que a grande estratégia de qualquer Estado envolverá, no mínimo, os seguintes fatores: políticos, econômicos, sociais, institucionais, culturais, geográficos, tecnológicos e estratégicos.

Da Costa Silva *et al.* (2016) defendem que há uma crescente demanda da ONU pelo uso do Poder Aéreo. Para estes autores, as aeronaves podem contribuir para o sucesso do mandato das Operações de Paz, servindo como instrumento de interoperabilidade da ONU. Levando em consideração o trabalho destes articulistas, das vinte e duas Tarefas Aéreas da ONU foram definidas dezoito (categoria – Aceitável), que poderão ser realizadas pelas aeronaves F-39 e KC-390: Apoio Aéreo Aproximado; Assalto Aéreo; Ataque Aéreo; Busca e Salvamento; Contramedida Eletrônica; Evacuação Aérea de Acidentados, Doentes e Feridos; Evacuação Aeromédica; Extração Aérea; Inserção Aérea; Lançamento Aéreo; Operações de Busca; Reconhecimento Armado; Reconhecimento Aéreo; Transporte Aéreo de Carga; Transporte Aéreo de Cargas Perigosas; Transporte Aéreo de Passageiros; Transporte Aéreo Humanitário de Cargas e Passageiros e Transporte VIP.

Por meio da pesquisa documental foram obtidas as Ações de Força Aérea, previstas na Doutrina Básica da Força Aérea Brasileira (DCA 1-1) (Portaria nº 1.224/GC3 de 2020), que poderão ser realizadas pelo F-39 e KC-390. A partir da seleção de palavras-chave das definições, estas ações foram correlacionadas com as Tarefas da ONU, listadas acima, conforme as proposições de Cuesta (2001). Adicionalmente, foi também empregado o Glossário das Forças Armadas para auxiliar nesta correlação, completando-se o quadro 2 a seguir:

Quadro 2.

Análise de relacionamento nas missões de Peace Enforcement ou Peace Keeping da ONU com as aeronaves F-39 e KC-390

ONU	Glossário das Forças Armadas	DCA 1-1 (Portaria nº 1.225/GC3 de 2020)
<p><b>Apoio Aéreo Aproximado</b></p> <p>Tarefa que envolve empregar helicópteros armados contra <u>forças hostis</u>, <u>próximas</u> a <u>forças de paz terrestres</u> ou <u>navais</u>.</p>	<p><b>Apoio Aéreo Aproximado</b></p> <p>Ação aérea, em operações anfíbias, utilizada em apoio às tropas de primeiro escalão que estão em contato direto com o inimigo. O apoio aéreo aproximado será provido por aeronaves de ataque ou configurada para tal, sendo executada por aviões ou helicópteros.</p>	<p><b>Apoio Aéreo Aproximado</b></p> <p><b>Aceitável F-39</b></p> <p>Ação que consiste em empregar Meios Aeroespaciais, utilizando-se de meios cinéticos contra alvos fixos, estacionários e móveis na superfície, para detectar, identificar e neutralizar <u>forças oponentes que estejam em contato direto com forças amigas</u>.</p>
<p><b>Assalto Aéreo</b></p> <p>Tarefa que envolve o transporte aéreo de <u>tropas amigas</u> para engajar forças hostis, em proteção a grupos vulneráveis, <u>apoio a Forças Amigas</u> e proteção de áreas vulneráveis.</p>	<p><b>Assalto Aeroterrestre</b></p> <p>Missão aérea destinada a executar a introdução de <u>forças paraquedistas</u> e seus equipamentos, prioritariamente, por lançamento e, eventualmente, por meio de pouso, com a finalidade de <u>conquistar uma região</u> no terreno de significativa importância para o cumprimento da <u>missão das forças de superfície</u>.</p>	<p><b>Assalto Aeroterrestre</b></p> <p><b>Aceitável KC-390</b></p> <p>Ação que consiste em empregar Meios Aeroespaciais para introduzir forças paraquedistas e seus equipamentos, prioritariamente por lançamento e eventualmente por meio de pouso, em áreas de interesse no TO.</p>
<p><b>Ataque Aéreo</b></p> <p>Ataque aéreo contra alvos táticos e estratégicos pré-determinados.</p>	<p><b>Ataque</b></p> <p>Emprego de meios aéreos para neutralizar ou destruir alvos inimigos, previamente localizados e identificados.</p>	<p><b>Ataque</b></p> <p><b>Aceitável F-39</b></p> <p>Ação que consiste em empregar Meios Aeroespaciais utilizando-se de meios cinéticos para neutralizar ou destruir alvos oponentes fixos, estacionários e móveis na superfície, previamente localizados e identificados.</p>
<p><b>Busca e Salvamento</b></p> <p>Tarefa que envolve a utilização operacional de helicópteros e tripulação especializada para <u>localizar</u> e salvar <u>pessoal da ONU</u> de <u>áreas isoladas</u>, potencialmente <u>hostis</u>.</p>	<p><b>Busca e Salvamento</b></p> <p>Consiste no emprego de todos os meios possíveis, a fim de <u>localizar</u> e socorrer aeronaves abatidas ou acidentadas, navios, materiais e instalações diversas, avariadas ou sinistradas, no mar ou em terra e, também, socorrer suas <u>tripulações</u> ou pessoas <u>em perigo</u>.</p>	<p><b>Busca e Salvamento</b></p> <p><b>Aceitável KC-390</b></p> <p>Ação que consiste em empregar Meios Aeroespaciais e de Força Aérea para <u>buscar, localizar e salvar pessoas desaparecidas e/ou em perigo</u>, geralmente envolvendo aeronaves ou embarcações para acesso rápido aos locais que se encontram as vítimas.</p>
<p><b>Contramedida Eletrônica</b></p> <p>Tarefa que consiste na <u>prevenção</u> ou <u>redução</u> do efetivo <u>uso</u> do <u>espectro eletromagnético</u> pelo <u>opositor</u>.</p>	<p><b>Interferência Eletrônica</b></p> <p>Medida de ataque eletrônico que consiste na irradiação, reirradiação ou reflexão deliberada da <u>energia eletromagnética</u>, com o objetivo de <u>prejudicar o emprego</u>, por parte do <u>inimigo</u>, de dispositivos, equipamentos ou sistemas eletrônicos.</p>	<p><b>Interferência Eletrônica</b></p> <p><b>Aceitável F-39</b></p> <p>Ação que consiste em empregar Meios de Força Aérea para <u>reduzir</u> ou <u>impedir o uso</u> do <u>espectro eletromagnético</u> pelo <u>oponente</u>.</p>
<p><b>Evacuação Aérea de Acidentados, Doentes e Feridos</b></p> <p>Tarefa de <u>transporte aéreo</u> de acidentados, <u>doentes e feridos</u> sob risco de vida, para <u>tratamento médico</u> em <u>outras localidades</u>.</p>	<p><b>Evacuação Aeromédica</b></p> <p><u>Missão aérea</u> com o propósito de <u>transportar</u> pessoal, <u>ferido ou doente</u>, militar ou civil, da <u>frente de combate</u> para <u>locais</u> onde possa receber <u>assistência adequada</u>. Esta missão também se aplica em situação de paz, no transporte de militares nas condições acima referidas.</p>	<p><b>Evacuação Aeromédica</b></p> <p><b>Aceitável KC-390</b></p> <p>Ação que consiste em empregar Meios Aeroespaciais para <u>remover pessoas feridas</u> ou <u>doentes</u>, geralmente com prestação de assistência médica especializada a bordo, de um local onde tenham recebido assistência inicial para <u>locais onde possam receber tratamento médico adequado</u>.</p>

Continúa

ONU	Glossário das Forças Armadas	DCA 1-1 (Portaria nº 1.225/GC3 de 2020)
<b>Evacuação Aeromédica</b>	<b>Evacuação Aeromédica</b>	<b>Evacuação Aeromédica</b>
Tarefa que envolve o <u>transporte aéreo</u> de acidentados, <u>doentes e feridos</u> , sem risco de vida, para <u>tratamento médico em outras localidades</u> .	<u>Missão aérea</u> com o propósito de <u>transportar</u> pessoal, <u>ferido ou doente</u> , militar ou civil, da <u>frente de combate para locais</u> onde possa receber <u>assistência adequada</u> . Esta missão também se aplica em situação de paz, no transporte de militares nas condições acima referidas.	<b>Aceitável KC-390</b> Ação que consiste em empregar Meios Aeroespaciais para <u>remover pessoas feridas</u> ou <u>doentes</u> , de um local onde tenham recebido assistência inicial para <u>locais onde possam receber tratamento médico adequado</u> .
<b>Extração Aérea</b>	<b>Exfiltração Aérea</b>	<b>Exfiltração Aérea</b>
Tarefa que envolve o emprego de aeronave para a <u>extração de militares ou policiais</u> , a serviço da <u>ONU, de área hostil</u> .	Missão que tem por finalidade <u>retirar</u> , de uma determinada região, <u>tropas terrestres</u> ou forças paraquedistas e seus equipamentos e <u>colocá-los em local seguro</u> ou o de origem, após a realização de um assalto aeroterrestre ou de uma infiltração aérea.	<b>Aceitável KC-390</b> Ação que consiste em empregar Meios Aeroespaciais para <u>retirar</u> , de uma determinada região, <u>tropas terrestres</u> ou <u>forças paraquedistas</u> e seus <u>equipamentos</u> e <u>colocá-los em local seguro</u> ou o de origem, após a realização de um Assalto Aeroterrestre ou de uma Infiltração Aérea.
<b>Inserção Aérea</b>	<b>Infiltração Aérea</b>	<b>Infiltração Aérea</b>
Tarefa que envolve o emprego de aeronave para <u>inserção de militares ou policiais</u> a serviço da <u>ONU em área hostil</u> .	Missão destinada a <u>infiltrar tropas ou forças especiais</u> no <u>território inimigo</u> , a fim de realizar ações específicas, visando a facilitar ou apoiar o emprego futuro maciço das forças de combate.	<b>Aceitável KC-390</b> Ação que consiste em empregar Meios Aeroespaciais para <u>infiltrar Forças Especiais</u> no <u>território inimigo</u> , a fim de realizar ações específicas ou visando a facilitar ou apoiar o emprego futuro e maciço das Forças de combate.
<b>Lançamento Aéreo</b>	<b>Assalto Aeroterrestre / Ressuprimento Aéreo</b>	<b>Assalto Aeroterrestre / Ressuprimento Aéreo</b>
<u>Inserção</u> de <u>tropas paraquedistas</u> e/ou <u>lançamento aéreo</u> de <u>suprimentos</u> , com ou sem paraquedas.	Missão aérea destinada a executar a <u>introdução de forças paraquedistas</u> e seus <u>equipamentos</u> , prioritariamente, por lançamento e, eventualmente, por meio de pouso, com a finalidade de conquistar uma região no terreno de significativa importância para o cumprimento da missão das forças de superfície.  Ação que visa o <u>transporte</u> de <u>suprimento</u> e de <u>equipamentos</u> necessários às forças engajadas em combate.	<b>Aceitável KC-390</b> Ação que consiste em empregar Meios Aeroespaciais para <u>introduzir forças paraquedistas</u> e seus <u>equipamentos</u> , prioritariamente por lançamento e, eventualmente por meio de pouso, em áreas de interesse no TO.  Ação que consiste em empregar Meios Aeroespaciais para <u>entregar equipamentos</u> e <u>suprimentos</u> necessários às ações de combate das Forças amigas, por meio de lançamento de cargas, visando manter ou ampliar a sua capacidade de combate.
<b>Operações Conjuntas</b>	<b>Operação Conjunta</b>	<b>DCA 1-1 (Portaria nº 1.225/GC3 de 2020)</b>
Tarefa que envolve Operações Militares Conjuntas de duas ou mais Forças Componentes da ONU, como as Forças Terrestres, Aéreas, Marítimas ou Policiais.	Operação que envolve o emprego coordenado de elementos de mais de uma força singular, com propósitos interdependentes ou complementares, mediante a constituição de um Comando Conjunto.	<b>Não Aceitável</b> Relacionamento inadequado da Tarefa Aérea da ONU com as Ações de Força Aérea.
<b>Patrulha Aérea</b>	<b>Patrulha Marítima</b>	<b>Patrulha Marítima</b>
Tarefa aérea conduzida sobre um <u>objetivo</u> , <u>área crítica</u> ou <u>área de responsabilidade</u> com o propósito de <u>observar</u> e <u>coletar informações</u> .	Missão aérea aplicável à tarefa de interdição, destinada à <u>investigação sistemática ou não, de área marítima de interesse</u> , a fim de <u>detectar, localizar, identificar, acompanhar</u> , neutralizar ou destruir <u>objetivos marítimos de superfície</u> .	<b>Não Aceitável</b> Ação que consiste em empregar Meios Aeroespaciais para <u>detectar, localizar, identificar, acompanhar</u> , limitar o movimento ou neutralizar <u>embarcações oponentes</u> , sejam <u>meios de superfície</u> , em águas interiores e espaços marítimos de interesse das operações navais.

Continúa

ONU	Glossário das Forças Armadas	DCA 1-1 (Portaria nº 1.225/GC3 de 2020)
<b>Operações de Busca</b>	<b>Reconhecimento Aéreo</b>	<b>Reconhecimento Aeroespacial</b>
Tarefa que envolve a participação de aeronave para <u>detectar</u> e <u>coletar atividade</u> de <u>forças opositoras</u> .	Operação destinada à <u>obtenção</u> de <u>informações oportunas</u> e <u>atualizadas</u> sobre o <u>inimigo</u> ou sobre resultados de ataques realizados, necessárias ao planejamento e à condução das operações subsequentes.	<b>Aceitável F-39 e KC-390</b> Ação que consiste em empregar Meios Aeroespaciais para <u>detectar</u> , <u>identificar</u> , <u>coletar</u> e <u>difundir dados específicos</u> sobre <u>forças oponentes</u> e <u>áreas de interesse</u> .
<b>Reconhecimento Armado</b>	<b>Reconhecimento Armado</b>	<b>Reconhecimento Armado</b>
<u>Localizar</u> e <u>atacar forças hostis</u> durante o reconhecimento aéreo de <u>áreas determinadas</u> .	Missão executada por aeronaves que tem como principal propósito a <u>localização</u> e o <u>ataque</u> a <u>alvos de oportunidade</u> .	<b>Aceitável F-39</b> Ação que consiste em empregar Meios Aeroespaciais para <u>detectar</u> , <u>identificar</u> , <u>neutralizar</u> ou <u>destruir alvos oponentes</u> fixos, estacionários ou móveis, na superfície, em uma <u>área</u> ou <u>rota</u> previamente selecionada.
<b>Reconhecimento Aéreo</b>	<b>Reconhecimento Aéreo</b>	<b>Reconhecimento Aeroespacial</b>
Tarefa que envolve a <u>coleta</u> , por meios aéreos, de <u>informações sobre</u> as <u>forças opositoras</u> ou o <u>terreno</u> , utilizando-se de <u>sensores</u> visuais, fotográficos ou eletrônicos.	Operação destinada à <u>obtenção</u> de <u>informações oportunas</u> e <u>atualizadas</u> sobre o <u>inimigo</u> ou sobre resultados de ataques realizados, necessárias ao planejamento e à condução das operações subsequentes.	<b>Aceitável F-39 e KC-390</b> Ação que consiste em empregar Meios Aeroespaciais para <u>detectar</u> , <u>identificar</u> , <u>coletar</u> e <u>difundir dados específicos</u> sobre <u>forças oponentes</u> e <u>áreas de interesse</u> .
<b>Reconhecimento de Área para Pouso</b>	<b>Instrução Militar</b>	<b>Instrução Aérea</b>
Tarefa que envolve o emprego de meios aéreos na seleção de áreas e <u>treinamento</u> da <u>tripulação</u> para <u>pouso</u> em uma área desconhecida.	Atividade fundamental, no <u>processo</u> de <u>formação</u> , que visa a habilitar o <u>indivíduo</u> para o desempenho das funções correspondentes aos cargos militares.	<b>Parcialmente Aceitável F-39 e KC-390</b> Ação que consiste em empregar Meios Aeroespaciais para formar ou <u>adestrar tripulantes</u> para o <u>cumprimento</u> das diversas <u>Ações de Força Aérea</u> .
<b>Transporte Aéreo de Carga</b>	<b>Transporte Aéreo Logístico</b>	<b>Transporte Aéreo Logístico</b>
Tarefa que envolve o <u>transporte aéreo</u> operacional de <u>carga</u> , de uma localidade para outra.	<u>Missão aérea</u> destinada a <u>movimentar</u> pessoal e <u>material</u> , a fim de atender necessidades logísticas e de ligação de forças militares ou de interesse governamental.	<b>Aceitável KC-390</b> Ação que consiste em empregar Meios Aeroespaciais para <u>deslocar</u> pessoal e <u>material</u> , a fim de atender as necessidades logísticas e de ligação, de interesse para as operações militares ou ações governamentais por meio de pouso, carga e descarga das aeronaves.
<b>Transporte Aéreo de Cargas Perigosas</b>	<b>Transporte Aéreo Logístico</b>	<b>Transporte Aéreo Logístico</b>
Tarefa que envolve o <u>transporte aéreo</u> operacional de <u>cargas perigosas</u> .	<u>Missão aérea</u> destinada a <u>movimentar</u> pessoal e <u>material</u> , a fim de <u>atender necessidades logísticas</u> e de ligação de forças militares ou de interesse governamental.	<b>Aceitável KC-390</b> Ação que consiste em empregar Meios Aeroespaciais para <u>deslocar</u> pessoal e <u>material</u> , a fim de <u>atender as necessidades logísticas</u> e de ligação, de interesse para as operações militares ou ações governamentais por meio de pouso, carga e descarga das aeronaves.
<b>Vigilância</b>	<b>Vigilância</b>	<b>Alerta em Voo</b>
Tarefa que envolve a utilização de meios aéreos para a <u>observação</u> sistemática do <u>espaço aéreo</u> ou de <u>área de interesse no solo</u> , empregando na vigilância <u>radares</u> , sensores visuais, sonoros, eletrônicos e/ou fotográficos, em <u>busca</u> de <u>atividades</u> no espaço aéreo e/ou terrestre vigiados.	Ato realizado no sentido de <u>detectar</u> , <u>registrar</u> e <u>informar</u> , com os meios disponíveis, <u>qualquer anormalidade</u> ocorrida no <u>setor de observação</u> .	<b>Parcialmente Aceitável F-39</b> Ação que consiste em empregar Meios Aeroespaciais para prover <u>proteção</u> à determinada <u>Área de Interesse</u> ou <u>Ponto Sensível</u> , seja operando a partir de uma <u>Área de Responsabilidade de Caça</u> (ARCA) ou ponto pré-estabelecido para a Patrulha Aérea de Combate (PAC).

Continúa

ONU	Glossário das Forças Armadas	DCA 1-1 (Portaria nº 1.225/GC3 de 2020)
<b>Transporte Aéreo de Passageiros</b> Tarefa que consiste no <u>transporte aéreo</u> operacional de <u>pessoas</u> , de uma localidade para outra.	<b>Transporte Aéreo Logístico</b> <u>Missão aérea</u> destinada a <u>movimentar pessoal</u> e <u>material</u> , a fim de atender necessidades logísticas e de ligação de forças militares ou de interesse governamental.	<b>Transporte Aéreo Logístico</b> <b>Aceitável KC-390</b> Ação que consiste em empregar Meios Aeroespaciais para <u>deslocar pessoal</u> e <u>material</u> , a fim de atender as necessidades logísticas e de ligação, de interesse para as operações militares ou ações governamentais por meio de pouso, carga e descarga das aeronaves.
<b>Transporte Aéreo Humanitário de Cargas e Passageiros</b> Tarefa que envolve o <u>transporte aéreo humanitário</u> de <u>cargas</u> e <u>pessoas</u> .	<b>Transporte Aéreo Logístico</b> <u>Missão aérea</u> destinada a <u>movimentar pessoal</u> e <u>material</u> , a fim de <u>atender</u> necessidades logísticas e de ligação de forças militares ou de <u>interesse governamental</u> .	<b>Transporte Aéreo Logístico</b> <b>Aceitável KC-390</b> Ação que consiste em empregar Meios Aeroespaciais para <u>deslocar pessoal</u> e <u>material</u> , a fim de <u>atender</u> as necessidades logísticas e de ligação, de <u>interesse</u> para as <u>operações militares</u> ou <u>ações governamentais</u> por meio de pouso, carga e descarga das aeronaves.
<b>Transporte VIP</b> Tarefa que envolve o <u>transporte aéreo</u> de <u>autoridades</u> de uma <u>Operação de Paz</u> ou <u>governantes internacionais</u> .	Sem definição no Glossário das Forças Armadas.	<b>Transporte Especial</b> <b>Aceitável KC-390</b> Ação que consiste em empregar Meios Aeroespaciais para <u>transportar autoridades nacionais</u> ou <u>estrangeiras</u> , <u>quando determinado</u> pela <u>autoridade competente</u> .

Fonte: elaboração própria baseada em Portaria nº 1.225/GC3 (2020); Benzecry (2019); Ministério da Defesa et al. (2020), e Nadú Rangel *et al.* (s. f.).

Conforme o quadro 2, foi considerado parcialmente aceitável pelos especialistas o relacionamento do conceito de Reconhecimento de Área para Pouso e Vigilância. Devido à tecnologia empregada, aos equipamentos de autodefesa embarcados e à confiabilidade em termo de disponibilidade, as aeronaves F-39 e KC-390 poderão ser engajadas em qualquer região do globo, uma vez que, os atuais vetores (F-5 e C-130) da FAB, não estão disponíveis para participar de operações da ONU porque, entre outros motivos, não cumprem os requisitos da Organização para sobreviver em um ambiente hostil.

“O Brasil atualmente está no nível 1, ao oferecer suas capacidades (tropas e meios) para verificação da organização. A visita caracteriza o nível 2, quando se avalia pessoal, disponibilidade de equipamentos e padrão de treinamento” (Ministério da Defesa, 2017).

Levando em consideração as conclusões de Krause (2015), é bem possível que, com a chegada dos novos vetores F-39 e KC-390, o Ministério da Defesa e o Ministério das Relações Exteriores ampliem sua cooperação no processo de tomada de decisão, relativo à participação destas aeronaves brasileiras em missões de paz, a fim de que os interesses da política de defesa e da política externa se somem.

Assim, segundo as teorias de emprego do Poder Aéreo em Operações de Paz da ONU, definidas por Dallaire (2014) e Dorn (2014), a atuação do F-39 e do KC-390 como integrantes da Aviação Militar da ONU representará uma das maiores influências de projeção brasileira no cenário internacional. As possíveis atuações das futuras aeronaves da Aeronáutica nas dezoito Tarefas da ONU (categoria – Aceitável, conforme quadro 2), ratificarão as aspirações nacionais e as orientações governamentais da política externa brasileira.

Esses fundamentos, objetivos e princípios constitucionais estão estabelecidos pela PND. Tal constatação responde ao problema de estudo e atinge o objetivo estabelecido nesta pesquisa.

## Conclusão

A pesquisa investigou os efeitos da chegada das novas aeronaves militares F-39 e KC-390, que poderão influenciar a projeção do governo brasileiro no contexto internacional. Durante o estudo, as influências internacionais para apontar a projeção brasileira do F-39 e KC-390 com a Ajuda Humanitária Internacional foram identificadas através das perspectivas sociais e estratégicas, conforme o quadro 1.

Neste sentido, foi possível identificar que o aspecto estratégico, tal como “maior atuação como integrante da aviação militar da ONU”, segundo as teorias de emprego do Poder Aéreo em Operações de Paz da ONU, definidas por Dallaire e Dorn e ratificadas pela Política Nacional de Defesa, representará uma das maiores influências de projeção brasileira no cenário internacional. A pesquisa também apresentou como resultado que dezoito, dentre as vinte e duas Tarefas Aéreas da ONU, podem ser cumpridas mediante as Ações de Força Aérea da DCA 1-1, no caso de emprego do F-39 e KC-390 da FAB como Componente Aéreo em uma Operação de Paz.

Assim, ao poderem cumprir as referidas Tarefas Aéreas da ONU, neste trabalho foram demonstradas as capacidades dos futuros vetores para diminuir os efeitos negativos em países ou populações que se encontrem em estado de conflito armado, de desastre natural, de calamidade pública ou de insegurança alimentar e nutricional.

A expressão de vontade da diplomacia brasileira de se engajar mais ativamente nas questões internacionais como forma de ampliar a presença do Brasil no mundo será o grande legado da chegada das novas aeronaves F-39 e KC-390. Com estes aviões, a nação brasileira poderá “subir à primeira divisão” das relações

internacionais. (Pereira *et al.*, 2016, p. 89, citado por Nadú Rangel *et al.*, s. f., p. 10)

Compartilhando as responsabilidades nas Operações de Paz da ONU e garantindo, assim, a ordem e a estabilidade globais. Apesar do cenário estável do entorno geopolítico imediato, o Brasil não pode prescindir da capacidade militar de cooperação internacional em missões da ONU.

Devido à tecnologia empregada, aos equipamentos de autodefesa embarcados e à confiabilidade em termo de disponibilidade, as aeronaves F-39 e KC-390 poderão ser empregadas em qualquer região do globo, estimulando a atuação das Forças Armadas em todo tipo de tarefa.

Nesse contexto, ao inserir os vetores aéreos F-39 e KC-390 como um equipamento possível de incrementar os esforços diplomáticos em operações de *Peace Enforcement* ou *Peace Keeping* em um ambiente hostil, estas aeronaves terão a capacidade de atender às demandas da ONU, facilitando, assim, a política externa brasileira, nas quais o Conselho de Segurança das Nações Unidas tenha determinado a existência de uma ameaça, ruptura da paz ou ato de agressão.

As possíveis contribuições futuras do Brasil em missões de *Peace Enforcement* ou *Peace Keeping* da ONU, com os novos aviões, continuarão a refletir o viés pragmático de política externa brasileira. Os novos vetores aéreos F-39 Gripen e KC-390 Millennium da Força Aérea Brasileira são considerados meios de alto valor e podem contribuir decisivamente para o sucesso do mandato das Operações de Paz, servindo como instrumento de interoperabilidade da ONU.

## Referências

- Alsina Júnior, J. P. S. (2014). *A Esfinge e o Tridente: Rio-Branco, Grande Estratégia e o Programa de Reaparelhamento Naval (1904-1910) na Primeira República* [Tese de Doutorado, Universidade de Brasília]. Repositório institucional da UNB. <https://acortar.link/JqFL42>
- Andrade de Oliveira, I., Passarelli Hamann, E., Soares, M. A. (2021). *Brazil's participation in United Nations peacekeeping*

- operations: Evolution, challenges, and opportunities*. Discussion paper 254. Institute for Applied Economic. <https://acortar.link/5Ze4J3>
- Benzecry, M. A. (2019). *A evolução da participação brasileira nas Operações de Paz da ONU e o programa do uso da força - Capítulo VII da Carta das Nações Unidas*. Escola de Comando e Estado-Maior do Exército. Escola Marechal Castello Branco. <https://acortar.link/ussa2n>
- Brasil. Ministério da Defesa (25 de abril de 2017). Equipe da ONU avalia capacidade do Brasil para novas Missões de Paz. *Ministério da Defesa e Portal Gov.br*. <https://acortar.link/hpPrDa>
- Brasil. Ministério da Defesa. (2012). Política Nacional de Defesa - PND. *Portal Gov.br*. <https://acortar.link/UOo1bK>
- Brasil. Ministério da Defesa. (2012). Livro Branco da Defesa Nacional - LBDN. *Portal Gov.br*. <https://acortar.link/TwBlWY>
- Brasil. Portaria nº 1.597/GC3, de 2018 [Comando da Aeronáutica. Ministério da Defesa]. Aprova a edição da Concepção Estratégica - "Força Aérea 100": DCA 11- 45. 10 de outubro de 2018.
- Brasil. Portaria nº 1.224/GC3, de 2020 [Comando da Aeronáutica. Ministério da Defesa]. Aprova a edição da Doutrina Básica da Força Aérea Brasileira - Volume 1: DCA 1-1. 10 de novembro de 2020.
- Brasil. Portaria nº 1.225/GC3, de 2020 [Comando da Aeronáutica. Ministério da Defesa]. Aprova a edição da Doutrina Básica da Força Aérea Brasileira - Volume 2: DCA 1-1. 10 de novembro de 2020.
- Cuesta, A. S. (2001). O uso do método Delphi na criação de um modelo de competências. *Revista de Administração*, 36(2), 25-32. <https://acortar.link/8fjKV6>
- Da Costa Silva, C., Silveira dos Santos, R. A. (2016). *O emprego do poder aéreo em operações de paz da ONU à luz da doutrina da Força Aérea Brasileira*. Universidade da Força Aérea - UNIFA. <https://acortar.link/bVxAwh>
- Dallaire, R. A. (2014). Foreword. In Dorn, A. W. (Ed.), *Air Power in UN Operations: Wings for Peace* (pp. 220-260). Ashgate.
- Dorn, A. W. (Ed.). (2014). *Air Power in UN Operations: Wings for Peace*. Ashgate.
- Freire, M. R. e da Vinha, L. (2011). Política externa: Modelos, atores e dinâmicas. Em *Política externa: As relações internacionais em mudança* (pp.13-53). Imprensa da Universidade de Coimbra.
- Gil, A. C. (2007). *Como elaborar projetos de pesquisa*. 4ª ed. Atlas.
- Kenkel, K. M., Fracalossi de Moraes, R. (2012). *O Brasil e as Operações de Paz em um mundo globalizado: Entre a tradição e a inovação*. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - IPEA.
- Krause, K. (2009). Human Security. In Chétail, V. (Ed.). *Post-conflict peacebuilding: A lexicon* (pp. 147-157). Oxford University Press.
- Krause, V. F. (2015). Operações de paz desafiadas: como enviar tropas para países imersos em conflitos de caráter crônico? O caso brasileiro. Em *Encontro da Associação Brasileira de Estudos de Defesa* (pp. 1073-1086). Universidade de Brasília/UnB e Instituto Pandiá Calógeras. <https://acortar.link/rdJrEv>
- Nadú Rangel, A. N., Bernardes Ferreira, K., Souza Melo de Queiroz, K. R., Rodrigues Barreto, P. L., Bragança Amorim, S. e Reis Ramos, V. (s. f.). *Desafios ao Desenvolvimento da Base Industrial de Defesa: A Busca Pela Soberania Nacional*. <https://acortar.link/eKOh1f>
- Osman, M. A. (2018). *The United Nations and peace enforcement: Wars, terrorism and democracy*. Routledge.
- Pereira da Silva Schneider, M. S. e Mendes de Oliveira, P. F. (2019), Conduta Linguística e Competência Conversacional: a posição discursiva de António Guterres. *Revista Humanidades e Inovação*, 6(13), 139-149.
- Rodríguez Silva, S. R. (2020). *Fluxos migratórios gerados por crises humanitárias* [Tese de Doutorado, Escola de Guerra Naval]. <https://acortar.link/LLtI9J>
- United Nations (UN). (1945). *Carta das Nações Unidas e Estatuto da Corte Internacional de Justiça*. Unicef Rio de Janeiro.
- United Nations (UN). (2008). *United Nations peacekeeping operations: Principles and guidelines*. United Nations. <https://acortar.link/UbxTk0>

# Asuntos humanitarios y poder aeroespacial: aplicaciones del poder aéreo en la Amazonia

Fecha de recibido: 26 de febrero 2023	Fecha de aprobado: 14 de abril 2023
Reception date: February 26, 2023	Approval date: April 14, 2023
Data de recebimento: 26 de fevereiro de 2023	Data de aprovação: 14 de abril de 2023

## Carlos Alberto Leite da Silva

<https://orcid.org/0000-0001-9039-4696>  
 leite2000@hotmail.com

Doctorado en Sociología y Derecho  
 Docente e investigador – Universidade da Força Aérea (UNIFA), Brasil  
 Rol del investigador: teórico y escritura  
 Grupo de Investigación GPHUMAER

PhD in Sociology and Law  
 Professor and researcher – University of the Air Force (UNIFA), Brazil  
 Researcher's role: theorist and writer  
 Praxis Educativa Research Group

Doutorado em Sociologia e Direito  
 Professor e pesquisador – Universidade da Força Aérea (UNIFA), Brasil  
 Papel do pesquisador: teórico e escritor  
 Grupo de Pesquisa Praxis Educativa

## Eduardo Oliveira Sol

<https://orcid.org/0000-0001-9355-3269>  
 eduardosol2@gmail.com

Doctor en Geografía, Desarrollo, Medio Ambiente y Territorio  
 Docente e investigador – Universidade da Força Aérea (UNIFA), Brasil  
 Rol del investigador: teórico y escritura  
 Grupo de Investigación GPHUMAER

PhD in Geography, Development, Environment and Territory  
 Professor and researcher – University of the Air Force (UNIFA), Brazil  
 Researcher's role: theorist and writer  
 Praxis Educativa Research Group

Doutor em Geografia, Desenvolvimento, Meio Ambiente e Território  
 Professor e pesquisador – Universidade da Força Aérea (UNIFA), Brasil  
 Papel do pesquisador: teórico e escritor  
 Grupo de Pesquisa Praxis Educativa

**Cómo citar este artículo:** Leite da Silva, C. A. y Oliveira Sol, E. (2023). Asuntos humanitarios y poder aeroespacial: aplicaciones del poder aéreo en la Amazonia. *Ciencia y Poder Aéreo*, 18(2), 106-117. <https://doi.org/10.18667/cienciaypoderaereo.775>



## Asuntos humanitarios y poder aeroespacial: aplicaciones del poder aéreo en la Amazonia

**Resumen:** El trabajo discute la importancia del uso del poder aeroespacial vinculado a asuntos humanitarios en la Amazonía brasileña. Este abordaje busca observar el impacto de los recursos aéreos y espaciales en las acciones de protección humanitaria y defensa nacional. El problema de investigación a ser discutido se pregunta cuál es la relevancia del poder aeroespacial brasileño en el tratamiento de las cuestiones humanitarias. Se aborda, también, la importancia de la Política Nacional de Defensa y de la Estrategia Nacional de Defensa, identificando la relevancia de la cooperación amazónica y la inserción de Brasil en el cumplimiento de acuerdos internacionales en América del Sur. Se enumeran los principales documentos que regulan la acción entre agencias en Brasil y la evolución del apoyo aéreo a esta operación. Se identifica el concepto de *refugiado* considerando la perspectiva contemporánea sobre la vulnerabilidad y se discuten las aplicaciones del poder aéreo, haciendo un recorte sobre la aplicación de medios aéreos considerando la Operación Acolhida entre 2018 y 2020. La investigación concluye acerca de la inserción del poder aeroespacial brasileño en una perspectiva actual al tratar cuestiones humanitarias, considerando estudios del área de Relaciones Internacionales y Estudios Estratégicos.

**Palabras clave:** defensa y poder aéreo; humanitarismo; relaciones internacionales; estudios estratégicos.

## Humanitarian issues and aerospace power: airpower applications in the Amazon

**Abstract:** The paper discusses the importance of the use of aerospace power linked to humanitarian issues in the Brazilian Amazon. This approach seeks to observe the impact of air and space resources in humanitarian protection and national defense actions. The research problem to be discussed is the relevance of Brazilian aerospace power in the treatment of humanitarian issues. It also addresses the importance of the National Defense Policy and the National Defense Strategy, identifying the relevance of Amazonian cooperation and the insertion of Brazil in the fulfillment of international agreements in South America. The main documents regulating interagency action in Brazil and the evolution of air support to this operation are listed. The concept of refugee is identified considering the contemporary perspective on vulnerability and the applications of air power are discussed, making a cut on the application of air means considering Operation Acolhida between 2018 and 2020. The research concludes about the insertion of Brazilian aerospace power in a current perspective when dealing with humanitarian issues, considering studies in the area of International Relations and Strategic Studies.

**Keywords:** Defense and Air Power; International Relations; Humanitarianism; strategic studies.

## Questões humanitárias e poder aeroespacial: aplicações do poder aéreo na Amazônia

**Resumo:** O artigo discute a importância do uso do poder aeroespacial ligado a questões humanitárias na Amazônia brasileira. Essa abordagem busca observar o impacto dos recursos aéreos e espaciais na proteção humanitária e nas ações de defesa nacional. O problema de pesquisa a ser discutido é a relevância do poder aeroespacial brasileiro no tratamento de questões humanitárias. Também aborda a importância da Política Nacional de Defesa e da Estratégia Nacional de Defesa, identificando a relevância da cooperação amazônica e a inserção do Brasil no cumprimento de acordos internacionais na América do Sul. São listados os principais documentos que regulamentam a ação interagências no Brasil e a evolução do apoio aéreo a essa operação. O conceito de refugiado é identificado considerando a perspectiva contemporânea de vulnerabilidade e as aplicações do poder aéreo são discutidas, com uma revisão da aplicação dos meios aéreos considerando a Operação Acolhida entre 2018 e 2020. A pesquisa conclui sobre a inserção do poder aeroespacial brasileiro em uma perspectiva atual ao lidar com questões humanitárias, considerando estudos na área de Relações Internacionais e Estudos Estratégicos.

**Palavras-chave:** Defesa e Poder Aéreo; Humanitarismo; Relações Internacionais; estudos estratégicos.

## Introducción

Esta investigación expone la relevancia de la contemporaneidad en la comprensión de la aplicación del poder aeroespacial, y especialmente en cuestiones humanitarias. La organización no gubernamental ACLED (Armed Conflict Location and Event Data), vinculada a la Universidad de Sussex (Inglaterra), discute la importancia de los conflictos armados y las crisis internacionales en la dificultad de la estabilización política y social en varias regiones del mundo, y cita la importancia de atender a los refugiados y desplazados hoy. Citando las acciones en Nigeria, Malí, Birmania, Libia, Camerún, Burkina Faso, Siria y Yemen en 2022, extrapola la centralidad de la discusión sobre el conflicto armado en Ucrania (ACLED, 2022).

La perspectiva de los conflictos armados en el siglo XXI y las cuestiones humanitarias tiene en cuenta la dispersión de la violencia y la ruptura del monopolio del uso de la fuerza, predominante desde la Paz de Westfalia (1648), con la identificación de un número creciente de actores, además del Estado. Se mencionan: organizaciones no gubernamentales, instituciones internacionales, mecanismos regionales de seguridad colectiva, mercenarios, niños soldados y personal involucrado en conflictos armados sin las caracterizaciones que preconizan los Convenios de Ginebra de 1949, aumentando así el número de atrocidades en las zonas de conflicto.

Aliado a esta perspectiva, está la mayor vulnerabilidad de grandes porciones de la población refugiada y desplazada. Cito a más de 4,8 millones de refugiados de Ucrania en 2022, tres millones de refugiados y desplazados en el Sahel africano y casi un millón de desplazados y refugiados en el norte de Mozambique en enero de 2023 (Cabo Delgado).

La vulnerabilidad es un componente que permea las relaciones presentes en las zonas de conflicto armado, pero también está presente en la recepción de refugiados económicos, sociales y políticos. Esta es una característica creciente en un mundo donde las transformaciones y las amenazas a las víctimas se expanden a una escala vertiginosa. El desplazamiento

de poblaciones carentes de salud, educación y recursos básicos de supervivencia es denunciado por instituciones como la Oxford Committee for Famine Relief (Oxfam) y la Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los Refugiados (Acnur) en las fronteras de Malí, Benín y Níger (Sahel africano), en enero de 2023.

Pasaremos a comprender los conceptos propios de la discusión sobre la vulnerabilidad social en la actualidad, así como las demandas presentes en una perspectiva de atención a las víctimas. En particular, el papel de las Fuerzas Aéreas en la atención y reducción de la victimización en la actualidad. El problema de investigación a ser discutido se pregunta sobre la relevancia del poderío aeroespacial brasileño en el tratamiento de cuestiones humanitarias.

Ulrich Beck destaca el surgimiento de la expansión de los riesgos globalizados en el siglo XXI, dentro de esta perspectiva multipolar, y el concepto de riesgos que complementarían la perspectiva presentada por los activos. Para Beck, la percepción social de los riesgos trasciende la confrontación de las coyunturas en las realidades sociales. Existirían dos tipos de riesgos: a) individuales y b) globales. El enfoque en el abordaje contemporáneo de los riesgos globales a través de la multidimensionalidad de clases sociales y aspectos geográficos, presentes en las combinaciones de la cibernética y la globalización. Para Guivant (2000, p. 95), la modernización reflexiva, las cuestiones de desarrollo y la aplicación de tecnologías son reemplazadas por cuestiones de “gestión de riesgos políticos y científicos”.

El autor cita nuevos riesgos de naturaleza impredecible, como los riesgos ecológicos, químicos y nucleares, que son producidos industrialmente, externalizados económicamente y minimizados políticamente (Guivant, 2000, p. 103). La comprensión del desarrollo de un aparato de gobernanza global con perspectiva multipolar, pero con un gran incremento de riesgos, exige una apreciación que favorezca el desarrollo de conductas uniformes, en la búsqueda de soluciones a los complejos procesos en marcha.

Góes y Mello (2020) consideran que el concepto de gobernanza global debe ser visto como un conjunto de redes complejas y no jerárquicas del sistema internacional, que involucra a Estados soberanos, organismos

internacionales, empresas multinacionales, un conjunto de países y organizaciones no gubernamentales, cuya interacción experimentó transformaciones paradigmáticas en tiempos de COVID-19, ya sea por la desaceleración del ciclo neoliberal de la dinámica globalizadora o por la disputa por el liderazgo mundial entre Estados Unidos y China.

El autor discute el hecho de que existe una gobernanza global incapaz de crear mecanismos multilaterales efectivos para superar la crisis sanitaria a escala planetaria, con predominio de la visión maquiavélica-hobbesiana de la guerra de todos contra todos, en interés de los Estados. Sin embargo, también surgió un modelo en el que las redes internacionales se articulaban dentro de un árbol de decisión jerárquico y multilateral, enfocado en la búsqueda del bien común.

El concepto de seguridad internacional implícó, durante la mayor parte del siglo xx, diferentes debates, negociaciones y construcción de instituciones tendientes al mantenimiento del orden internacional, entendido en términos de gestión de conflictos entre los Estados y de regulación del uso internacional de la violencia. Después del final de la Primera Guerra Mundial, el Pacto de la Sociedad de Naciones había establecido un sistema de seguridad colectiva que llamaba a los Estados miembros a reaccionar colectivamente ante cualquier forma de agresión. Un “acto de guerra” contra un miembro de la organización sería considerado un acto de guerra contra todos (Sociedad de Naciones). Se creía que se había creado un poderoso elemento de disuasión como reacción automática, para ser institucionalizada, aunando el poder de todos los Estados contra hipotéticos agresores (Herz y Yamato, 2018).

Ante el fracaso de este sistema en la década de 1930 y los horrores de la Segunda Guerra Mundial, la nueva organización internacional diseñada para mantener el orden y la estabilidad mundiales generaría entonces un nuevo sistema de seguridad colectiva. Más universal y adaptado a las relaciones de poder entre los Estados, este nuevo sistema trataría efectivamente la soberanía y el poder de las grandes potencias en términos distintos de los de los demás miembros de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), expresados

en el poder de veto de los cinco miembros permanentes de su Consejo de Seguridad. A diferencia de los términos de la Liga de las Naciones, la ONU se constituiría en 1945 con el propósito de “mantener o restaurar la paz y la seguridad internacionales”.

La discusión sobre la seguridad internacional en el siglo xxi incorpora la victimización como un elemento a considerar, asociado a la falta de distinción. En el tema, la relevancia de la discusión del Estatuto de Roma, en lo que respecta a los crímenes de lesa humanidad, el genocidio y la agresión, se vuelve fundamental para una agenda multilateral que se presenta como relevante en las agendas de los Estados.

Otro aspecto importante para discutir en la agenda internacional durante los siglos xx y xxi muestra el papel de la discusión sobre el Derecho Internacional de los Derechos Humanos, conceptos relevantes para la comprensión de la legislación sobre refugiados y la protección de las víctimas de los conflictos armados.

Al discutir la relevancia de las generaciones conceptuales de los derechos humanos, se debe hacer referencia a la importancia de los llamados derechos clásicos, representados por los derechos de expresión, religioso y económico. A finales del siglo xix, las concepciones crítico-materialistas crearon las propuestas incorporadas en la Constitución alemana de Weimar, consolidando la segunda generación de derechos humanos con los derechos sociales, la educación, la cultura, el ocio y la seguridad. Ya la tercera generación discute la autodeterminación de los pueblos y la solidaridad.

Entre las tareas recomendadas por la doctrina básica de la Fuerza Aérea Brasileña (FAB), se destacan las acciones de Apoyo a la Sociedad, en las que se incluye el uso de medios aéreos en el transporte y apoyo de poblaciones extranjeras y refugiados nacionales, como el uso de aviones de transporte en la Amazonía brasileña. Un ejemplo exitoso de esta tarea es el apoyo al Sistema de Protección de la Amazonía (Sipam), las operaciones de transporte médico aéreo para poblaciones en regiones lejanas y de la acogida de refugiados.

La FAB utiliza modernos equipos de vigilancia y protección aérea, además de aviones capaces de

apoyar a las personas con equipos listos para atender las demandas en las fronteras brasileñas en la Amazonía. El Departamento de Control del Espacio Aéreo y el Comando de Preparación son responsables de mantener los medios previstos en el cumplimiento de la misión constitucional de garantizar la defensa del espacio aéreo brasileño.

Brasil forma parte de ese espacio en la medida en que lucha por el respeto de los acuerdos internacionales de los que es signatario, en una perspectiva de protección de la persona humana que se ha destacado a partir de la evolución de la discusión posterior a la Declaración Universal de los Derechos Humanos de 1948.

Es digno mencionar la participación de la sociedad en su conjunto, y no solo de los militares, en la elaboración de la planificación de la defensa nacional, dado que la seguridad de la soberanía brasileña no interesa solo a los miembros de las Fuerzas Armadas, sino también a toda la sociedad brasileña. Este vínculo entre la sociedad y las Fuerzas Armadas tiene como objetivo transmitir la legitimidad de las acciones, a partir de la definición de *qué, quién y cómo*.

La Política de Defensa Nacional (PND) y la Estrategia de Defensa Nacional (END) buscan delinear los rumbos que Brasil debe tomar en materia de defensa, fijando objetivos (en la PND) y definiendo las herramientas para alcanzarlos (en la END), con el fin de formatear la planificación estratégica brasileña en relación con la defensa (Ministério da Defesa, 2012). En la PND, entonces, podemos identificar varios objetivos de defensa nacional:

- a) Garantizar la soberanía, el patrimonio nacional y la integridad territorial;
- b) Defender los intereses nacionales y del pueblo brasileño, bienes y recursos en el exterior;
- c) Contribuir a la preservación de la cohesión y unidad nacional;
- d) Contribuir a la estabilidad regional; contribuir al mantenimiento de la paz y la seguridad internacionales; intensificar la proyección de Brasil en el concierto de las naciones y su mayor inserción en los procesos de toma de decisiones internacionales;

e) Mantener unas Fuerzas Armadas modernas, integradas, entrenadas, equilibradas y con creciente profesionalización, operando conjunta y adecuadamente desplegadas en todo el territorio nacional;

f) Sensibilizar a la sociedad brasileña sobre la importancia de las cuestiones de defensa del país;

g) Desarrollar la industria de defensa nacional, orientada a la obtención de autonomía en tecnologías indispensables; estructurar las Fuerzas Armadas en torno a capacidades, dotándolas de personal y material compatible con los planes estratégicos y operativos;

h) Desarrollar el potencial de logística de defensa y movilización nacional. (Ministério da Defesa, 2012, pp. 28-29, citado por Santos Campos, 2020, p. 136)

Se destaca la importancia de proteger a las personas en la discusión actual sobre la sensibilización acerca de la importancia de los temas de defensa para la sociedad brasileña. Según la Escola Superior de Guerra, todas las acciones dirigidas a preservar el bienestar de la nación brasileña se constituyen en defensa. Kaztman (2001) considera la vulnerabilidad social como:

[...] la ausencia por parte de las personas, grupos o familias de activos capaces de hacer frente a determinados riesgos, es decir, activos que les otorgarían un mayor control sobre las fuerzas que afectan su bienestar, permitiéndoles aprovechar mejor las oportunidades. Estos serían activos físicos, humanos y sociales. (2001, p. 87)

Kaztman (2001) discute el concepto de “movilidad de la estructura” a través de la comprensión de los aspectos cuantitativos, y más aún de los aspectos cualitativos, de la oferta de oportunidades dentro de una perspectiva histórica, dinámica y estructural. El autor considera los activos físicos (acceso a los medios de producción y la propiedad, acceso al crédito), los bienes personales (salud, educación y calificación profesional) y los bienes sociales; y discute cómo representan fuertes agregadores para la exclusión de las poblaciones y las vulnerabilidades de la vida en sociedad (Kaztman, 2001, p. 43).

- a) En la END, se prevén acciones con el objetivo de promover la inserción internacional de Brasil, y dentro de este tema, aumentar el apoyo a la participación brasileña en el escenario mundial, a través de la acción del Ministerio de Defensa y de otros ministerios en procesos de toma de decisiones internacionales relevantes, mejorando y aumentando la capacidad de negociación de Brasil;
- b) en acciones que promuevan la ampliación de la proyección del país en el escenario mundial y reafirmen su compromiso con la defensa de la paz y la cooperación entre los pueblos;
- c) en foros internacionales relacionados con temas estratégicos, priorizando instancias regionales como el Consejo de Defensa Suramericano (CDS) de la Unión de Naciones Suramericanas (Unasur);
- d) en la relación entre los países amazónicos, en el ámbito de la Organización del Tratado de Cooperación Amazónica;
- e) en la intensificación de la cooperación y el comercio con países de África, América Central y el Caribe, incluida la Comunidad de Estados Latinoamericanos y Caribeños (Celac); y
- f) en la consolidación de la Zona de Paz y Cooperación del Atlántico Sur (Zopacas), y el aumento de la interacción interregional, como la Comunidad de Países de Lengua Portuguesa (CPLP), la Cumbre América del Sur-África (ASA) y el Foro de Diálogo India-Brasil-Sudáfrica (Ibas) (Ministério da Defesa, 2012).

Destacamos la relación con los países amazónicos, así como la cooperación interregional. Según Acnur, 89,3 millones de personas en todo el mundo han sido desplazadas por la fuerza. De estos, el 69% provenía de solo cinco países: Siria (27%), Venezuela (18%), Afganistán (11%), Sudán del Sur (9%) y Birmania (5%).

Así mismo, según Acnur, Colombia es el segundo mayor receptor de refugiados (1,8 millones), después de Turquía (3,8 millones). El concepto moderno de refugiados considera a todas las personas que se encuentran fuera de su país de origen a causa de temores fundados de persecución por motivos de raza, religión, nacionalidad, pertenencia a determinado grupo social

u opinión política, además de la violación de los derechos humanos y del Derecho Internacional de los Conflictos Armados (Dica).

Acnur fue creada en 1950 para ayudar a los millones de europeos que huyeron o perdieron sus hogares como consecuencia de la Segunda Guerra Mundial. Su primer término se convirtió en el principal Régimen Internacional para los Refugiados, la Convención de 1954 definió quiénes serían “refugiados” y aclaró los derechos y deberes entre ellos y los países que los acogen, con lo que se avanzó en la perspectiva planteada en la Declaración Universal de los Derechos Humanos. La protección de los refugiados en el contexto internacional se consolidó como una precondition jurídica para el desarrollo de más instrumentos locales tanto en los países como en las instituciones, internacionales o no.

El texto en el que se basa este análisis es su versión más actualizada; sin embargo, se puede ratificar que la esencia del documento sigue siendo la misma desde su creación, hecho que lo mantiene como el máximo referente internacional en materia de refugiados. Acnur tiene varias definiciones de personas desplazadas, a saber: refugiados, desplazados internos, solicitantes de asilo, apátridas y repatriados. Así, para Acnur, según el segundo párrafo del artículo 1, un refugiado es una persona que:

[...] siente temor de ser perseguido por motivos de raza, religión, nacionalidad, pertenencia a un determinado grupo social u opinión política, se encuentra fuera del país de su nacionalidad y no puede o, a causa de dicho temor, no quiere valerse por sí mismo de la protección de ese país, o que, si no tiene nacionalidad y se encuentra fuera del país en el que tenía su residencia habitual como consecuencia de tales hechos, no puede o, a causa de tales temores, no quiere regresar a él. (Acnur, 2021, p. 45)

## Derecho Internacional Humanitario (DIH) y las Fuerzas Armadas

En el ámbito del Ministerio de Defensa, el documento que regula el estudio y la difusión y que sirve como

fuente de consulta en relación con el Dica en las Fuerzas Armadas, en situaciones de empleo único o conjunto en contextos de conflicto, es el *Manual de Empleo de Derecho Internacional de los Conflictos Armados en las Fuerzas Armadas MD-34-M-03* (Ministério da Defesa, 2011). El concepto de DIH discutido aquí presenta una perspectiva de atención a los derechos humanos en áreas de conflicto armado.

Dado que el Dica se basa en tratados multilaterales con el objetivo de reducir el sufrimiento y mitigar el uso de la fuerza contra personas y bienes (Brasil ha ratificado o se ha adherido a cerca de cincuenta documentos en este sentido), existe una amplitud de documentos normativos. Por eso, ha sido convencionalmente aceptada, en el Ministerio de Defensa, la adopción de cinco principios básicos cuya filosofía debe guiar la aplicación de esta rama del derecho en las Fuerzas Armadas brasileñas:

- a) **Distinción:** Distinguir entre combatientes y no combatientes. Los no combatientes están protegidos de los ataques. Así mismo, distinguir bienes civiles y objetivos militares. Los bienes civiles no deben ser objeto de ataques o represalias.
- b) **Limitación:** El derecho de las Partes beligerantes a elegir los medios para dañar al enemigo no es ilimitado, y es imperativa la exclusión de medios y métodos que conducen a sufrimientos innecesarios y daños superfluos.
- c) **Proporcionalidad:** El uso de medios y métodos de guerra debe ser proporcional a la ventaja militar concreta y directa esperada. Ningún objetivo, ni siquiera uno militar, debe ser atacado si el daño y el sufrimiento son mayores que las ganancias militares esperadas de la acción.
- d) **Necesidad militar:** En todo conflicto armado, el uso de la fuerza debe corresponder a la ventaja militar que se pretende obtener. Las necesidades militares no justifican conductas o actividades inhumanas prohibidas por el Dica.
- e) **Humanidad:** El principio de humanidad prohíbe causar sufrimiento a las personas y la destrucción de la propiedad si tales actos no son necesarios para obligar al enemigo a rendirse. Por lo

tanto, se prohíben los ataques exclusivamente contra civiles, lo cual no impide que algunas víctimas civiles sufran daños ocasionalmente; pero se deben tomar todas las precauciones para mitigarlos.

Cabe destacar que la adhesión brasileña a los tratados ratificados impone la obligación de cumplir con la legislación, siendo mandatorio observar los cinco principios mencionados en la planificación y ejecución de acciones cuando ocurren situaciones de conflictos armados internacionales y no internacionales, en las que están involucradas las Fuerzas Armadas brasileñas.

## Metodología

La metodología utilizada consiste en la revisión de la literatura a través del análisis cualitativo de los estudios desarrollados sobre el poder aeroespacial brasileño y sobre cuestiones humanitarias. Se discuten trabajos que abordan la relación interagencial, seguido de la comprensión de conceptos sobre los refugiados y la relación entre ellos, considerando las operaciones de apoyo aéreo.

El problema de investigación propuesto trata acerca de la relevancia del poderío aeroespacial brasileño en el tratamiento de cuestiones humanitarias, utilizando la aplicabilidad de la actual doctrina del poderío aéreo brasileño en lo que respecta a la protección.

La pregunta orientadora es: ¿cuál es la relación entre el uso del poderío aeroespacial brasileño en el tratamiento de cuestiones humanitarias? Para eso, se utiliza metodológicamente el concepto de vulnerabilidad, dados los conflictos en el siglo actual, seguido de la comprensión de la doctrina básica de la FAB, relacionándolas con los ocho objetivos de defensa nacional presentes en la PND en materia de acciones de apoyo a la sociedad. En particular, se discute el recorte actual en relación con el transporte en la Amazonía brasileña.

Será posible verificar la concordancia entre los fundamentos doctrinarios y la aplicabilidad, en una perspectiva que involucre la comprensión de las implicaciones presentes en la vulnerabilidad para los refugiados y en el sistema de seguridad nacional que permite la interacción para el sistema de protección en la Amazonía.

Se mencionarán los elementos que permitan la comprensión de una END para la inserción internacional de Brasil, dentro del delimitado corte de protección y reducción de la vulnerabilidad actual. Sobre el tema, se mencionarán espacios de cooperación, buscando verificar la pertinencia entre los instrumentos institucionales y el apoyo efectivo en cuanto a la protección de las personas vulnerables y del medio ambiente.

## Poder aéreo y operaciones humanitarias

La doctrina básica de la FAB define las Operaciones de Ayuda Humanitaria y Mitigación de Desastres:

En una situación de crisis regional, la FAB puede ser llamada a contribuir a las operaciones de ayuda humanitaria y mitigar los efectos de los desastres, mediante el uso de sus capacidades, ya sea a nivel nacional o como parte de un esfuerzo internacional coordinado. Cuando en el contexto de una operación internacional, se utiliza la terminología inglesa del mismo significado Humanitarian Assistance and Disaster Relief (HADR). (Força Aérea Brasileira [FAB], 2020, p. 25)

La Operación Acolhida fue el resultado de las acciones del gobierno brasileño en la asistencia a las víctimas de la grave crisis económica y social de Venezuela, que ha obligado a muchos ciudadanos venezolanos a buscar oportunidades en otros países y Brasil ha sido elegido como uno de los destinos. Al otro lado de la frontera, en Roraima, muchos refugiados han sido recibidos mediante la Operación Acolhida, una operación humanitaria conjunta e interagencial coordinada por el Ministerio de Defensa. El objetivo de este trabajo es analizar la participación de los activos aéreos en esa operación, que comenzó en marzo de 2018. Se dividió en tres fases: planificación, acogida e interiorización:

- a) Ordenamiento y documentación en frontera: Consiste en acciones encaminadas a facilitar la regularización en el país, tales como acceso a la documentación, vacunación e identificación de casos de vulnerabilidad para las correspondientes derivaciones específicas;
- b) Acogida y asistencia humanitaria: Se refiere al apoyo de emergencia de albergue, alimentación y atención en salud, dando respuesta a las necesidades más inmediatas y urgentes en la atención de la población venezolana;
- c) Internalización: Estrategia que facilita, de forma gratuita y ordenada, la reubicación voluntaria de personas refugiadas y migrantes venezolanas a otros municipios, con el objetivo de la inclusión socioeconómica y la integración local.

El proceso de internalización, además de albergar a los inmigrantes, se ha esforzado por distribuirlos de manera ordenada en los diversos estados brasileños, de preferencia con empleo y residencia temporal. La constante afluencia de inmigrantes y la dificultad logística para proporcionar lugares, alimentos e infraestructuras para todos hacen evidente la importancia de la interiorización. Según datos del resumen de situación diaria, elaborado por el operativo, se pudo observar un aumento en el flujo de venezolanos en la ciudad de Pacaraima en agosto de 2018 y de 2019, probablemente como consecuencia de las vacaciones escolares en Venezuela, mientras que en marzo de 2019 se registró una caída en el número de entradas relacionadas con las protestas encabezadas por Juan Guaidó contra el régimen de Nicolás Maduro.

Uno de los inconvenientes es que el flujo de entrada en la frontera supera la capacidad de interiorización, lo cual ha provocado una sobrecarga de los sistemas de salud y educación, invasión de propiedades, además de la sanidad precaria en las ocupaciones, con estimaciones que indican que aproximadamente tres mil personas viven en estas condiciones. Se creó un Plan de Emergencia para Ocupaciones Espontáneas con el objetivo de poner fin a las ocupaciones, reubicar a los inmigrantes en albergues oficiales y promover la internalización, aliviando al estado de Roraima.

Esta interiorización facilita la inserción de los inmigrantes y es la tarea más compleja de la operación, ya que implica la necesidad de un esfuerzo logístico de varios sectores. Según el informe de diciembre de 2019 del Subcomité Federal para la Internación de Inmigrantes, desde abril de 2018, 27 222 inmigrantes venezolanos han sido internados en varias ciudades brasileñas. Las ciudades que más venezolanos recibieron fueron Manaus, São Paulo, Dourados, Curitiba y Porto Alegre.

Según datos actualizados en el sitio web de la Operación Acolhida, en 2020 fueron internados 35 567 venezolanos. Se utilizaron aviones C-767, C-99, C-130 y VC-2. El Boeing 767 tiene muchas diferencias operativas con los otros dos cargueros importantes de la FAB que se consideran tácticos: el C-130 y el C-99. El uso de forma integrada con las aeronaves C-99 y C-130 permitió realizar las misiones delimitadas en el proceso de interiorización. Además, el C-767 podría transportar alrededor de 43 toneladas de suministros, 240 personas y hasta 81 camillas de evacuación aeromédica (FAB, 2015).

La operación se dividió en cuatro modalidades: 1) institucional, en la que el refugiado sale de un albergue en Roraima para ir a otro albergue en otro estado; 2) reunión familiar, en la que se realiza un encuentro entre un inmigrante y sus familiares que ya se instalaron en Brasil; 3) interiorización civil, en la que las entidades colaboradoras se encargan de todo el proceso de interiorización y las Fuerzas Armadas dan apoyo logístico; y 4) la posibilidad de una oferta de empleo finalizada (FAB, 2018).

La Operación Acolhida busca reducir los impactos de la migración venezolana en el estado de Roraima, a través de un trabajo conjunto de varios ministerios, las Fuerzas Armadas, e instituciones federales, estatales y municipales, y además cuenta con el apoyo de agencias de la ONU como Acnur, la Agencia de las Naciones Unidas para las Migraciones (OIM) y el Fondo de Población de las Naciones Unidas (UNFPA), además de oenegés de ayuda humanitaria. Según cifras de la Policía Federal, unos 110 000 venezolanos cruzaron la frontera entre los países entre 2017 y 2018 y más de 50 000 viven en la capital.

Una de las vías de esta operación es el proceso de interiorización de los venezolanos en todo el territorio nacional. Bajo la coordinación de la Casa Civil, de la OIM, los inmigrantes voluntarios realizan una sesión de orientación sobre el proceso de interiorización y las ciudades de destino, se someten a un examen de salud y se vacunan, albergados en la ciudad de destino y acompañados en los albergues.

## Centro de Gestión Operacional del Sistema de Protección de la Amazonía (Censipam)

La estructura de equipamiento del sistema está compuesta por satélites, aeronaves de vigilancia y censo, estaciones y radares meteorológicos, plataformas de recolección de datos, radares de vigilancia fijos y transportables, y sensores de comunicaciones, entre otros (Censipam, 2018).

La estructura organizacional se divide en: gerencia con cuatro coordinaciones de administración; infraestructura tecnológica, responsable de las telecomunicaciones y la tecnología de la información; operaciones integradas, responsables de los temas ambientales, meteorológicos y territoriales; e información, que tiene a su cargo la atención al usuario y el mantenimiento de la recolección de datos, procesamiento de imágenes, atención de demandas externas, portal de internet, estandarización y evaluación de productos, y calidad de datos.

La función básica del Sipam es brindar las condiciones para la adquisición, producción y difusión de información y datos, generando conocimiento en forma oportuna, y permitiendo la articulación de las dependencias gubernamentales o instituciones involucradas en los programas de desarrollo, control y fiscalización en la Amazonía Legal Brasileña. Se destacan las siguientes funciones:

- a) Ofrecer a la población brasileña información actualizada sobre la región amazónica;
- b) Apoyar y contribuir a las agencias, estados y municipios aliados de la Amazonía Legal Brasileña en el control de la deforestación, el combate a la biopiratería,

la protección de los parques nacionales, el monitoreo del uso y ocupación de la tierra, la protección de las reservas indígenas, la defensa de las áreas fronterizas, la protección de los recursos minerales estratégicos, y la implementación de programas de salud, educación e inclusión para las poblaciones amazónicas;

- c) Observar y publicar las condiciones climáticas;
- d) Asistir a la labor de la Defensa Civil;
- e) Facilitar las comunicaciones en áreas remotas;
- f) Apoyar las actividades de investigación en la región;
- g) Promover intercambios entre instituciones gubernamentales y no gubernamentales que actúan en la Amazonía Legal Brasileña, a través de la recolección e intercambio de informaciones, conocimientos e infraestructura, contribuyendo para el cumplimiento de las políticas públicas en la región;
- h) Apoyar la integración de los países de la cuenca amazónica, posibilitando la formación de un cinturón de defensa ambiental en América del Sur.
- i) Vigilar y apoyar el cumplimiento de los lineamientos previstos en los Programas de Ordenamiento Ecológico-Económico (ZEE);
- j) Monitorear los recursos hídricos;
- k) Monitoreo de la producción vegetal y agrícola;
- l) Vigilancia y control de movimientos aéreos y de superficie;
- m) Apoyo a la navegación aérea y fluvial;
- n) Apoyo al ejercicio de la represión de ilícitos, contra la explotación irregular de los recursos naturales, contrabando, narcotráfico y otros;
- o) Apoyo a programas de integración regional y desarrollo sostenible. (Quagliotti, s. f., p. 9)

## Resultados

Entre los resultados observados, se observa que existe un claro vínculo entre las acciones de utilización del

poderío aeroespacial brasileño en relación con la actividad de “Sociedad de Apoyo”, en cuanto al abordaje contemporáneo presente en las cuestiones pertinentes sobre la vulnerabilidad de los refugiados. Además de la relevancia interinstitucional actual, que permite la comprensión del Sipam.

## Discusión

La discusión presente en el trabajo permite la comprensión de aspectos doctrinales, efectivamente delimitados en una PND y su consecuente END. Se observa que los medios aéreos referidos en la investigación realizada permiten la comprensión de la acción conjunta en cuanto a la protección social y ambiental. Destacamos como relevante el trabajo de Ulrich Beck sobre la presencia de riesgos y el papel de los recursos aéreos en la comprensión de la estructura que suscita la reducción de la vulnerabilidad. Sobre el tema, existe la posibilidad de encontrar los elementos de la pregunta orientadora al observar que la actuación de la potencia aeroespacial brasileña permite el tratamiento de las cuestiones humanitarias delimitadas en el corte propuesto, en particular en la recepción de refugiados y también en la protección de los problemas ambientales, ampliamente discutidos en las discusiones académicas contemporáneas.

Es posible comprender que la propuesta del problema de investigación se cumplió considerando la metodología de revisión bibliográfica. Destacamos la actualidad del tema propuesto y la importancia de la comunicabilidad de la investigación para el perfeccionamiento de una agenda de investigación que combine intereses hemisféricos acerca del tema.

## Conclusión

El trabajo discutió la notabilidad del uso del poder aeroespacial vinculado a cuestiones humanitarias en la Amazonía brasileña. Abordó la importancia de la

Política de Defensa Nacional y de la Estrategia de Defensa Nacional, identificando la relevancia de la cooperación amazónica y la inserción de Brasil en el cumplimiento de los acuerdos internacionales en América del Sur.

La presentación de los principales conceptos que abordan la vulnerabilidad a partir de Beck y también de aquellos consagrados en el Derecho Internacional Humanitario permite comprender el papel de la vulnerabilidad en una perspectiva contemporánea, además de asociar la relevancia del principio de protección a las víctimas presentes en los conflictos armados, y en una perspectiva del siglo XXI que incorpora otras generaciones de derechos humanos.

Se enumeraron los principales documentos normativos para la actuación interinstitucional en Brasil y la evolución del apoyo aéreo en esa operación. Se habló acerca de las aplicaciones del poder aéreo, haciendo un recorte sobre la aplicación de los recursos aéreos considerando la Operación Acolhida entre 2018 y 2020 y la estructura desarrollada por Censipam.

La investigación concluye con la inserción de la potencia aeroespacial brasileña en una perspectiva actual cuando se trata de cuestiones humanitarias, considerando estudios en el área de relaciones internacionales y estudios estratégicos, además de presentar la importancia de los vectores aéreos dentro de este proceso.

## Referencias

- Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los Refugiados (Acnur). (2021). *Dados sobre refugio no Brasil*. <https://www.acnur.org/portugues/dados-sobre-refugio/>
- Armed Conflict Location and Event Data (ACLED). (2022). *Can Boko Haram Effectively Function Despite Current Limitations?* <https://acleddata.com/2018/08/31/can-boko-haram-effectively-function-despite-current-limitations/>
- Campos, D. A. y Távora, F. (2014). *Direito internacional – Público, jurídico e comercial*. Saraiva.
- Centro Gestor e Operacional do Sistema de Proteção da Amazônia (Censipam). (2018). *Atuação Censipam*. <https://www.gov.br/censipam/pt-br/atuacao>
- Cinelli, C. F. (2011). *Direito internacional humanitário: Ética e legitimidade na aplicação da força em conflitos armados*. Juruá.
- Dawson, L. (2017). *The Politics and Perils of Space Exploration: Who Will Compete, Who Will Dominate?* Springer.
- Fedozzi, M. C. G. (2003). *Situação da Amazônia e a realidade do sistema de proteção desenvolvido pelo Brasil na ampliação da segurança hemisférica* (tesis de grado, Inter-American Defense College).
- Força Aérea Brasileira (FAB). (2015). *FAB forma pilotos na aeronave Boeing 767*. Noticias. <https://www.fab.mil.br/noticias/mostra/21661/reequipamento%20-%20fab%20forma%20pilotos%20na%20aeronave%20boeing%20767>
- Força Aérea Brasileira (FAB). (2018). *FAB realiza quarta etapa da interiorização dos imigrantes venezuelanos*. <https://www.fab.mil.br/noticias/mostra/32392/operacao%20-%20fab%20realiza%20quarta%20etapa%20da%20interiorizacao%20-%20dos%20imigrantes%20venezuelanos>
- Força Aérea Brasileira (FAB). (2020). *Doutrina Básica da Força Aérea Brasileira (DCA 1-1)*. Ministério da Defesa. [https://www2.fab.mil.br/unifa/ppgca/images/conteudo/dqbrn/dca\\_1-1\\_doutrina\\_basica\\_da\\_fora\\_area\\_brasileira\\_-\\_volume\\_2\\_2020.pdf](https://www2.fab.mil.br/unifa/ppgca/images/conteudo/dqbrn/dca_1-1_doutrina_basica_da_fora_area_brasileira_-_volume_2_2020.pdf)
- Guivant, J. (2000). A teoria da sociedade de risco de Ulrich Beck: entre diagnóstico e a profecia. *Revista Estudos Sociedade e Agricultura*, 9(1), 95-112. <https://revistaesa.com/ojs/index.php/esa/article/view/188>
- Herz, M. y Yamato, R. V. (2018). As transformações das regras internacionais sobre violência na ordem mundial contemporânea. *Dados*, 61(1), 3-45. <https://doi.org/10.1590/001152582018145>
- International Committee of the Red Cross (ICRC). (1864). *Convention for the Amelioration of the Condition of the Wounded in Armies in the Field*. <https://ihl-databases.icrc.org/en/ihl-treaties>
- International Committee of the Red Cross (ICRC). (2008). *Como o Direito Internacional Humanitário define “conflitos armados”?* <https://www.icrc.org/por/resources/documents/article/other/armed-conflict-article-170308.htm>
- Kaztman, R. (2001). Seducidos y abandonados: el aislamiento social de los pobres urbanos. *Revista de la Cepal*, (75). <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/10782>
- Melzer, N. (2019). *International Humanitarian Law: A Comprehensive Introduction*. ICRC.

- Ministério da Defesa. (2011). *Manual de Emprego do Direito Internacional dos Conflitos Armados (DICA) nas Forças Armadas (MD 34-M-03)*. [http://www.defesa.gov.br/arquivos/File/legislacao/emcfa/publicacoes/md34\\_m\\_03\\_dica\\_1aed2011.pdf](http://www.defesa.gov.br/arquivos/File/legislacao/emcfa/publicacoes/md34_m_03_dica_1aed2011.pdf)
- Ministério da Defesa. (2012). *Estratégia Nacional de Defesa / Política Nacional de Defesa*. <http://www.defesa.gov.br/component/content/article/145-forcas-armadas/estado-maior-conjunto-das-forcas-armadas/doutrina-militar/13188-publicacoes>
- Quagliotti, B (s. f.). *Cuaderno N.º 22. Desafíos geopolíticos de la región: Amazonia*. Fundación Vivian Trias. <http://fundacionviviantrias.org/sites/default/files/Cuaderno-22.pdf>
- República Federativa do Brasil. (1988). *Constituição da República Federativa do Brasil*. [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/constituicaocompilado.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicaocompilado.htm)
- Góes, G. S. y Mello, C. de M. (2020). A governança global em tempo de estatalidade pós-coronavirus. *Revista Interdisciplinar de Direito*, 18(2). <https://doi.org/10.24859/RID.2020v18n2.927v>
- Santos Campos, P. R. (2020). *El empleo del Ejército Brasileño en operaciones de Garantía de la Ley y Orden desde los años de 1992 hasta 2019: un análisis* (tesis de maestría, Centro de Altos Estudios Nacionales). Repositorio institucional Caen. [https://renati.sunedu.gob.pe/bitstream/sunedu/1593745/1/TESIS\\_%20CrI%20EB%20Santos.pdf](https://renati.sunedu.gob.pe/bitstream/sunedu/1593745/1/TESIS_%20CrI%20EB%20Santos.pdf)

# Estudio de factibilidad para la creación de una aerolínea de bajo costo regional

| Fecha de recibido: 14 de septiembre 2022 | Fecha de aprobado: 18 de mayo 2023 |

| Reception date: September 14, 2022 | Approval date: May 18, 2023 |

| Data de recebimento: 14 de setembro de 2022 | Data de aprovação: 18 de maio de 2023 |

## Alex Yesid Gil Vega

<https://orcid.org/0009-0006-8593-2078>

[alexyesidg@hotmail.com](mailto:alexyesidg@hotmail.com)

Magíster en Gerencia de Proyectos

Docente e investigador – Universidad Ean, Colombia

Rol del investigador: teórico y escritura

Grupo de Investigación: Entrepreneurship Group

Master in Project Management

Teacher and researcher – Ean University, Colombia

Researcher's role: theoretical and writing

Research Group: Entrepreneurship Group

Mestre em Gerenciamento de Projetos

Professor e pesquisador – Universidade Ean, Colômbia

Papel do pesquisador: teórico e escritor

Grupo de pesquisa: Entrepreneurship Group

**Cómo citar este artículo:** Gil Vega, A. Y. (2023). Estudio de factibilidad para la creación de una aerolínea de bajo costo regional. *Ciencia y Poder Aéreo*, 18(2), 118-146. <https://doi.org/10.18667/cienciaypoderaereo.761>



## Estudio de factibilidad para la creación de una aerolínea de bajo costo regional

## Feasibility study for the creation of a regional low cost airline

## Estudo de viabilidade para a criação de uma companhia aérea regional de baixo custo

**Resumen:** El presente artículo evalúa la factibilidad de crear una aerolínea de bajo costo regional en la ciudad de Cali, Colombia, a través de un estudio descriptivo. Para ello, se recopilaron antecedentes, un marco teórico y conceptual de varios autores y se construyó una entrevista que fue aplicada a 397 personas, donde a partir de los resultados obtenidos se analizó el comportamiento de las variables y de esta manera caracterizar en forma concreta la muestra. Como conclusión, se evidenció en el estudio de factibilidad que la oportunidad de negocio es atractiva desde la perspectiva numérica, y cuenta con una alta viabilidad desde los componentes del mercado, ya que las rutas por ofertar no cuentan con conexiones directas entre ellas, permitiendo un flujo de pasajeros constantes. Además, la aerolínea sería la única en operar dichos destinos sin conexiones, lo que aumenta teóricamente la rentabilidad del negocio, dado que las rutas a servir por la aerolínea están proyectadas debido a factores como la infraestructura aeroportuaria de calidad y la subutilización de esta, así como a la falta de competencia directa y la rentabilidad demostrada en el pasado por otras aerolíneas.

**Palabras clave:** factibilidad; aerolínea; creación de empresa; bajo costo.

**Abstract:** This article evaluates the feasibility of creating a low-cost regional airline in the city of Cali, Colombia, through a descriptive study. For this, a background, a theoretical and conceptual framework from various authors were compiled, and an interview was constructed that was applied to 397 people, where from the results obtained the behavior of the variables was analyzed and the sample was concretely characterized. As a conclusion, the feasibility study showed that the business opportunity is attractive from a numerical perspective and has high viability from the market components, since the routes to be offered do not have direct connections between them, allowing a constant flow of passengers. In addition, the airline would be the only one to operate such destinations without connections, which theoretically increases the profitability of the business, given that the routes to be served by the airline are projected due to factors such as quality airport infrastructure and its underutilization, as well as the lack of direct competition and the profitability demonstrated in the past by other airlines.

**Keywords:** feasibility; airline; company creation; low cost.

**Resumo:** Este artigo avalia a viabilidade de criar uma companhia aérea regional de baixo custo na cidade de Cali, Colômbia, por meio de um estudo descritivo. Para isso, foram compilados antecedentes, um quadro teórico e conceitual de vários autores, e foi construída uma entrevista que foi aplicada a 397 pessoas, onde a partir dos resultados obtidos o comportamento das variáveis foi analisado e a amostra foi caracterizada de forma concreta. Como conclusão, o estudo de viabilidade mostrou que a oportunidade de negócio é atraente do ponto de vista numérico e tem alta viabilidade a partir dos componentes do mercado, uma vez que as rotas a serem oferecidas não têm conexões diretas entre si, permitindo um fluxo constante de passageiros. Além disso, a companhia aérea seria a única a operar tais destinos sem conexões, o que teoricamente aumenta a rentabilidade do negócio, dado que as rotas a serem atendidas pela companhia aérea são projetadas devido a fatores como infraestrutura aeroportuária de qualidade e sua subutilização, bem como a falta de concorrência direta e a rentabilidade demonstrada no passado por outras companhias aéreas.

**Palavras-chave:** viabilidade; companhia aérea; criação de empresa; baixo custo.

## Introducción

La introducción en el mercado colombiano de una aerolínea de bajo costo permitiría mejorar los escenarios de conectividad de las regiones apartadas y ciudades intermedias del país, siendo este el punto de partida para analizar la viabilidad en la creación de una aerolínea de bajo costo que opere entre las ciudades de Cali, Neiva, Ibagué, Villavicencio, Cúcuta y Medellín, beneficiando estas comunidades y mejorando sus opciones de conectividad.

Por tal motivo, se planteó la necesidad de evaluar el proyecto para la creación de una aerolínea de bajo costo regional en la ciudad de Cali, donde se analizaron los aspectos financieros, de los clientes, el mercado, los procesos internos y el *balanced scorecard*, para determinar la factibilidad y viabilidad financiera en la creación de la aerolínea de bajo costo regional en la ciudad de Cali.

La investigación que se llevó a cabo es de tipo descriptiva, busca especificar las propiedades, características y perfiles de las personas, grupos, comunidades o fenómenos sometidos a análisis, conceptualizando los elementos propios para la creación de empresas y las capacidades necesarias para la creación de una aerolínea de bajo costo en Colombia.

Se analizaron variables como los aspectos financieros, estudio de clientes y mercado, y procesos internos, buscando presentar un emprendimiento viable con una estructura administrativa atractiva para los potenciales inversionistas interesados en el proyecto. El tiempo el cual tomó dicho estudio fue de aproximadamente 20 meses, comenzando en junio de 2019 y terminando su trabajo en marzo de 2021.

## Marco teórico

### Factibilidad

La factibilidad y sostenibilidad se refieren a la aptitud del proyecto para llevarse a cabo de manera eficaz y generar el impacto esperado. La factibilidad amalgama

un conjunto de elementos internos y externos asociados a las metas del proyecto y al entorno en que se desplegará. Estos elementos pueden ser concretos, como fondos, infraestructura, maquinaria, vehículos, y el tamaño del equipo humano, o pueden ser intangibles como la tecnología, conocimientos, habilidades, competencias y actitudes. Existen numerosos factores que pueden impactar la sostenibilidad de un proyecto o entidad, y es crucial mantener un equilibrio entre ellos (Luna y Chaves, 2001).

### Aerolínea

Ghiretti *et al.* (2020), señalan que se denomina aerolínea o línea aérea a una organización dedicada al traslado de carga y/o pasajeros en aeronaves, frecuentemente estas compañías disponen de una flota de aviones de distintas características, de esta manera es importante asumir que existen distintas clases de aerolíneas, mientras que algunas operan regularmente en determinadas rutas, hay otras que trabajan a partir de pedidos y acuerdos puntuales con sus clientes, realizando lo que se conoce como vuelos *charters*, así mismo, cuentan con una operación tanto en tierra como en aire, ya que la seguridad de los pasajeros es responsabilidad de la aerolínea.

### Creación de empresa

Para Mero-Vélez (2018), la empresa es una organización, de duración más o menos larga, cuyo objetivo es la consecución de un beneficio a través de la satisfacción de una necesidad de mercado, que se concreta en el ofrecimiento de productos (empresa agrícola o sector primario, industrial o sector secundario, servicios o sector terciario), con la contraprestación de un precio, es decir, esta organización se compromete a prestar bien sea un bien o un servicio que le sirva a la comunidad en general o a una población determinada.

### Bajo costo

De acuerdo con los postulados de Mora y Morales (2021), el bajo costo es lo mismo que *low cost*, lo cual es

un modelo de negocio que se basa principalmente en la reducción de costes, lo que propicia una bajada en el precio de venta. El bajo costo ofrece un producto básico, funcional, sin extras, pero de la misma calidad que el producto tradicional equivalente, para crear una empresa se necesita tener precios bajos para que pueda ayudarle al cliente a tomar el servicio ofrecido ante las competencias de empresas que ofrecen el mismo servicio.

### Balanced scorecard

Para Thomas L. Wheelen (2013), el *balanced scorecard* busca monitorear el trabajo de la empresa como un todo por medio de no más de catorce indicadores clave que resumen si la organización ha tomado el camino correcto o no, es por ello que muchas empresas toman decisiones sobre los diferentes objetivos y metas que desean conseguir, sin contar con un adecuado seguimiento, es decir, realizar una buena ejecución de todos los objetivos y de las decisiones que se deben tomar, con unos indicadores de gestión se nos muestra si nos encontramos en el camino correcto para que una empresa se pueda crear. Además de la rentabilidad deseada, se deben tomar en cuenta los indicadores clave que son de mucha importancia para poder tener un buen *balanced scorecard*.

### Transporte aéreo

De acuerdo con Olariaga (2021), el transporte aéreo se considera como un sistema de transporte que permite el traslado de personas y mercancías en aeronaves, que viaja por el aire, en aeronaves y que se encuentra presente en aeropuertos, también existe una organización internacional que aglomera a la industria del transporte, llamada Asociación Internacional de Transporte Aéreo (IATA), esta asociación promueve la cooperación entre aerolíneas y estandariza los protocolos de seguridad, fiabilidad y economía, de esta manera, el transporte aéreo posee una reglamentación que busca que sea más seguro, además de ofrecer la comodidad de viajar con calidad en el servicio, para que más personas puedan viajar a diario.

### Modelo de negocio

Según Clark y Osterwalder (2009), el modelo de negocio es una herramienta previa al plan de negocio, cuyo objetivo es permitir conocer con claridad el tipo de negocio que se va a crear e introducir en el mercado, a quién va dirigido, cómo se va a vender y cómo se van a obtener los ingresos, es decir, el modelo de negocio es un instrumento de importancia empresarial, puesto que permite planificar qué es lo que va a pasar con el negocio que se pretende llevar a cabo, además se utiliza para describir y clasificar negocios emprendedores y también en el contexto de empresa la cual debe cumplir los objetivos que emprende para poder ser exitosa.

### Viabilidad financiera

Para Huerta (2015), la viabilidad financiera es determinar la rentabilidad del proyecto gracias al análisis de una inversión inicial, unos beneficios y unos costos de la ejecución, en este sentido, al evaluar el proyecto, estaremos poniendo en duda su viabilidad, esta rentabilidad debe ser de un margen mayor a la inversión, ya que no se presentará la viabilidad que requiera la empresa con cálculos de inversión, ingresos, mercado al cual va dirigido, estudio administrativo y otras series de rubros que cubrirán la viabilidad financiera que se debe obtener para poder adecuar el proyecto a las necesidades.

### Análisis PESTEL

Es una herramienta estratégica que permite determinar el entorno macroeconómico en el cual se desenvuelve la organización, visualizando las oportunidades y amenazas que ofrece dicho entorno (Trenza, 2020). Veamos los factores que se estudian en el análisis PESTEL:

- **Políticos:** evalúa de qué forma la intervención del gobierno puede afectar la empresa. En esta se analizan temas como los cambios de gobierno y sus programas electorales, la política fiscal, los subsidios del gobierno, las guerras y conflictos, los cambios en legislación, los cambios en los

tratados comerciales, los acuerdos internacionales, los conflictos internos y externos, los movimientos políticos.

- **Económicos:** analiza cómo el entorno macroeconómico nacional e internacional puede afectar la organización. Se verifican temas como las tasas de empleo, el ciclo económico, el Producto Interno Bruto (PIB), los impuestos, la tasa de inflación, las decisiones económicas de otros gobiernos, la devaluación y revaluación de la moneda, las tendencias en canales de distribución, el déficit gubernamental, el índice de confianza del consumidor, la financiación, el proteccionismo de los mercados entre otros.
- **Socioculturales:** evalúa los aspectos propios de las características culturales, sociales, religiosas y demás preferencias inherentes a la idiosincrasia de la población. Se analizan temas como el nivel de educación, los patrones de compra, las creencias, la opinión de los clientes, las opiniones o percepción de los medios de información, el estilo de vida, el nivel de ingresos, las tendencias por género entre otras.
- **Tecnológicos:** permite analizar las nuevas tecnologías y cambios científicos que están inmersos en la industria. Son de su análisis aspectos como el *machine learning*, los nuevos códigos de programación, la nueva maquinaria o dispositivos tecnológicos, la impresión 3D, el reemplazo de tecnología, el software en la nube, la obsolescencia, el internet, los incentivos por uso de tecnologías, entre otros.
- **Ecológicos o ambientales:** evalúa de qué forma el medio ambiente afectó a la organización. Se analizan temas como el cambio climático, el consumo de recursos no renovables, el reciclaje, la contaminación, las políticas medioambientales, los riesgos naturales, entre otras.
- **Factores legales o jurídicos:** se analizan el cumplimiento de las leyes y su cambio constante. Se evalúan temas como la propiedad intelectual, la salud y seguridad laboral, la regulación de sectores, las leyes de protección, la legislación laboral, las licencias, entre otros (Betancourt 2018).

## Análisis de las 5 fuerzas de Porter

Este análisis permite determinar un desagregado de 5 elementos o fuerzas, que permite determinar el nivel de competencia que existe en una industria determinada, lo cual no solo sucede por la competencia entre sí de cada organización, sino de una serie de fuerzas que deben evaluarse (Pensemos, 2020).

Estas 5 fuerzas son: Fuerza 1: entrada potencial de nuevos competidores; Fuerza 2: entrada potencial de productos sustitutos; Fuerza 3: poder de negociación de los proveedores; Fuerza 4: poder de negociación de los clientes; Fuerza 5: rivalidad entre empresas competidoras (NTC - ISO 9001:2015, 2020).

### Fuerza 1. Entrada potencial de nuevos competidores

Los nuevos competidores son una amenaza constante y pueden intensificarse o ser más propensa esta amenaza en ciertos tipos de mercados, lo cual podría generar variaciones significativas en la oferta o demanda de productos o servicios. Se debe siempre tener claro qué tipo de organizaciones podrían ingresar al mercado, cuáles son sus estrategias o maneras de comercializar, entre otras (The Power MBA, 2020).

### Fuerza 2. Entrada potencial de productos sustitutos

Estos productos son bienes o servicios que pueden cumplir con las mismas funciones que el producto o servicio del sector industrial al que pertenece la organización. Estos pueden generar fluctuaciones del precio final del producto o servicio, así como modificar los patrones de compra o su intensidad en el recambio o recompra.

### Fuerza 3. Poder de negociación de los proveedores

En la medida en que la materia prima o los servicios necesarios complementarios que integran al principal sean escasos, muy raros o sean pocos los que lo

comercialicen, se genera una alta dependencia de los proveedores, creando fluctuaciones en el precio final de venta o una desmejora en la calidad del producto o servicio. Es necesario tener claro cuántos y quiénes son los proveedores, las materias primas que puedan ser sustitutas y conocer los costos del cambio en caso de darse la necesidad de alguna materia prima.

#### Fuerza 4. Poder de negociación de los clientes

Cuando los clientes se concentran y compran en grandes volúmenes, ejercen un gran poder que intensifica la competencia en la industria. Esto hace que las compañías busquen maneras de cautivarlos a través de los precios, por ejemplo. También se crea una gran presión en la industria si el producto o el servicio es muy estandarizado y no cuenta con atributos especiales que no diferencien con sus competidores.

#### Fuerza 5. Rivalidad entre empresas competidoras

Generalmente es la más poderosa de las 5 fuerzas. Solo las estrategias de cada empresa tienen un alto impacto en esta, en la medida que permitan contar con ventajas competitivas claras. Factores como el número elevado de organizaciones competidoras o similares en tamaño y/o capacidad, el crecimiento lento del sector y/o reducción de la demanda de los productos, los costos fijos altos y/o exceso de inventario, los grandes incrementos de capacidad de los competidores o la caída de los precios de productos/servicios en el sector, hacen que se intensifique la rivalidad entre empresas, lo cual puede derivar en una reducción de las utilidades y por ende una pérdida de atractivo para el sector industrial (NTC - ISO 9001:2015, 2020).

### Análisis DOFA

Permite que la organización realice un análisis prospectivo de sus factores internos (fortalezas y debilidades)

y externos (oportunidades y amenazas). Las fortalezas y debilidades conforman un entorno interno que puede ser controlado, mientras que los otros factores están en un ambiente externo que no puede ser manipulado (Houben *et al.*, 1999). Con dichos factores, la alta dirección puede generar cuatro tipos de estrategias: FO, permiten usar las fortalezas para aprovechar las oportunidades; DO, permiten aprovechar las oportunidades para superar las debilidades, FA, permiten usar las fortalezas para mitigar las amenazas; DA, donde se busca minimizar las debilidades y eliminar las amenazas (Thomas, 2013).

En síntesis, las debilidades, oportunidades, fortalezas y amenazas son los puntos fuertes internos que dan ventaja y competitividad a la organización, las oportunidades son características o elementos externos que se pueden aprovechar, las debilidades son aspectos internos que nos juegan en contra y las amenazas son los riesgos externos por afrontar. El cruce de dichas variables permite el desarrollo y creación de estrategias que en cada aspecto permita generar un apalancamiento al crecimiento y desarrollo organizacional, sin dejar de lado la plataforma como estrategia de la organización.

### Marco legal

En el país, la Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil (UAEAC) emite las regulaciones aeronáuticas pertinentes para controlar aspectos de orden técnico-operativos para garantizar la seguridad de la aviación. Todas las normas se condensan en los reglamentos aeronáuticos de Colombia, que se dividen en partes según la temática a regular o controlar. En lo concerniente a la vigilancia del cumplimiento de las obligaciones derivadas del contrato que se genera entre la aerolínea y el pasajero, la Superintendencia de Industria y Comercio realiza las investigaciones correspondientes a las quejas de los usuarios que reporten algún tipo de inconformidad o situación adversa presentada con la aerolínea.

## Ley 100 del 23 de diciembre de 1993

Conjunto de instituciones, normas y procedimientos de que dispone la persona y la comunidad para gozar de una calidad de vida, mediante el cumplimiento progresivo de los planes y programas que el Estado y la sociedad desarrollen para proporcionar la cobertura integral de las contingencias, especialmente las que menoscaban la salud y la capacidad económica, de los habitantes del territorio nacional, con el fin de lograr el bienestar individual y la integración de la comunidad (Chavarro Cadena, 2018a).

## Ley 1258 de 2008

Disposiciones que permiten la creación de las sociedades por acciones simplificadas (SAS) (Secretaría del Senado, 2008).

## Decreto 410 de 1971: Por el cual se expide el Código de Comercio

Conjunto de normas, criterios y principios del derecho mercantil que tratan de regular las relaciones mercantiles. Ésta se utiliza para regular las actividades en las relaciones mercantiles y el seguimiento de las operaciones (Secretaría del Senado, 1971).

## Código Sustantivo del Trabajo

Conjunto de procedimientos legales que reglamentan las relaciones individuales que surgen entre el trabajador y el empleador, buscando un equilibrio entre las dos partes (Chavarro Cadena, 2018b).

## RAC

Colombia cuenta con los Reglamentos Aeronáuticos de Colombia (RAC), los cuales son emitidos por la Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil (UAEAC), que a su vez se dividen en diferentes RAC según las temáticas por tratar. A continuación, en la tabla 1, se muestran los principales RAC a considerarse para

la creación de la aerolínea (Unidad Administrativa Especial de la Aeronáutica Civil - UAEAC, 2020):

Tabla 1.  
RAC a considerar para la creación de aerolíneas

RAC	Denominación	Breve resumen
3	Actividades aéreas civiles	Determina qué son las actividades aéreas desarrolladas por civiles, la relación comercial entre usuarios y empresas, y sus derechos y deberes.
4	Normas de aeronavegabilidad y operación de aeronaves	Disposiciones obligatorias para la segura y correcta operación de aeronaves en el espacio aéreo colombiano.
20	Matrícula, registro e identificación de aeronaves	Disposiciones y procedimientos necesarios para el registro y matrícula de aeronaves en el territorio colombiano.
91	Reglas generales de vuelo y de operación	Disposiciones obligatorias para la operación de aeronaves en el espacio aéreo colombiano.
119	Certificación de explotadores de servicios aéreos	Disposiciones obligatorias para la expedición de la licencia de operación y funcionamiento de empresas de transporte aéreo.
121	Requisitos de operación: operaciones domésticas e internacionales regulares y no regulares	Disposiciones obligatorias para el transporte de pasajeros a nivel doméstico e internacional, en operaciones regulares y no regulares.
216	Normas ambientales para la aviación civil	Disposiciones y normas medioambientales para la operación de aerolíneas en el espacio aéreo colombiano.

Fuente: elaboración propia (2021).

En la tabla 1 se presentan las actividades aéreas civiles, las cuales son desarrolladas para la relación comercial entre las empresas, usuarios con sus derechos y deberes, además de las normas de aeronavegabilidad y operación de aeronaves, con las operaciones correctas de las aeronaves, por otra parte, la matrícula, el registro e identificación de aeronaves, así mismo, las reglas generales de vuelo y de operación, la certificación de explotadores de servicios aéreos y los requisitos de operaciones domésticas e internacionales regulares y no regulares.

## Metodología

Esta investigación se basó en el análisis descriptivo, revisando información obtenida directamente de la realidad propia del objeto de estudio, bajo una revisión metódica de fuentes primarias y secundarias, contribuyendo a facilitar una perspectiva de la situación actual, permitiendo determinar con mayor claridad las necesidades de la empresa y los distintos elementos necesarios para su factibilidad, proponiendo igualmente elementos propios de la creación de una organización, en este caso, una aerolínea de bajo costo.

Para la validación de la propuesta con los potenciales usuarios, se realizaron 397 encuestas, diseñadas para conocer las preferencias y percepción sobre contar con una aerolínea de bajo costo que opere en las ciudades de Cali, Neiva, Ibagué, Villavicencio, Cúcuta y Medellín. Estas ciudades cuentan con un total de población de 6.784.788 de personas, donde el 51,2 % son mujeres y el 48,8 % son hombres, discriminada por ciudad en la tabla 2:

Tabla 2.  
Población por ciudad a operar

Ciudad	Población
Cali	2.227.642
Neiva	357.392
Ibagué	529.635
Villavicencio	531.275
Cúcuta	711.715
Medellín	2.427.129
<b>TOTAL</b>	<b>6.784.788</b>

Fuente: Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE (2020)

Por tal motivo debido a la proporción de hombres y mujeres, se realizó la muestra por cuota de género con relación a 50 % mujeres y 50 % hombres, en la población mayor a 18 años de estas 6 ciudades. El muestreo probabilístico utilizado para determinar la cantidad de encuestas para desarrollarse, fue el de poblaciones infinitas o grandes, cuya fórmula es:

$$n = \frac{Z^2 \frac{p q}{\alpha}}{e^2}$$

Donde:

$Z_{\alpha}$  = valor estadístico de la curva normal.

$\alpha$  = grado de confianza (95 %).

$p$  = probabilidad de que ocurra el evento (50 %).

$Q = 1-p$ .

$e$  = error de la muestra (5 %).

Cambiando los valores el resultado es:

$$n = \frac{1.96^2 (0.5)(0.5)}{0.05^2} = 384$$

## Resultados

### Encuestas

Los análisis de resultados determinaron lo siguiente. En la figura 1 se determinan que los rangos de edad más representativos están entre los 41 y 50 años, con un 33,8 %, y 31 a 40 años con un 31,5 %, abarcando entre ambos el 65,3 % del total de la muestra. Este rango de edad se infiere como las personas en actividad laboral permanente e ingresos constantes.

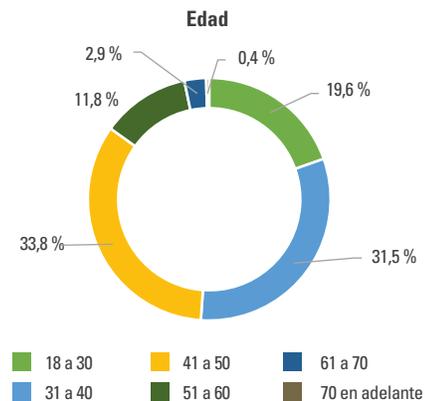


Figura 1. Rangos de edad entre los encuestados

Fuente: elaboración propia (2021).

En la figura 2 se determinó el género de las personas encuestadas, donde se mantuvo en una proporcionalidad equivalente para respetar la cuota de género necesaria para el estudio. Igualmente, se incluyó el estado indeterminado para respetar la identidad de género de la comunidad LGTBI. El género femenino se representa en la muestra con un 49,6 %, el género masculino con un 48,9 % y el género indeterminado con un 1,5 %.

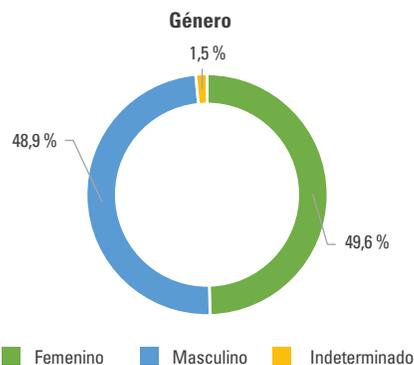


Figura 2. Género de la muestra  
Fuente: elaboración propia (2021).

Para la figura 3 se determinó el lugar de residencia, limitado a las ciudades donde inicialmente se provee prestar el servicio, encontrando que un 23,9 % de las personas encuestadas viven o residen en la ciudad de Medellín, un 27,5 % en la ciudad de Ibagué, un 13,4 % en la ciudad de Cali, un 12,8 % en la ciudad de Cúcuta, un 12,1 % en la ciudad de Villavicencio y un 10,3 % en la ciudad de Neiva, creando una representatividad de la muestra ajustada al 100 % del total de la población de estas ciudades.

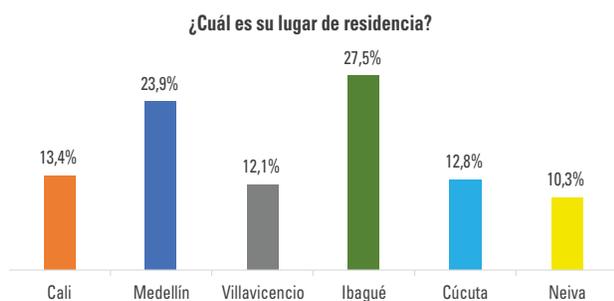


Figura 3. Lugar de residencia de los encuestados  
Fuente: elaboración propia (2021).

De acuerdo con la figura 4, los encuestados manifestaron los lugares a los que más han viajado en sus desplazamientos en el último año, siendo la ciudad de Bogotá con un 29,2 %, Cali con un 27 %, Medellín con un 24,4 %, Ibagué con un 20,7 %, Neiva con un 13,6 %, Villavicencio con un 13,4 %, Cúcuta con un 10,6 %, Cartagena con un 9,6 % y Barranquilla con un 7,3 %, siendo estas las ciudades más visitadas.

Esto bajo la estructura de rutas planteadas, permite inferir que, a excepción de Bogotá, la cual es una ruta que no se considera aún servir por temas de saturación del espacio del Aeropuerto Internacional El Dorado, las rutas propuestas sí cuentan con un mercado potencial a servirse.

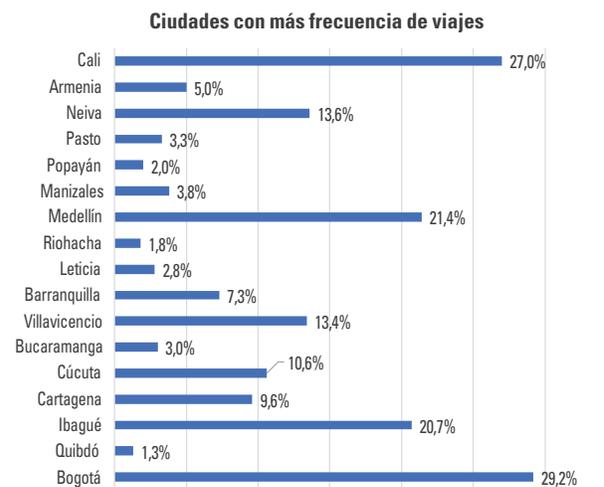


Figura 4. Ciudades con más frecuencia de viajes  
Fuente: elaboración propia (2021).

La figura 5 determinó los motivos de viaje de las personas encuestadas, variando entre trabajo y negocios con un 38,5 %, turismo y vacaciones con un 34 %, estudios con un 10,6 % y otros con un 18,9 %, los cuales pueden caracterizarse entre viajes de salud o para la realización de procedimientos médicos, visita a familiares enfermos o para acompañar un funeral, entre otros. Como se observa, el turismo y los negocios son fuentes principales del tráfico de pasajeros, sumando entre ambas un 72,5 %, lo cual debe ser aprovechado para crear campañas direccionadas a estos dos tipos de viajes e incentivar el uso del transporte aéreo en las rutas a servir por la aerolínea.

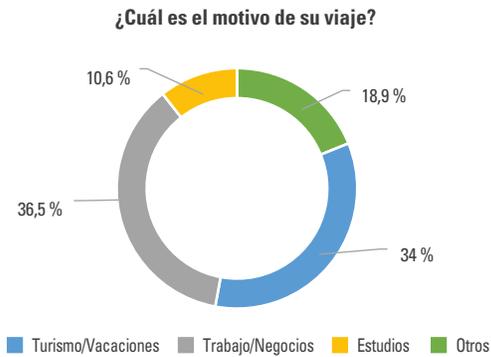


Figura 5. Motivo del viaje  
Fuente: elaboración propia (2021).

La frecuencia del viaje, consultada en la figura 6, está dentro de los rangos de 2 o 3 veces al año con un 45,5 %, una vez al mes con un 31,5 %, cada 15 días un 11,3 %, una vez a la semana el 6,3 %, y más de una vez por semana el 5,3 %. Se observa cómo existe una cantidad de viajeros que pueden aprovechar el diseño de la tarifa de viajero frecuente, denominada *premium*, siendo estos los que están en rangos inferiores a mínimo un vuelo al mes, lo que nos muestra un mercado del 54,4 % por explotar.

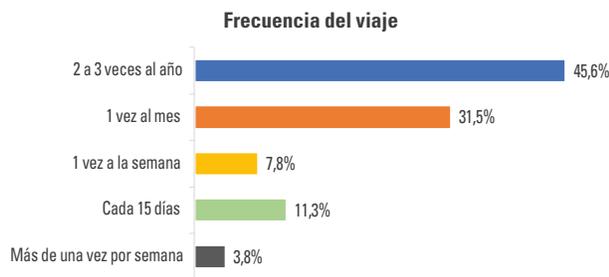


Figura 6. Frecuencia del viaje  
Fuente: elaboración propia (2021).

Igualmente, en la figura 7 el medio de transporte más usado por las personas encuestadas para sus desplazamientos fue el avión, con un 66,8 %, el bus intermunicipal con el 17,1 %, el auto particular 13,1 % y en moto con un 3 %. En concordancia con la pregunta anterior, se observa que el medio de transporte más apetecido es el avión, dando una ventaja competitiva sobre los demás medios de transporte en las rutas y frecuencias diseñadas para la aerolínea, sumado esto al precio del pasaje que se sugiere.

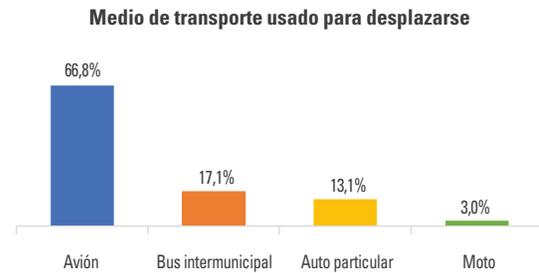


Figura 7. Medio de transporte usado para el desplazamiento  
Fuente: elaboración propia (2021).

En la figura 8, para quienes contestaron que su medio de transporte fue el avión, se elaboraron tres preguntas aparte, para conocer aspectos propios de dicho medio. La primera pregunta intentaba conocer si el vuelo fue directo o con escalas, a lo cual el 94,3 % contestó que el vuelo fue directo y un 5,7 % realizó sus vuelos con escalas. Los vuelos directos son más buscados, no solo por la rapidez que generan, sino que eliminan las esperas innecesarias entre vuelo y vuelo, lo cual otorga a la aerolínea una ventaja competitiva sobre las rutas propuestas.



Figura 8. Tipo de vuelo, directo o con escala  
Fuente: elaboración propia (2021).

Con respecto a la figura 9, en la segunda pregunta para quienes seleccionaron el avión como medio de transporte, manifestaron que su vuelo duró entre 1 y 3 horas, con un 65,7 %, menos de una hora el 22,3 %, de 3 a 5 horas un 11,7 % y más de 5 horas un 0,4 %. Estos tiempos están acordes en promedio a las rutas diseñadas para la aerolínea, los cuales pueden tener algunas variaciones debido a temas climatológicos o disponibilidad de *slots*.

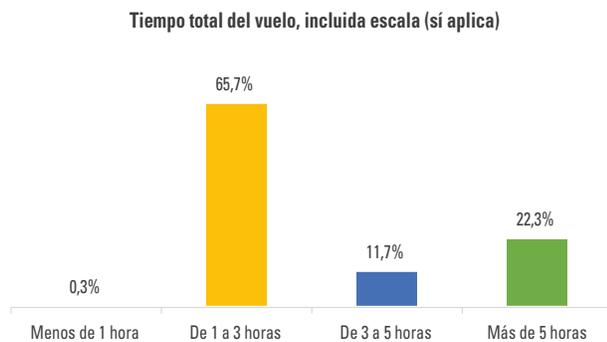


Figura 9. Duración del vuelo  
Fuente: elaboración propia (2021).

La figura 10 responde la tercer y última pregunta para quienes seleccionaron el avión como medio de transporte, manifestando que el costo de su pasaje aéreo fue entre 150.000 pesos y 300.000 pesos, con un 62,3 %, menos de 150.000 pesos un 25,7 %, entre 300.000 pesos y 500.000 pesos un 10,2 %, y más de 500.000 pesos un 1,9 %. El costo de los pasajes aéreos bajo la estructura de la aerolínea, se ajustan y están por debajo de lo seleccionado por los encuestados.

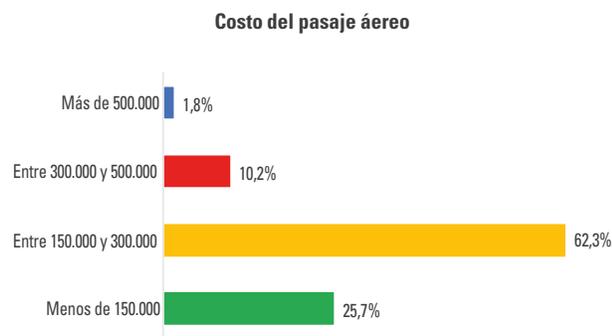


Figura 10. Costo del pasaje aéreo  
Fuente: elaboración propia (2021).

Con respecto a la figura 11, para las personas que seleccionaron los medios diferentes al avión como medio de transporte, se les desarrollaron dos preguntas. En la primera se consultó sobre el tiempo total del viaje, a lo cual un 45,5 % manifestó que el tiempo estuvo en un rango de 4 a 7 horas, un 37,1 % manifestó que estuvo entre 1 y 4 horas, un 11,4 % estuvo en el rango de 7 a 10 horas, y un 6,1 % estuvo por encima de las 10 horas de viaje. En esta pregunta vemos cómo claramente

se puede explorar el ahorro en tiempo como un factor diferencial para la decisión de compra de los usuarios que se desplazan por medios terrestres, ya que mientras un desplazamiento por tierra en promedio está entre el rango de las 5 horas de viaje o más, por medio del transporte aéreo el tiempo de vuelo es en promedio de 1 hora, y sumando el tiempo necesario para realizar el abordaje, cargue de equipaje, espera en salas de abordar, recogida del equipaje, rara vez se superan las 3 horas y media en todo el proceso.

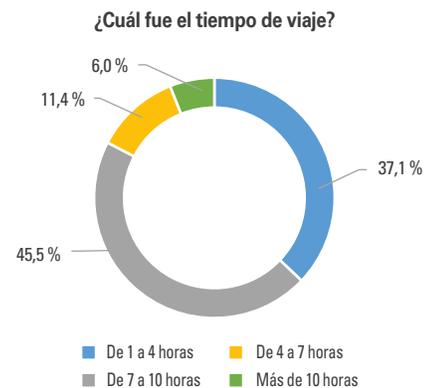


Figura 11. Tiempo de viaje por tierra  
Fuente: elaboración propia (2021).

De acuerdo con la figura 12, siendo la segunda pregunta para quienes se desplazaron por tierra, se consultó los costos del pasaje o del viaje, según si era en auto o moto particular, o por medio de transporte intermunicipal. Un 65,2 % manifestó que los costos estuvieron por debajo de los 100.000 pesos, el 27,3 % consideró que estuvo entre 100.000 y 200.000 pesos, el 4,5 % determinó que estuvieron entre 200.000 y 300.000 pesos, y un 3 % manifestó que estuvieron por encima de los 300.000 pesos.

Los costos asociados al viaje por la Aerolínea están casi en el promedio manifestado por los encuestados (menos de 100.000 pesos), en donde el pago de más, que en el peor de los casos no será superior al 50 % de lo que vale en promedio el desplazamiento por tierra, se ve reflejado en el ahorro en tiempo, seguridad, comodidad y demás valores agregados, los cuales deben ser mostrados y evidenciados en las campañas de publicidad.



Figura 12. Costo del desplazamiento por tierra

Fuente: elaboración propia (2021).

Según la figura 13, se muestran los resultados de la pregunta formulada a los encuestados: “¿Por cuál medio estarían dispuestos a comprar los pasajes aéreos?”, en donde un 73,6 % manifestó que por internet, un 12,3 % por medio de un agente de viajes, un 10,8 % por otros medios como vía telefónica, y tan solo un 3,3 % estaría dispuesto a comprar el pasaje en el aeropuerto. En consonancia con la realidad actual derivada de la pandemia, y en unión con la perspectiva de negocio planteada para la aerolínea, el internet será el principal canal de ventas, a través de una página web, lo cual reduce ostensiblemente los costos de ventas.

¿Por cuál medio estarían dispuestos a comprar los pasajes aéreos?

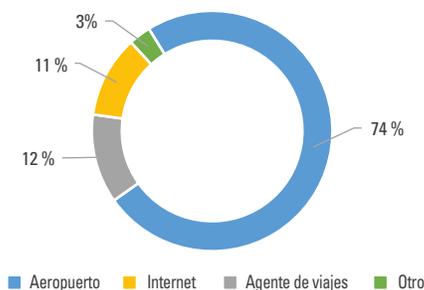


Figura 13. Medio de compra del pasaje aéreo

Fuente: elaboración propia (2021).

La figura 14 muestra la percepción de los encuestados para una aerolínea de bajo costo, siendo esta muy heterogénea, donde el 35,3 % consideran que las aerolíneas de bajo costo ofrecen servicios económicos, pero con recargas adicionales en algunos productos o servicios, 24,7 % considera que son de baja calidad en

los servicios y productos que ofrecen, el 21,2 % consideran que son una alternativa de transporte rápido, y el 18,9 % consideran que restringen el equipaje, desfavoreciendo a los usuarios.

La percepción negativa percibida debe contrarrestarse mostrando ventajas y valores agregados, eliminando las barreras negativas y permitiendo que los potenciales pasajeros consideren como su primera opción de desplazamiento el transporte por la aerolínea.

La percepción suya de una aerolínea de bajo costo es:

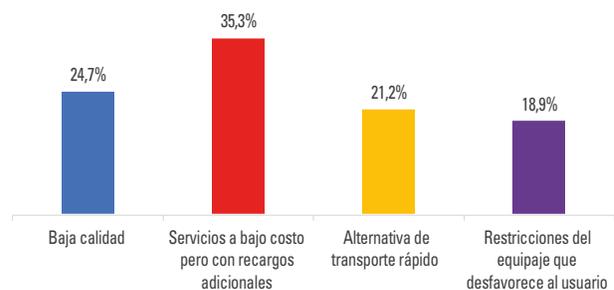


Figura 14. Percepción aerolínea de bajo costo

Fuente: elaboración propia (2021).

La figura 15 muestra la consulta de las características que desean encontrar en una aerolínea regional, el bajo precio fue la característica más seleccionada, con un 76,1 %, seguido de las promociones con un 68 %, los servicios de calidad contaron con un 56,7 % y la seguridad en el vuelo contó con un 41,6 %, siendo la tercera y cuarta características más seleccionadas por los encuestados.

¿Cuáles son las características que usted desea encontrar en una nueva aerolínea regional?



Figura 15. Características esperadas en una aerolínea regional

Fuente: elaboración propia (2021).

El estudio de factibilidad desarrollado para la aerolínea es de bajo costo, lo cual está en sintonía con las expectativas manifestadas por los encuestados, siendo no solo el bajo costo sino las promociones los factores preponderantes para apalancar el crecimiento de la aerolínea, unido a aspectos de cumplimiento de itinerarios y calidad en todas las fases del servicio.

En la figura 16, al consultar cuáles servicios consideran no esenciales en un vuelo, un 30,5 % considera que el pasabordo físico es uno de ellos, las salas VIP se consideran no esenciales con un 21,4 %, el 20,9 % considera que el entretenimiento a bordo no es esencial, 15,4 % manifiesta que los *snacks* y pasabocas no son esenciales, y el 11,8 % considera que el transporte de equipaje de más de 10 kilos tampoco lo es. Nuevamente encontramos consonancia en el modelo de negocio y los servicios no esenciales que los encuestados perciben, dado que las herramientas virtuales jugarán un papel esencial para mantener el contacto permanente con los clientes, a través de la página web y la App de la aerolínea.

Igualmente, se estableció que el equipaje máximo permitido pagado con el pasaje aéreo es de 8 kilos en la tarifa turista, y 20 kilos en la tarifa superior, en donde a través de la App, la página web o el *counter* del aeropuerto, se puede comprar el derecho de transportar una maleta de hasta 20 kilos adicional, por 85.000 pesos.

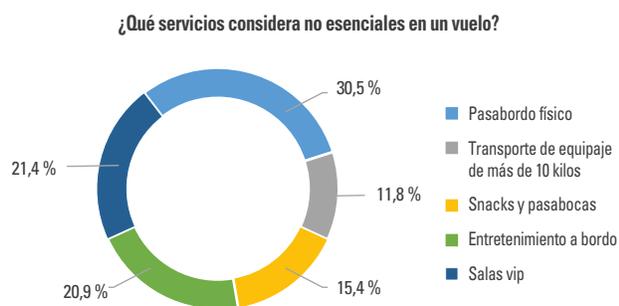


Figura 16. Servicios no esenciales en un vuelo  
Fuente: elaboración propia (2021)

La figura 17 representa el nombre más atractivo para los encuestados, donde Colombia Regional Airlines obtuvo un 50,9 %, seguido de Colombia Airlines con un 20,8 %, en tercer lugar, encontramos con un

14,4 % la Aerolínea Colombiana Regional (ACR) y, por último, se seleccionó con un 13,9 % el nombre de Regional Airlines.

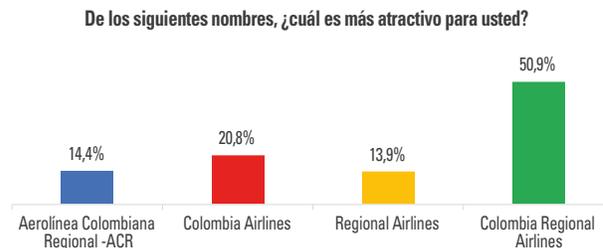


Figura 17. Nombre más atractivo para la aerolínea  
Fuente: elaboración propia (2021).

Bajo los análisis obtenidos en la validación de mercado, la definición final de la idea de negocio es presentar a la población de las ciudades de Cali, Neiva, Ibagué, Villavicencio, Cúcuta y Medellín, una aerolínea de bajo costo llamada Colombia Regional Airlines, con la finalidad de que estas ciudades puedan tener acceso a vuelos en los diferentes aeropuertos y no necesiten realizar conexiones para llegar a su destino.

El logo diseñado para la aerolínea fue pensado para mostrar modernidad, fluidez, juventud y tranquilidad a quienes lo observan.



Figura 18. Logo de la aerolínea  
Fuente: elaboración propia (2021).

## Precio

El precio se estableció realizando una comparación entre el costo del transporte terrestre, los destinos por ofertar, frente al costo de las aerolíneas que cubren el mismo destino, donde también se comparan las horas de viaje, las cuales se muestran en el siguiente comparativo:

Tabla 3.  
Comparativo entre precios y horas de viaje por tipo de transporte

Servicio	Cali - Neiva	Cali - Ibagué	Cali - Villavicencio	Cali - Cúcuta	Cali - Medellín
Terrestre - Precio	120,000	70,000	110,000	170,000	90,000
Tiempo – Horas	8	6	14	24	10
Aéreo – Precio	148,000	308,000	325,000	165,000	156,000
Tiempo – Horas	1	3	4	1.5	1
Diferencia - Horas	7	3	10	22.5	9
Aerolínea - Precio más bajo	EasyFly	Avianca <sup>1</sup>	Avianca <sup>2</sup>	GCA	EasyFly

Fuente: elaboración propia (2021).

En términos de precio, el transporte terrestre y según la ruta, puede generar ahorros entre el 10 % y 60 %, pero los tiempos de viaje se incrementan ostensiblemente, lo cual representa para el transporte aéreo una gran ventaja competitiva. Se comparó los precios en la página pinbus.com para el transporte terrestre, y los precios de las aerolíneas que más barato ofrecían cada trayecto. Es de anotar que, en los trayectos cubiertos por Avianca, los tramos no son directos, sino que realizan escala en Bogotá, lo cual incrementa el tiempo de viaje.

Bajo este esquema, los precios sugeridos para los trayectos a ofertar por la Aerolínea, así como las frecuencias diarias, son los siguientes:

Tabla 4.  
Precios por trayecto

Ruta	Frecuencia diaria	Precio por trayecto
Cali - Neiva	1	140.000
Neiva - Cali	1	140.000
Cali - Ibagué	1	133.000
Ibagué - Cali	1	133.000
Cali - Villavicencio	1	161.000
Villavicencio - Cali	1	161.000
Cali - Cúcuta	2	154.000
Cúcuta - Cali	2	154.000
Cali - Medellín (OE)	3	140.000
Medellín (OE) - Cali	3	140.000

Fuente: elaboración propia (2021).

- 1 Avianca para esta ruta no realiza vuelos directos, el tiempo calculado incluye la espera entre vuelos.
- 2 Avianca para esta ruta no realiza vuelos directos, el tiempo calculado incluye la espera entre vuelos.

Todos los precios están por debajo de las tarifas aéreas comparadas en la tabla 2, lo cual, para la propuesta de valor de la aerolínea, permite encontrar un punto para mostrar dentro de las estrategias de publicidad, como lo es el bajo costo del tiquete por trayecto. Igualmente, la tarifa por trayecto comienza con un factor de descuento sobre la tarifa plena, menos el 30 % de dicho valor, como se observa en la tabla 5:

Tabla 5.  
Tarifas según el factor de descuento o aumento

Rutas	Factor	Tarifa plena	Descuento	Aumento	Tarifa final
Cali - Neiva - Cali	Compra $\geq$ a 30 días del vuelo	210.000	30 %		147.000
	Compra entre 30 y 15 días del vuelo	210.000	15 %		178.500
	Compra entre 14 y 5 días del vuelo	210.000	5 %		199.500
	Compra entre 4 y 1 día antes y el día del vuelo	210.000	0 %		210.000
	Compra el día del vuelo	210.000		15 %	241.500
Cali - Ibagué - Cali	Compra $\geq$ a 30 días del vuelo	190.000	30 %		133.000
	Compra entre 30 y 15 días del vuelo	190.000	15 %		161.500
	Compra entre 14 y 5 días del vuelo	190.000	5 %		180.500
	Compra entre 4 y 1 día antes y el día del vuelo	190.000	0 %		190.000
	Compra el día del vuelo	190.000		15 %	218.500

Continúa

Rutas	Factor	Tarifa plena	Descuento	Aumento	Tarifa final
Cali - Villavicencio - Cali	Compra ≥ a 30 días del vuelo	230.000	30 %		161.000
	Compra entre 30 y 15 días del vuelo	230.000	15 %		195.500
	Compra entre 14 y 5 días del vuelo	230.000	5 %		218.500
	Compra entre 4 y 1 día antes y el día del vuelo	230.000	0 %		230.000
	Compra el día del vuelo	230.000		15 %	264.500
Cali - Cúcuta - Cali	Compra ≥ a 30 días del vuelo	250.000	30 %		175.000
	Compra entre 30 y 15 días del vuelo	250.000	15 %		212.500
	Compra entre 14 y 5 días del vuelo	250.000	5 %		237.500
	Compra entre 4 y 1 día antes y el día del vuelo	250.000	0 %		250.000
	Compra el día del vuelo	250.000		15 %	287.500
	Cali - Medellín (OE) - Cali	Compra ≥ a 30 días del vuelo	210.000	30 %	
Compra entre 30 y 15 días del vuelo		210.000	15 %		178.500
Compra entre 14 y 5 días del vuelo		210.000	5 %		199.500
Compra entre 4 y 1 día antes y el día del vuelo		210.000	0 %		210.000
Compra el día del vuelo		210.000		15 %	241.500

Fuente: elaboración propia (2021).

El equipaje se limitará hasta una sola pieza de menos de 8 kilos, la cual se incluirá en el valor del ticket en cualquiera de sus tarifas, y para los clientes superior (tarifa plena), podrán contar con una pieza de hasta máximo 20 kilos incluida en su compra. Igualmente, se podrá comprar un equipaje adicional de hasta 20 kilos por un valor de 85.000 pesos por maleta, los cuales se cancelan hasta una hora antes del embarque.

Los cálculos para ingresos, punto de equilibrio y demás necesarios para la operación de la aerolínea, se realizaron sobre la base del 100 % de las ventas con el mayor descuento aplicado sobre la tarifa plena.

## Organigrama

La figura 19 muestra el organigrama de la compañía sugerido para su operación:



Figura 19. Organigrama propuesto

Fuente: elaboración propia (2022).

## Balanced scorecard

El mapa estratégico de la aerolínea se deriva de los análisis del entorno organizacional, su plataforma estratégica y el establecimiento de las estrategias bajo el *balanced scorecard*.

Tabla 6.  
*Balanced scorecard* propuesto

N.º	Perspectiva	Objetivo	Actividades
1	Financiera	Mejora continua de los ingresos	Incremento de ventas
			Incrementar el número de pasajeros
2	Clientes	Ganar participación en el mercado	Desarrollar campañas publicitarias
			Implementar fidelización
		Incrementar las rutas y/o las frecuencias	Mantener rutas
			Incrementar frecuencias
		Incrementar las rutas	Realizar estudios de factibilidad
			Implementar ruta 1
	Implementar ruta 2		

Continúa

N.º	Perspectiva	Objetivo	Actividades
3	Procesos Internos	Desarrollar nuevos productos	Diseñar e implementar producto 1
			Diseñar e implementar producto 2
		Mejorar continuamente los procesos	Implementar el sistema de gestión ISO 9001-2015
4	Aprendizaje y Crecimiento	Realizar capacitaciones permanentes	Desarrollar e implementar programas de capacitación

Fuente: elaboración propia (2021).

## Perspectiva financiera

El objetivo propuesto para la perspectiva financiera es la “mejora continua de los ingresos”, en donde se proponen las siguientes actividades, indicadores y metas:

### Actividades

- Incremento de ventas.
- Incrementar el número de pasajeros.

### Indicadores y metas

- Tasa de crecimiento de ventas: incremento de mínimo el 3 % anual.

$$\text{Tasa de crecimiento de ventas \%} = \frac{\text{Ventas año 2} - \text{Ventas año 1}}{\text{Ventas año 1}}$$

La meta que se desea alcanzar es de un crecimiento en las ventas del 3 %, en relación con las ventas del año anterior.

- Tasa de crecimiento de pasajeros: incremento del 3 % anual.

$$\text{Tasa de crecimiento de pasajeros \%} = \frac{N.º \text{ pax año 2} - N.º \text{ pax año 1}}{N.º \text{ pax año 1}}$$

Se propone un crecimiento anual del 3 % anual con respecto al número de pasajeros que transporte por año.

## Perspectiva de los clientes

Los objetivos propuestos para la perspectiva de los clientes son: “Ganar participación en el mercado” y “mantener las rutas incrementando las frecuencias”, en donde se proponen las siguientes actividades, indicadores y metas:

### Actividades

- Desarrollar campañas publicitarias.
- Implementar fidelización.
- Mantener rutas.
- Incrementar frecuencias.
- Realizar estudios de factibilidad.
- Implementar ruta 1.
- Implementar ruta 2.

### Indicadores y metas

- Participación de mercado: incremento de mínimo el 3,5 % anual.

$$\text{Participación de mercado \%} = \frac{\text{Pax transportados año 1}}{\text{Pax. Transportados en el mercado nacional} \times \text{año 1}}$$

Para determinar la cuota de mercado, es necesario tener en cuenta todos los pasajeros que viajan anualmente a través de todas las aerolíneas en el país, y comparar esto con los que vuelan con Colombia Regional Airlines. Este indicador refleja el impacto de las campañas publicitarias, los programas de ideación y los estudios de mercado. El objetivo para este año es alcanzar al menos el 13 % de cuota de mercado, en un horizonte temporal de 5 años.

- Número de rutas y/o frecuencias: incremento de una ruta bianual y/o 2 frecuencias.

$$\text{Rutas/Frecuencias} = \frac{\text{Promedio mensual de rutas o frecuencias}}{\text{Rutas (10) o Frecuencias (16)}}$$

Este indicador expresa el promedio de las rutas o frecuencias ofrecidas diariamente por Colombia Regional Airlines, para el efecto se ha considerado como ideal cubrir 10 rutas o destinos, y 16 frecuencias diarias.

## Perspectiva de los procesos internos

Los objetivos propuestos para la perspectiva de los clientes son: “Desarrollo de nuevos productos” y “mejorar continuamente los procesos”, en donde se proponen las siguientes actividades, los indicadores y metas:

### Actividades

- Diseñar e implementar producto 1.
- Diseñar e implementar producto 2.
- Implementar sistema de gestión ISO 9001-2015.

### Indicadores y metas

- Producto 1 y/o 2 implementado: por lo menos uno en máximo 2 años

$$\frac{\text{Producto 1 y/o 2 implementado}}{\text{Total productos diseñados}} = \frac{\text{Producto implementando}}{\text{Total productos diseñados}}$$

Este indicador expresa la cantidad de productos nuevos implementados en la aerolínea, frente a la cantidad de productos diseñados y testeados para su aceptación en el mercado.

- Implementar ISO 9001-2015: máximo 3 años.

Es necesario desde el inicio de las operaciones realizar las actividades necesarias para en un tiempo no mayor a 3 años, contar con la certificación ISO 9001-2015, y así garantizar calidad y optimización de los procesos.

## Perspectiva de aprendizaje y crecimiento

El objetivo propuesto para la perspectiva financiera es “realizar capacitaciones permanentes”, en donde se proponen las siguientes actividades, indicadores y metas:

### Actividades

Desarrollar e implementar programas de capacitación.

### Indicadores y metas

Porcentaje de capacitación: cumplimiento de lo planificado al 100 % al terminar el año.

$$\text{Porcentaje de capacitación \%} = \frac{\text{Capacitaciones realizadas en el año}}{\text{Capacitaciones programadas para el año}}$$

El plan de acción para lograr el objetivo es materializar el proyecto de capacitación estipulado en el plan operativo de la aerolínea para el año de análisis. La meta es alcanzar el 100 % en este índice. Los valores de los indicadores son comparados con escalas de rendimientos donde se especifica el nivel en el que se encuentra. Las escalas determinadas para los indicadores es la siguiente:

Tabla 7.  
Escala de rendimiento de indicadores BSC

Alto	Medio	Bajo	Crítico
100 % a 95 %	94,99 % a 75 %	74,99 % a 40 %	39,99 % a 0 %

Fuente: Elaboración propia (2021)

Se sugiere que el cargue de información para nutrir cada indicador debe hacerse trimestralmente, lo cual generaría una proyección sobre el cumplimiento de este, permitiendo realizar ajustes tanto de las actividades como de los indicadores para su cumplimiento final.

## Estudio financiero

Al analizar financieramente la factibilidad del proyecto, a través de diversos indicadores, tomando como base los recursos económicos disponibles y el coste total del proyecto de la creación de una aerolínea de bajo costo, el estudio financiero se convierte en una parte fundamental en cualquier proyecto de inversión, de esta manera una empresa que quiere crear una nueva área de negocios o incluso un inversor que está interesado en poner su dinero en una empresa con el fin de obtener rentabilidad, se procede a realizar el estado del costo, estado de resultados y los indicadores de rentabilidad.

### Inversión total, costos y gastos

Las inversiones necesarias para la operación de la aerolínea suman un total de 3.760.750.000 pesos discriminados en la tabla 8:

Tabla 8.  
Inversiones totales

Construcciones y edificaciones			
	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Hangar - Cali	1	2.800.000.000	2.800.000.000
Oficinas administrativas	1	250.000.000	250.000.000
		<b>Total</b>	<b>3.050.000.000</b>
Muebles y enseres			
Mesas para computador	133	150.000	19.950.000
Sillas de escritorio	133	135.000	17.955.000
Mesas auxiliares	20	80.000	1.600.000
Archivadores	15	353.000	5.295.000
		<b>Total</b>	<b>44.800.000</b>
Equipo de oficina			
Computadoras	133	2.000.000	266.000.000
Teléfonos celulares	85	3.500.000	297.500.000
Televisor	6	2.500.000	15.000.000
Radios de comunicación	29	450.000	12.150.000
iPad	41	3.300.000	135.300.000
Software cartas de navegación	1	25.000.000	25.000.000
		<b>Total</b>	<b>750.950.000</b>

Fuente: Elaboración propia (2021)

Tanto el hangar como las oficinas administrativas se encontrarán en el mismo espacio dentro de las instalaciones del Aeropuerto Alfonso Bonilla Aragón de la ciudad de Cali, como base de operaciones, concentrando en un mismo espacio todo el personal necesario para su funcionamiento.

Para establecer los costos y gastos fijos, estos se determinaron bajo los estándares que empresas del sector aéreo nacional actualmente tienen establecidos, por ejemplo, el *leasing* de las aeronaves en Colombia se puede realizar a través de la empresa International Lease Finance Corporation (ILFC), Chorus Aviation Capital o True Noord, que en promedio cobran un total de 86.000 dólares al año por su alquiler. Los seguros se establecen bajo las condiciones de riesgo que compañías como Bancolombia o HDI tienen en el mercado para este tema en específico, donde se cubre la pérdida o daño de aeronaves, lesiones o daños a la tripulación y pasajeros, pólizas obligatorias para operar en el territorio nacional. Los ítems como seguridad, aseo, arriendos de *caunter*, servicios de telecomunicación y demás, se analizaron con la doctora Paola Moreno, jefe del Aeropuerto Internacional El Dorado, para la aerolínea Satena, quien lleva vinculada con esta desde hace más de 15 años, con quien pude conversar dada la cercanía y familiaridad que tenemos, suministré datos, pero con el rótulo de confidencialidad.

Los costos y gastos fijos más representativos se derivan del alquiler o *leasing* operativo de los tres aviones ATR 72-600, que tienen un costo de 80.000 dólares al mes, y se calculó con una TRM de 3.600 pesos, el cual es el promedio calculado para el 2021.

Los costos y gastos fijos suman un total para el año 1 de 12.006.000.000 de pesos, discriminados en la tabla 9.

La nómina asociada al personal administrativo suma en el año 1 un total de 4.163.128.440 de pesos, discriminados en la tabla 10.

La nómina asociada al personal de ventas suma en el año 1 un total de 529.094.712 de pesos, discriminados en la tabla 11.

La nómina asociada al personal operativo suma en el año 1 un total de 5.927.485.980 de pesos, discriminados en la tabla 12.

Tabla 9.  
Costos y gastos fijos

Costo y gasto	Valor mensual	Valor anual
Seguros	65.000.000	780.000.000
Cargo de vigilancia	6.000.000	72.000.000
Cargo de servicios de transporte	2.500.000	30.000.000
Servicios de telecomunicación	3.000.000	36.000.000
Papelería	2.500.000	30.000.000
servicios públicos	4.000.000	48.000.000
Servicios de alarma y seguridad privada	3.500.000	42.000.000
Servicios de aseo tercerizados	5.000.000	60.000.000
Arriendo del caunter en los aeropuertos	35.000.000	420.000.000
Leasing avión 1	288.000.000	3.456.000.000
Leasing avión 2	288.000.000	3.456.000.000
Leasing avión 3	288.000.000	3.456.000.000
Imprevistos	10.000.000	120.000.000
<b>Total</b>		<b>12.006.000.000</b>

Fuente: Elaboración propia (2021)

Tabla 10.  
Nómina anual personal administrativo

Nómina anual administrativos con seguridad social y prestaciones				
N.º	Cargo	N.º cargos	Valor anual ind.	Total
1	Gerente general	1	162.520.560	162.520.560
2	Gerente de área	3	135.433.800	406.301.400
3	Director de área	10	117.375.960	1.173.759.600
4	Profesional Especializado	13	90.289.200	1.173.759.600
5	Profesional	6	68.619.792	411.718.752
6	Tecnólogo	2	41.533.032	83.066.064
7	Técnico	0	0	0
8	Asistente de gerencia	4	41.533.032	166.132.128
9	Auxiliares	19	26.558.424	504.610.056
10	Pasante	5	16.252.056	81.260.280
<b>Total</b>				<b>4,163,128,440</b>

Fuente: Elaboración propia (2021)

Tabla 11.  
Nómina anual personal de ventas

Nómina anual ventas con seguridad social y prestaciones				
N.º	Cargo	N.º cargos	Valor anual ind.	Total
1	Director de área	1	117.375.960	117.375.960
2	Agentes comercial	6	68.619.792	411.718.752
<b>Total</b>				<b>529,094,712</b>

Fuente: Elaboración propia (2021)

Tabla 12.  
Nómina anual personal operativo

Nómina anual operativos con seguridad social y prestaciones				
N.º	Cargo	N.º cargos	Valor anual ind.	Total
1	Capitanes	19	90.289.200	1.715.494.800
2	Jefe de área	4	72.231.360	288.925.440
3	Segundo oficial	18	63.202.440	1.137.643.920
4	Auxiliar de vuelo	27	45.144.600	1.218.904.200
5	Auxiliar de servicios aeroportuarios	16	40.630.140	650.082.240
6	Técnico aeronáutico - Especialista	6	58.687.980	352.127.880
7	Técnico aeronáutico	5	47.853.276	239.266.380
8	Despachador de vuelo	6	54.173.520	325.041.120
<b>Total</b>				<b>5,927,485,980</b>

Fuente: Elaboración propia (2021)

## Financiamiento de la inversión total

Para el cálculo del capital de trabajo se estableció la necesidad de contar con 8 meses de apalancamiento necesario para el inicio de la operación, tal como se observa en la figura 20:

Cálculo del Capital de Trabajo Inicial			
	Meses		Valor
Costos Operativos	8,0	\$	14.315.585.817,26
Nominas	8,0	\$	7.080.013.749,67
Marketing Mix	8,0	\$	220.000.000,00
Gastos Fijos	8,0	\$	8.004.000.000,00
<b>TOTAL</b>		\$	<b>29,619,599,611,93</b>
Total Inversión		\$	33.810.349.611,93
Aporte de los Emprendedores		\$	4.000.000.000,00
Préstamo a Solicitar		\$	29.810.349.611,93

Figura 20. Capital de trabajo

Fuente: elaboración propia.

La financiación del proyecto requiere para su funcionamiento y puesta en marcha una inversión total de 33.810.349.611,93 de pesos, donde se calcula que los socios o inversores colocarán un capital inicial de 4.000.000.000 de pesos, y el resto se financiará a través de un crédito a 5 años con una tasa del 8,51 % E. A., calculada bajo lo estipulado para crédito Findeter, la cual es DTF TA + 3.65 % (Findeter, 2022a).

Findeter no tiene requisitos para los beneficiarios del crédito, los intermediarios financieros (bancos, corporaciones financieras, compañías de financiamiento comercial) son los encargados de solicitar los documentos que consideren necesarios para realizar el estudio de crédito. De igual forma, son ellos los que definen el plazo del préstamo, la tasa y las garantías necesarias (Findeter, 2022a).



Figura 21. Modelo de préstamo Findeter  
Fuente: Findeter (2022b)

El modelo de préstamo de Findeter para el sector transporte funciona a través de intermediarios financieros como bancas comerciales, corporaciones financieras, compañías de financiamiento y cooperativas financieras autorizadas por la Superintendencia Financiera de Colombia, quienes son los que determinan las condiciones necesarias y garantías para avalar la solicitud de crédito, contando a la fecha con un cupo de 1.27 billones de pesos para tal fin, a través del programa denominado Reactiva Colombia (Findeter, 2022b).

La tabla de amortización muestra los pagos por desarrollarse a partir del año 2023, ya que se toma el año 2022 como el periodo 0 o base. Los valores disminuyen progresivamente dado el periodo de tiempo proyectado, lo cual mejora la perspectiva del negocio para apalancar futuras inversiones, como por ejemplo para ampliar sus rutas, lo cual se tiene proyectado dentro del BSC, siendo necesario ampliar la capacidad de la flota a 5 ATR 72-600, todos en *leasing* operativo.

## Punto de equilibrio

Inicialmente se calculó el total de sillas a ofertar, con un factor de ocupación del 85 % de los ATR 72-600 en cada ruta, donde se tuvo en cuenta la frecuencia o número de vuelos diarios, y se elevó ese cálculo por semestre, para contar con el total de tiquetes por vender en el año 1 (2022):

Tabla 13.  
Oferta de sillas año 2022

Oferta de sillas – 85 % capacidad ATR						
Ruta	Rutas	Semestre 1		Semestre 2		Trayecto
1	Cali - Neiva	10.770	21.539	10.948	21.896	43.435
	Neiva - Cali	10.770		10.948		
2	Cali - Ibagué	10.770	21.539	10.948	21.896	43.435
	Ibagué - Cali	10.770		10.948		
3	Cali - Villavicencio	10.770	21.539	10.948	21.896	43.435
	Villavicencio - Cali	10.770		10.948		
4	Cali - Cúcuta	21.539	43.078	21.896	43.792	86.870
	Cúcuta - Cali	21.539		21.896		
5	Cali - Medellín (EO)	32.309	64.617	32.844	65.688	130.305
	Medellín (OE) - Cali	32.309		32.844		
<b>Total</b>		<b>172.312</b>	<b>172.312</b>	<b>175.168</b>	<b>175.168</b>	<b>350.376</b>

Fuente: Elaboración propia

Figura 22. Tabla de amortización  
Fuente: Elaboración propia

TASA DE INT ANUAL CRÉDITO		AÑOS DE CRÉDITO			
8,51%		5			
CALCULO DEL PRÉSTAMO					
AÑO 0	inicial	interés	amort	cuota	final
2022	\$ 29.692.025.478,6	\$ 2.526.791.368,2	\$ 5.009.998.283,8	\$ 7.536.789.652,0	\$ 29.692.025.478,6
2023	\$ 24.682.027.194,9	\$ 2.100.440.514,3	\$ 5.436.349.137,7	\$ 7.536.789.652,0	\$ 19.245.678.057,2
2024	\$ 19.245.678.057,2	\$ 1.637.807.202,7	\$ 5.898.982.449,3	\$ 7.536.789.652,0	\$ 13.346.695.607,8
2025	\$ 13.346.695.607,8	\$ 1.135.803.796,2	\$ 6.400.985.855,8	\$ 7.536.789.652,0	\$ 6.945.709.752,1
2026	\$ 6.945.709.752,1	\$ 591.079.899,9	\$ 6.945.709.752,1	\$ 7.536.789.652,0	\$ -

Luego se realizó el cálculo de las ventas por cada ruta servida, junto con su margen de contribución, como se discrimina en la tabla 14:

Tabla 14.  
Ventas y margen de contribución

Nombre del producto o servicio	Margen de contribución unitario	Participación % en ventas totales	Margen de contribución ponderado
Cali - Neiva - Cali	99.962	12 %	11.797
Cali - Ibagué - Cali	113.447	12 %	13.388
Cali - Villavicencio - Cali	106.920	14 %	14.610
Cali - Cúcuta - Cali	59.091	27 %	16.149
Cali - Medellín (o. H.) - Cali	119.732	35 %	42.390
Total margen de contribución promedio ponderado			98.334
Punto de equilibrio = costos y gasto fijo/MCPP			233.450
<b>Punto de equilibrio en pesos (valor ventas mínimas en total sin IVA)</b>			<b>37.781.219.660</b>

Fuente: Elaboración propia

El punto de equilibrio en número de vuelos por cada una de las rutas (ida y vuelta) necesario para el año 1 de operaciones (2023), se discrimina en la tabla 15:

Tabla 15.  
Punto de equilibrio en cantidad de pasajes por vender año 2023

Pasajes por vender por ruta para punto de equilibrio	
Cali – Neiva – Cali	27.550
Cali – Ibagué – Cali	27.550
Cali – Villavicencio – Cali	31.900
Cali – Cúcuta – Cali	63.800
Cali – Medellín (OE) – Cali	82.650
<b>Total</b>	<b>233.450</b>

Fuente: Elaboración propia

## Indicadores de rentabilidad

### Liquidez - Razón corriente

Se tiene una razón corriente de 0 para el año 2022, para el año 2023 la empresa tiene el indicador en 11,14, para el año 2024 de 7,99, para el año 2025 de 5,86, y para el año 2026 de 4,33, lo cual muestra la evolución

del indicador y cómo es posible cubrir las deudas y el funcionamiento de la aerolínea, como se evidencia en la figura 23:

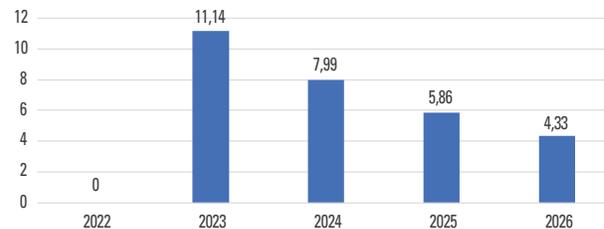


Figura 23. Liquidez - Razón corriente

Fuente: Elaboración propia

### Rentabilidad neta

La figura 24 muestra que la rentabilidad neta del año 2022 corresponde al 10,03 % del patrimonio, para el año 2023 es de 12,00 %, para el año 2024 es de 13,83 %, para el año 2025 es de 15,58 % y para el año 2026 es de 17,16 %.

El indicador permite determinar la rentabilidad de la empresa respecto al patrimonio, por lo que la inversión en patrimonio para el primer año genera un ROE menor al de los demás años, esto se debe a que la inversión para ese periodo fue alta en proporción con los siguientes.

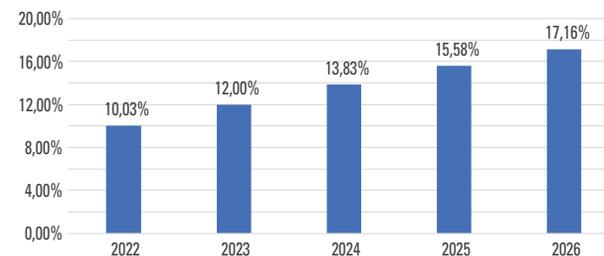


Figura 24. Rentabilidad neta

Fuente: Elaboración propia

### Nivel de endeudamiento total

El indicador muestra que los gastos financieros representan el 742 % de las ventas en el año 2022, para el año 2023 un total de 288 %, para el año 2024 un total de 205 %, para el año 2025 un total de 139 %, y para el año 2026 un total de 85 %, debido a que la financiación

en ese momento no se ha terminado de pagar. Por lo que es importante resaltar que de las ventas se deben destinar estos valores cada año para cubrir los gastos financieros, aclarando que el crédito se tomó a un plazo de 5 años.

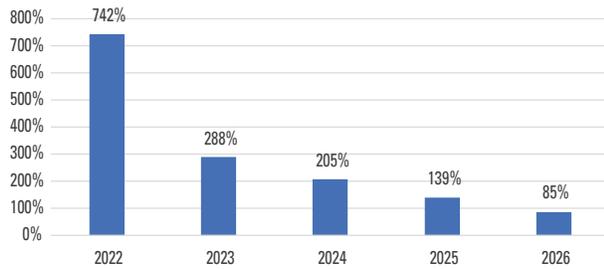


Figura 25. Nivel de endeudamiento total  
Fuente: Elaboración propia

## Rentabilidad del patrimonio

En la figura 26 se determina la rentabilidad del patrimonio, permitiendo conocer el desempeño de la empresa en la industria aeronáutica, siendo para el año 2022 de un 151 %, para el año 2023 de un 78 %, en el año 2024 de un 83 %, en el año 2025 de un 87 %, y para el año 2026 de un 90 %.

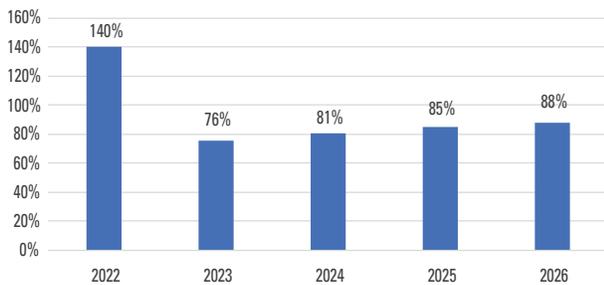


Figura 26. Rentabilidad del patrimonio  
Fuente: Elaboración propia

## Rentabilidad operacional

Para el año 2022, la rentabilidad operacional corresponde al 19,95 % de las ventas, para el año 2023 corresponde al 21,91 %, para el año 2024 corresponde al 23,76 %, para el año 2025 corresponde al 25,56 % y para el año 2026 corresponde al 27,15 %, siendo esta un incremento progresivo entre cada periodo de tiempo.

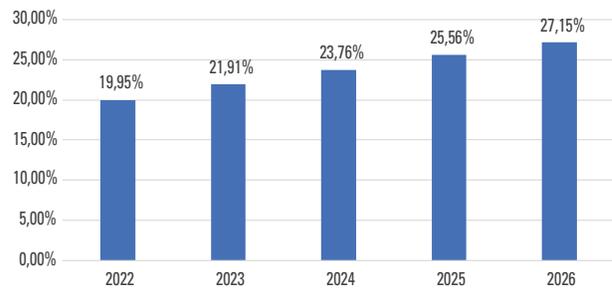


Figura 27. Rentabilidad operacional  
Fuente: Elaboración propia

## Rentabilidad del activo

Con respecto a la figura anterior muestra el plazo promedio de depreciación, el cual se determina realizando un promedio de la vida útil de los activos. La inversión en activos fijos depreciables, establecida en propiedad, planta y equipo. Por último, se establece el valor de una inversión que se realizará en el año. El crecimiento, como se muestra en la figura 47, es progresivo y positivo, siendo para el año 2022 del 16,65 %, para el año 2023 del 19,53 %, para el año 2024 del 26,47 %, para el año 2025 del 35,63 % y para el año 2026 del 47,52 %.

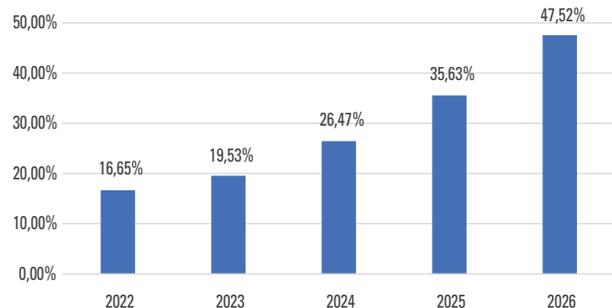


Figura 28. Rentabilidad del activo  
Fuente: Elaboración propia

## Evaluación financiera

Para la evaluación financiera del proyecto, se creó el balance general, el estado de resultados, el flujo de caja, como insumos para plantear la TIR, el VAN, el PRI y el análisis costo/beneficio.

## Balance general

Encontramos que para el año el total activo tiene un valor total de 33.692.025.479 de pesos, teniendo en cuenta que incluye las inversiones necesarias para iniciar la operación. El pasivo total para el año 0 es de 29.692.025.479 de pesos y el patrimonio suscrito se calcula en 4.000.000.000 de pesos.

## Estado de resultados

La utilidad operativa a partir del primer año de operación y, en adelante, es positiva. Se tuvo en cuenta que para el año 2022, el impuesto de renta tendrá una tarifa del 35 % y el impuesto de industria y comercio para los servicios de transportes de pasajeros es del 4,14 % por mil.

Tabla 16.  
Balance general

Balance						
	Año 0	2.022	2.023	2.024	2.025	2.026
<b>Activo</b>						
Caja/bancos	29.501.275.479	33.656.852.609	31.331.045.397	28.788.483.519	26.086.694.851	23.052.370.061
Fijo no depreciable	0	0	0	0	0	0
Fijo depreciable	4.190.750.000	4.190.750.000	4.190.750.000	4.190.750.000	4.190.750.000	4.190.750.000
Depre. acumulada	0	533.150.000	1.066.300.000	1.599.450.000	2.132.600.000	2.665.750.000
Activo fijo neto	4.190.750.000	3.657.600.000	3.124.450.000	2.591.300.000	2.058.150.000	1.525.000.000
<b>Total activo</b>	<b>33.692.025.479</b>	<b>37.314.452.609</b>	<b>34.455.495.397</b>	<b>31.379.783.519</b>	<b>28.144.844.851</b>	<b>24.577.370.061</b>
<b>Pasivo</b>						
Impuestos por pagar	0	3.021.348.895	3.923.436.069	4.911.580.769	6.019.697.285	7.202.079.521
Total pasivo corriente	0	3.021.348.895	3.923.436.069	4.911.580.769	6.019.697.285	7.202.079.521
Obligaciones financieras	29.692.025.479	24.682.027.195	19.245.678.057	13.346.695.608	6.945.709.752	0
<b>Pasivo</b>	<b>29.692.025.479</b>	<b>27.703.376.090</b>	<b>23.169.114.126</b>	<b>18.258.276.377</b>	<b>12.965.407.037</b>	<b>7.202.079.521</b>
<b>Patrimonio</b>						
Capital social	4.000.000.000	4.000.000.000	4.000.000.000	4.000.000.000	4.000.000.000	4.000.000.000
Utilidades del ejercicio	0	5.611.076.519	7.286.381.271	9.121.507.142	11.179.437.814	13.375.290.540
<b>Total patrimonio</b>	<b>4.000.000.000</b>	<b>9.611.076.519</b>	<b>11.286.381.271</b>	<b>13.121.507.142</b>	<b>15.179.437.814</b>	<b>17.375.290.540</b>
<b>Total Pas + Pat</b>	<b>33.692.025.479</b>	<b>37.314.452.609</b>	<b>34.455.495.397</b>	<b>31.379.783.519</b>	<b>28.144.844.851</b>	<b>24.577.370.061</b>
(ACT = PAS+PAT)	0	0	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia

Tabla 17.  
Estado de resultados

Estado de resultados					
	2022	2023	2024	2025	2026
Ventas	55.944.280.000	60.738.704.796	65.944.011.797	71.733.896.033	77.956.811.514
Costo ventas	21.295.892.526	23.154.491.546	25.187.455.904	27.425.361.361	29.919.697.977
<b>Utilidad bruta</b>	<b>34.648.387.474</b>	<b>37.584.213.250</b>	<b>40.756.555.893</b>	<b>44.308.534.672</b>	<b>48.037.113.537</b>
Gastos activos y ventas	10.620.020.692	10.981.101.396	11.354.458.843	11.763.219.361	12.174.932.039
Gastos fijos del periodo	12.006.000.000	12.414.204.000	12.836.286.936	13.298.393.266	13.763.837.030
Otros gastos	330.000.000	345.500.000	361.765.000	378.833.150	396.744.507
Depreciación	533.150.000	533.150.000	533.150.000	533.150.000	533.150.000
<b>Utilidad operativa</b>	<b>11.159.216.782</b>	<b>13.310.257.854</b>	<b>15.670.895.114</b>	<b>18.334.938.895</b>	<b>21.168.449.961</b>
Gastos financieros	2.526.791.368	2.100.440.514	1.637.807.203	1.135.803.796	591.079.900
<b>Utilidad antes de impuestos</b>	<b>8.632.425.414</b>	<b>11.209.817.340</b>	<b>14.033.087.911</b>	<b>17.199.135.099</b>	<b>20.577.370.061</b>
Impuestos	3.021.348.895	3.923.436.069	4.911.580.769	6.019.697.285	7.202.079.521
<b>Utilidad neta</b>	<b>5.611.076.519</b>	<b>7.286.381.271</b>	<b>9.121.507.142</b>	<b>11.179.437.814</b>	<b>13.375.290.540</b>

Fuente: Elaboración propia

## Flujo de caja

El flujo de caja operativo muestra cómo existe una progresión positiva de los ingresos, los cuales permiten apalancar el préstamo a 5 años en el pago de la deuda, permitiendo en esta línea de tiempo, contar con la recuperación de la inversión y la generación de ganancias. Es claro que la inversión inicial para el montaje de este tipo de compañías es alta, pero debido a los flujos de dinero que la operación permite generar, es una opción atractiva, máxime que los cálculos se establecieron con el escenario normal de operación a un nivel de ocupación del 85 % de la capacidad total de pasajeros (60) que el avión del ATR 72-600 puede cargar.

El flujo de caja libre del proyecto muestra la disponibilidad de dinero que podría usarse para la disminución de la deuda o para el pago de dividendos, contando con una progresión positiva, como se evidencia en la tabla 19.

Tabla 18.  
Flujo de caja, capital invertido

Flujo de caja del proyecto: capital invertido						
	Año 0	2022	2023	2024	2025	2026
Activos corrientes	29.501.275.479	33.656.852.609	31.331.045.397	28.788.483.519	26.086.694.851	23.052.370.061
Pasivos corrientes	0	3.021.348.895	3.923.436.069	4.911.580.769	6.019.697.285	7.202.079.521
<b>KTNO</b>	<b>29.501.275.479</b>	<b>30.635.503.714</b>	<b>27.407.609.328</b>	<b>23.876.902.750</b>	<b>20.066.997.566</b>	<b>15.850.290.540</b>
<b>Activo fijo neto</b>	<b>4.190.750.000</b>	<b>3.657.600.000</b>	<b>3.124.450.000</b>	<b>2.591.300.000</b>	<b>2.058.150.000</b>	<b>1.525.000.000</b>
Depre. Acumulada	0	533.150.000	1.066.300.000	1.599.450.000	2.132.600.000	2.665.750.000
<b>Activo fijo bruto</b>	<b>4.190.750.000</b>	<b>4.190.750.000</b>	<b>4.190.750.000</b>	<b>4.190.750.000</b>	<b>4.190.750.000</b>	<b>4.190.750.000</b>
<b>Total capital operativo neto</b>	<b>33.692.025.479</b>	<b>34.293.103.714</b>	<b>30.532.059.328</b>	<b>26.468.202.750</b>	<b>22.125.147.566</b>	<b>17.375.290.540</b>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 19.  
Flujo de caja libre

Cálculo del flujo de caja libre					
	Año 0	2022	2023	2024	2025
<b>EBIT</b>	11.159.216.782	13.310.257.854	15.670.895.114	18.334.938.895	21.168.449.961
Impuestos	3.905.725.874	4.658.590.249	5.484.813.290	6.417.228.613	7.408.957.486
<b>NOPLAT</b>	7.253.490.908	8.651.667.605	10.186.081.824	11.917.710.282	13.759.492.475
Inversión neta	-601.078.235	3.761.044.386	4.063.856.578	4.343.055.184	4.749.857.026
<b>Flujo caja libre - periodo</b>	<b>6.652.412.673</b>	<b>12.412.711.991</b>	<b>14.249.938.402</b>	<b>16.260.765.466</b>	<b>18.509.349.501</b>

Fuente: Elaboración propia

## Tasa Interna de Retorno (TIR)

La TIR permite conocer el retomo del dinero o la rentabilidad que se obtiene en la inversión que se aplica en el proyecto, la cual para el diseño de la aerolínea fue del **24,50 %**. La tasa esperada por los inversionistas y ajustada a la realidad que el mercado nacional ofrece, está en el 18 %.

Desde la perspectiva financiera, los analistas calculan que es buen negocio invertir en proyectos que permitan contar con una TIR que esté por el doble de la inflación del país. Analizando este panorama, encontramos que la inflación del país para el año 2022 está calculada en un 6,46 %, lo cual se esperaría que un proyecto de inversión permita como mínimo percibir una tasa superior al 12,92 %.

Esto nos permite concluir que la TIR calculada es atractiva, ajustada a la realidad y genera una perspectiva confiable para realizar una inversión de la envergadura necesaria para la creación de la aerolínea.

## Valor Actual Neto (VAN)

Permite calcular los flujos de caja futuros, los cuales son originados por la inversión del proyecto. El calculado para la creación de la aerolínea es de **6.010.910.490** de pesos, siendo este valor la ganancia o beneficio adicional sobre la inversión inicial planteada para el proyecto (4.190.750.000 de pesos), lo cual no solo es atractivo, sino que genera un rendimiento acorde al promedio de la tasa de colocación del mercado.

## Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI)

Determina el periodo de recuperación de la inversión. Para el proyecto, dicho periodo se calculó en **4,2 años**, permitiendo rápidamente recuperar la alta inversión inicial, colocando el proyecto en una perspectiva atractiva para su inversión.

## Costo Promedio Ponderado de Capital (WACC)

Es la tasa de descuento usada para descontar los flujos de caja futuros, se usa para poder valorar una organización a valor presente o a valor de mercado, dependiendo de las necesidades. Es valioso para las organizaciones llegar a su estructura de capital óptima debido a que cuando se minimiza el WACC se maximiza el valor de la empresa, aumentando las posibilidades de inversión. Da una realidad financiera para hacer una evaluación de riesgos y determinar posibles decisiones en ratios financieros. El WACC es una métrica sintética que ayuda a tomar mejores decisiones a la hora de valorar inversiones.

El resultado del WACC es un porcentaje. Para este caso del 7,01 %, que indica la tasa de descuento que vamos a utilizar para descontar los flujos de caja futuros del proyecto.

Vale la pena recordar que el WACC no es una rentabilidad exigida ni mucho menos, algunos de manera equivocada la interpretan como un costo, por el hecho de llamarse costo.

En conclusión, el WACC es básicamente la tasa a la que se le debe descontar el flujo de caja libre, para

obtener el mismo valor de las acciones que proporciona el descuento de los flujos para el accionista o socios, y generar posibles proyecciones de la rentabilidad de estos.

## Análisis de escenarios

En este desarrollo, se trabajó bajo el necesario de condiciones normales, que corresponde a la ocupación del 85 % de la capacidad total del ATR 72-600, ahora se realizarán dos análisis probables que pueden ocurrir, siendo el optimista el de la ocupación al 100 % de la capacidad de la aeronave (70 pasajeros), y un escenario pesimista con una ocupación del 65 % de la capacidad de la aeronave (46 pasajeros).

### Escenario optimista

Para este escenario se mantuvieron los precios de venta iguales, pero se modificó la cantidad de pasajeros transportados, llevándolo al 100 % de la capacidad de la aeronave ATR 72-600 (70 pasajeros). Los costos y gastos se mantienen fijos, dado que la aeronave necesita obligatoriamente la misma atención en la operación volando con 1 pasajero o con su capacidad máxima, esto debido a los protocolos establecidos en los Reglamentos Aeronáuticos de Colombia (RAC).

**Tasa Interna de Retorno (TIR):** Para el escenario optimista en la creación de la aerolínea fue del **32,35 %**. La tasa esperada por los inversionistas y ajustada a la realidad que el mercado nacional ofrece, está en el 18 %.

Esto nos permite concluir que la TIR calculada es atractiva, ajustada a la realidad y genera una perspectiva más confiable para realizar la inversión en la creación de la aerolínea.

**Valor Actual Neto (VAN):** Permite calcular los flujos de caja futuros, los cuales son originados por la inversión del proyecto. El calculado para la creación de la aerolínea es de **15.199.996.446** de pesos, siendo este un valor que cuadruplica la inversión inicial planteada para el proyecto (4.190.750.000 de pesos).

### Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI):

En este escenario se reduce a **3,5** años el periodo de recuperación de la inversión.

**Flujo de caja:** Para el escenario optimista, el flujo de caja permite analizar cómo la aerolínea contaría con los fondos suficientes para por ejemplo apalancar el alquiler de un par de aeronaves más, permitiendo la expansión de la operación y la generación de mayores ganancias para los inversionistas, como se aprecia en la tabla 20:

esperado por los inversionistas. Aunque esta es positiva, se aleja bastante de las expectativas que podrían tener quienes quisieran invertir en este proyecto, haciéndolo poco atractivo, y aún en este escenario genera ganancias.

**Valor Actual Neto (VAN):** Permite calcular los flujos de caja futuros, los cuales son originados por la inversión del proyecto. El calculado para la creación de la aerolínea es de **6.241.204.117** de pesos, siendo este

Tabla 20.  
Flujo de caja, escenario optimista

Flujo de caja del proyecto: capital invertido						
	Año 0	2022	2023	2024	2025	2026
Activos corrientes	32.006.674.599	41.640.722.288	39.410.260.684	36.968.807.399	34.396.085.155	31.479.632.701
Pasivos corrientes	0	5.086.773.044	6.182.781.983	7.380.528.366	8.722.857.390	10.151.621.445
<b>KTNO</b>	<b>32.006.674.599</b>	<b>36.553.949.245</b>	<b>33.227.478.701</b>	<b>29.588.279.033</b>	<b>25.673.227.765</b>	<b>21.328.011.255</b>
<b>Activo fijo neto</b>	<b>4.190.750.000</b>	<b>3.657.600.000</b>	<b>3.124.450.000</b>	<b>2.591.300.000</b>	<b>2.058.150.000</b>	<b>1.525.000.000</b>
Depreciación acumulada	0	533.150.000	1.066.300.000	1.599.450.000	2.132.600.000	2.665.750.000
<b>Activo fijo bruto</b>	<b>4.190.750.000</b>	<b>4.190.750.000</b>	<b>4.190.750.000</b>	<b>4.190.750.000</b>	<b>4.190.750.000</b>	<b>4.190.750.000</b>
<b>Total capital operativo neto</b>	<b>36.197.424.599</b>	<b>40.211.549.245</b>	<b>36.351.928.701</b>	<b>32.179.579.033</b>	<b>27.731.377.765</b>	<b>22.853.011.255</b>
Flujo de caja libre						
EBIT		17.273.638.101	19.942.766.075	22.863.228.507	26.154.092.072	29.645.587.644
Impuestos		6.045.773.335	6.979.968.126	8.002.129.977	9.153.932.225	10.375.955.675
<b>NOPLAT</b>		<b>11.227.864.766</b>	<b>12.962.797.949</b>	<b>14.861.098.530</b>	<b>17.000.159.847</b>	<b>19.269.631.969</b>
Inversión neta		-4.014.124.645	3.859.620.544	4.172.349.668	4.448.201.268	4.878.366.510
<b>Flujo caja libre periodo</b>		<b>7.213.740.120</b>	<b>16.822.418.493</b>	<b>19.033.448.198</b>	<b>21.448.361.115</b>	<b>24.147.998.478</b>

Fuente: Elaboración propia

**Costo Promedio Ponderado de Capital (wacc):** calculado para el proyecto en el escenario optimista es del 6,91 %.

### Escenario pesimista

Para este escenario se mantuvieron los precios de venta iguales, pero se redujo la cantidad de pasajeros transportados al 65 % de la capacidad de la aeronave ATR 72-600 (46 pasajeros).

**Tasa Interna de Retorno (TIR):** para el escenario pesimista es del **9,46 %**, estando por debajo del 18 %

un valor que apenas está por encima de la inversión inicial (4.190.750.000 de pesos).

**Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI):** En este escenario se eleva a **6,3** años el periodo de recuperación de la inversión.

**Flujo de caja:** A pesar de ser un escenario pesimista, el flujo de caja libre permite visualizar cómo se mantienen las progresiones positivas que permiten el desarrollo de la operación de la compañía, respaldando la deuda adquirida y manteniendo fondos suficientes para cubrir el total de las obligaciones, como se observa en la tabla 20:

Tabla 21.  
Flujo de caja, escenario pesimista

Flujo de caja del proyecto: capital invertido						
	Año 0	2022	2023	2024	2025	2026
Activos corrientes	26.160.743.318	23.011.693.036	20.558.758.348	17.881.385.013	15.007.507.778	11.816.019.875
Pasivos corrientes	0	267.450.030	910.974.851	1.619.650.639	2.415.483.810	3.269.356.956
<b>KTNO</b>	<b>26.160.743.318</b>	<b>22.744.243.006</b>	<b>19.647.783.498</b>	<b>16.261.734.374</b>	<b>12.592.023.968</b>	<b>8.546.662.919</b>
<b>Activo fijo neto</b>	<b>4.190.750.000</b>	<b>3.657.600.000</b>	<b>3.124.450.000</b>	<b>2.591.300.000</b>	<b>2.058.150.000</b>	<b>1.525.000.000</b>
Depreciación acumulada	0	533.150.000	1.066.300.000	1.599.450.000	2.132.600.000	2.665.750.000
<b>Activo fijo bruto</b>	<b>4.190.750.000</b>	<b>4.190.750.000</b>	<b>4.190.750.000</b>	<b>4.190.750.000</b>	<b>4.190.750.000</b>	<b>4.190.750.000</b>
<b>Total capital operativo neto</b>	<b>30.351.493.318</b>	<b>26.401.843.006</b>	<b>22.772.233.498</b>	<b>18.853.034.374</b>	<b>14.650.173.968</b>	<b>10.071.662.919</b>
Flujo de caja libre						
EBIT		3.006.655.023	4.466.913.560	6.081.117.257	7.909.401.325	9.865.599.717
Impuestos		1.052.329.258	1.563.419.746	2.128.391.040	2.768.290.464	3.452.959.901
NOPLAT		1.954.325.765	2.903.493.814	3.952.726.217	5.141.110.861	6.412.639.816
Inversión neta		3.949.650.312	3.629.609.508	3.919.199.124	4.202.860.406	4.578.511.049
<b>Flujo caja libre periodo</b>		<b>5.903.976.077</b>	<b>6.533.103.322</b>	<b>7.871.925.341</b>	<b>9.343.971.267</b>	<b>10.991.150.865</b>

Fuente: Elaboración propia

### Costo Promedio Ponderado de Capital (wacc):

El wacc calculado para el proyecto en el escenario optimista es del 7,17 %.

## Conclusiones

Luego de analizar los resultados obtenidos en la investigación, y desde la perspectiva sugerida, se demuestra que el sector viene generando un crecimiento constante en el tráfico de pasajeros a nivel nacional, con tasas por encima de las manejadas en países de características similares en la región, generando un ambiente positivo y de amplia expectativa para la incursión en el negocio del transporte aéreo.

Por otra parte, la factibilidad para la creación de la aerolínea de bajo costo regional no solo se desarrolló amplia y detalladamente en el análisis de factibilidad, sino que permitió construir el bsc, para una línea de tiempo de 5 años que apalanque el crecimiento constante de la organización y su inmersión en el

mercado aéreo nacional, además, no solo se realizó desde las encuestas aplicadas en el desarrollo del trabajo, sino que también se hace junto con los análisis financieros y económicos que determinan la oportunidad de negocio latente en el mercado.

Con respecto al estudio técnico, este permitió conocer la capacidad con la que cuenta la empresa para empezar a desarrollar las actividades, y conocer cuáles son los costos y gastos que realizará en el desarrollo del proyecto. Se planteó con base a la información recabada en el estudio de mercado, gracias a este se pudo determinar el tamaño del proyecto, el equipamiento de las áreas, el diseño, plaza, entre otros. La aerolínea ha proyectado las rutas a operar en función de varios factores. Principalmente, estas consideraciones incluyen la existencia de infraestructura aeroportuaria de calidad que, sin embargo, ha sido subutilizada (con la excepción de Medellín). Asimismo, la falta de competencia directa en estas rutas resulta ser una ventaja significativa. Vale la pena mencionar que estas rutas ya fueron operadas con éxito en el pasado por aerolíneas como Aires y Aerotaca, en las cuales resultaron ser rentables.

El sector aéreo colombiano, a pesar de estar dominado por Avianca, transportando en el año 2022 más de 24 millones de pasajeros, seguido por Latam, con tan solo 9,2 millones de pasajeros (Diario La República, 2023). Este dominio se limita a rutas de alta densidad o llamadas troncales, todas saliendo de Bogotá a destinos como Cali, Barranquilla, Medellín (Rionegro), Cartagena, Santa Marta, San Andrés, Bucaramanga, pero descuidando conexiones entre ciudades como Cali o Medellín con destinos intermedios, lo cual representa una oportunidad latente de negocio.

Se determinó que, mediante los cálculos, Colombia Regional Airlines es una empresa rentable, en el estudio financiero se detallan las inversiones con las que cuenta para empezar a desarrollar las actividades, y cuáles son los costos y gastos que realizará en el desarrollo del proyecto, además, tendrá una excelente acogida en el mercado, ya que cuenta con precios y promociones que se acoplan a la demanda del sector, sin distinción de edad y clase económica.

Los análisis financieros de base se calcularon desde un escenario normal o promedio en los estándares de la industria aeronáutica, utilizando únicamente un factor de ocupación del 80 % de capacidad de los aviones ATR 72-600, lo cual evidenció que se genera una ganancia real interesante para los inversionistas, con una perspectiva de crecimiento del negocio constante y segura.

El Aeropuerto Internacional Alfonso Bonilla Aragón de la ciudad de Cali, seleccionado como la base de operaciones, cuenta con una excelente infraestructura que actualmente está siendo ampliada, tanto en capacidad para el manejo de pasajeros como en carga, aunque actualmente esta infraestructura es subutilizada, ya que todas las aerolíneas que operan en el territorio nacional, a excepción de Gran Colombiano de Aviación (GCA), tienen como base de operaciones la ciudad de Bogotá, en el Aeropuerto Internacional El Dorado, el cual está saturado en su operación, limitado las frecuencias de los *slots*, capacidad de despegues y aterrizajes, compartiendo operación con la aviación militar y sin planes concretos de expansión.

Se recomienda para futuros estudios analizar el comportamiento del transporte de carga por vía aérea,

ya que podría ser una opción rentable para establecer como una operación complementaria el transporte aéreo de pasajeros.

También se recomienda hacer un análisis del transporte VIP o ejecutivo, ya que, a consecuencia de la pandemia, fue el único servicio que en medio de la emergencia sanitaria creció positivamente, lo cual también podría ser una línea de negocios por explotar.

## Referencias

- Betancourt, D. (2018). *Cómo hacer un análisis PESTEL*. Ingenio Empresa. <https://www.ingenioempresa.com/analisis-pestel/>
- Chavarro Cadena, J. E. (2018a). *Sistema de seguridad social integral* (2.ª ed.). Grupo Editorial Nueva Legislación SAS.
- Chavarro Cadena, J. E. (2018b). *Código sustantivo y procesal del trabajo* (5.ª ed.). Grupo Editorial Nueva Legislación SAS.
- Clark, T., & Osterwalder, A. (2009). *Business Model Generation*. Amsterdam. Modderman Drukwerk.
- Corrales, E. (2020). *Estudio de factibilidad para la creación de una agencia de viaje de bajo costo en Santiago de Cali*. Universidad del Valle.
- Diario La República. (2023, 19 de enero). *Avianca fue la aerolínea que más pasajeros transportó en 2022, con 24,6 millones*. <https://www.larepublica.co/empresas/avianca-fue-la-aerolinea-que-mas-pasajeros-transporto-con-24-6-millones-en-total-3525428>
- Findeter. (2022a, 07 de marzo). *Tasas de Redescuento*. <https://www.findeter.gov.co/productos-y-servicios-/lineas-de-credito-de-redescuento/tasas-de-redescuento#:~:text=L%C3%8DNEA%20DE%20CR%C3%89DITO%20REDESCUENTO%20%2D%20COMPROMISO%20TERRITORIOS&text=IBR%201M%20%2B%201.40%25%20M.V.,IBR%203M%20%2B%201.55%25%20>
- Findeter. (2022b, 6 de junio). *Programa Reactiva Colombia*. Impulsamos la economía dinámica, incluyente y sostenible a través de proyectos de infraestructura en sectores clave para el desarrollo del país. <https://www.findeter.gov.co/productos-y-servicios-/lineas-de-credito-de-redescuento/programa-reactiva-colombia-findeter>
- Ghiretti, G., Halbritter, F., Marón, G., Meunier, C., Miranda, M., Padín, J. N., y Potenze, P. (2020). *Los orígenes de Aerolíneas Argentinas: La posguerra y un modelo de país (1945 - 1955)*. Grupo Abierto Libros.

- Huerta, P. G. (2015). *La viabilidad financiera en el emprendimiento*. Universidad Pontificia Comillas. <http://hdl.handle.net/11531/5865>
- ISO 9001:2015. (2020). *¿Qué es el modelo de las 5 fuerzas de Porter? ¿Cómo se realiza un análisis competitivo con este modelo?* <https://www.nueva-iso-9001-2015.com/2020/05/que-es-el-modelo-de-las-5-fuerzas-de-porter-y-como-se-realiza-un-analisis-competitivo-con-este-modelo/>
- Luna, R., y Chaves, D. (2001). *Guía para elaborar estudios de factibilidad de proyectos ecoturísticos*. PROARCA/CAPAS/USAID.
- Mero-Vélez, J. M. (2018). Empresa, administración y proceso administrativo. *Revista Científica FIPCAEC (Fomento De La investigación Y publicación científico-técnica multidisciplinaria)*. *Polo De Capacitación, Investigación Y Publicación (POCAIP)*, 3(8), 84-102. <https://doi.org/10.23857/fipcaec.v3i8.59>
- Mora, J. C., & Morales, D. A. (2021). Aerolíneas bajo costo y convencionales: la satisfacción y lealtad de sus clientes. *Revista Universidad & Empresa*, 23(41), 1-26. doi: <https://doi.org/10.12804/revistas.urosario.edu.co/empresa/a.10523>
- Olariaga, Ó. D. (2021, 21 de enero). Contribución del transporte aéreo a la conectividad territorial. El caso de Colombia. *EURE*, 47(140), 117-141.
- Pensemos. (2020, 27 de noviembre). *5 fuerzas de Porter: ¿Qué son y cómo usarlas a partir de ejemplos?* <https://gestion.pensemos.com/5-fuerzas-de-porter-que-son-como-usarlas-ejemplos>
- Secretaría del Senado. (1971, 27 de marzo). Decreto 410 de 1971. *Por el cual se expide el Código de Comercio*. Diario Oficial No. 33339 [http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/codigo\\_comercio.html](http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/codigo_comercio.html)
- Secretaría del Senado. (2008). Ley 1258 de 2008. *Por medio de la cual se crea la sociedad por acciones simplificada*. Diario Oficial No. 47194. [http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley\\_1258\\_2008.html](http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1258_2008.html)
- Tamayo, M. T. (2014). *El proceso de la investigación científica* (5.ª ed.). Limusa.
- The Power MBA. (2020). *Las 5 fuerzas de Porter: análisis de las fuerzas competitivas de una empresa*. <https://www.thepowermba.com/es/business/las-5-fuerzas-de-porter/>
- Thomas, L. y Wheelen, J. D. (2013). *Administración estratégica y política de negocios* (13.ª ed.). Pearson.
- Trenza, A. (2020, 19 de febrero). Análisis PESTEL: *Qué es y para qué sirve*. <https://anatrencia.com/analisis-pestel/>
- Unidad Administrativa Especial de la Aeronáutica Civil (UAEAC). (2020, 9 de septiembre). RAC. Aeronáutica Civil. <https://www.aerocivil.gov.co/autoridad-de-la-aviacion-civil/reglamentacion/rac>

# Estrategia pedagógica disruptiva para fortalecer la disciplina militar y el comportamiento ético: Una mirada al interior de la Escuela de Suboficiales de la Fuerza Aérea Colombiana

Fecha de recibido: 21 de febrero 2023	Fecha de aprobado: 18 de mayo 2023
Reception date: February 21, 2023	Approval date: May 18, 2023
Data de recebimento: 21 de fevereiro de 2023	Data de aprovação: 18 de maio de 2023

## Víctor Miguel Quintero Patiño

<https://orcid.org/0000-0002-5842-8224>  
miguelquintero70@gmail.com

Ph.D. (c) Economía y Finanzas  
Profesor Catedrático – Pontificia Universidad Javeriana, Colombia  
Rol del investigador: teórico y escritura  
Grupo de investigación Praxis Educativa

Ph.D. (c) Economics and Finance  
Professor – Pontificia Universidad Javeriana, Colombia  
Role of the researcher: theorist and writer  
Praxis Educativa research group

Ph.D. (c) Economia e Finanças  
Professor – Pontificia Universidad Javeriana, Colômbia  
Papel do investigador: teórico e escritor  
Grupo de investigação Praxis Educativa

**Cómo citar este artículo:** Quintero Patiño, V. M. (2023). Estrategia pedagógica disruptiva para fortalecer la disciplina militar y el comportamiento ético: Una mirada al interior de la Escuela de Suboficiales de la Fuerza Aérea Colombiana. *Ciencia y Poder Aéreo*, 18(2), 147-163. <https://doi.org/10.18667/cienciaypoderaereo.773>



**Estrategia pedagógica disruptiva para fortalecer la disciplina militar y el comportamiento ético: Una mirada al interior de la Escuela de Suboficiales de la Fuerza Aérea Colombiana**

**Disruptive pedagogical strategy to strengthen military discipline and ethical behavior: an insight into the Colombian Air Force Non-Commissioned Officer School**

**Estratégia pedagógica disruptiva para fortalecer a disciplina militar e o comportamento ético: Um olhar para o interior da Escola de Suboficiais da Força Aérea Colombiana**

**Resumen:** La investigación que origina este artículo propone una estrategia pedagógica novedosa y disruptiva, con el fin de fortalecer el valor de la disciplina militar y el comportamiento ético de los estudiantes de la Escuela de Suboficiales de la Fuerza Aérea Colombiana. Esta fue de tipo cualitativo descriptivo, con un enfoque interpretativo, utilizando observación participante declarada, en ella, el autor asistió a clases del núcleo humanístico, el tiempo de observación, en promedio, fue de una hora y en escenarios diversos (aula y campo abierto), se hizo especial énfasis en observar las estrategias pedagógicas empleadas por los docentes y la respuesta de los estudiantes, se evidenció apatía en los que aprenden y debilidades metodológicas en los que enseñan, por lo que la validación de expertos de la propuesta resultó positiva por la vinculación permanente de herramientas virtuales de aprendizaje.

**Palabras clave:** comportamiento ético; disciplina militar; distensión; estrategias pedagógicas; herramientas virtuales; retroalimentación.

**Summary:** The research that originated this article proposes a novel and disruptive pedagogical strategy to strengthen the value of military discipline and ethical behavior of students at the Colombian Air Force Non-Commissioned Officer School. This was a descriptive qualitative research with an interpretative approach using declared participant observation. The author attended classes in the humanistic core, with an average observation time of one hour in various settings (classroom and open field). Special emphasis was placed on observing the pedagogical strategies used by teachers and the response of students. Apathy was evident in the learners and methodological weaknesses in the teachers. The validation of the proposal by experts was positive due to the permanent integration of virtual learning tools.

**Keywords:** Ethical behavior; military discipline; distension; pedagogical strategies; virtual tools; feedback.

**Resumo:** A pesquisa que originou este artigo propõe uma estratégia pedagógica nova e disruptiva para fortalecer o valor da disciplina militar e o comportamento ético dos estudantes da Escola de Suboficiais da Força Aérea Colombiana. Foi uma pesquisa descritiva qualitativa com uma abordagem interpretativa, utilizando observação participante declarada. O autor assistiu a aulas do núcleo humanístico, com um tempo médio de observação de uma hora e em cenários diversos (sala de aula e campo aberto). Foi dada especial ênfase em observar as estratégias pedagógicas utilizadas pelos professores e a resposta dos estudantes. Ficou evidente a apatia dos aprendizes e as fraquezas metodológicas dos que ensinam, de modo que a validação da proposta pelos especialistas foi positiva devido à inclusão permanente de ferramentas virtuais de aprendizagem.

**Palavras chave:** comportamento ético; disciplina militar; distensão; estratégias pedagógicas; ferramentas virtuais; feedback

## Introducción

La Fuerza Aérea Colombiana ejerce y mantiene el dominio del espacio aéreo, conduce operaciones aéreas, para la defensa de la soberanía, la independencia, la integridad del territorio nacional, el orden constitucional y el logro de los fines del Estado. Además, tiene la responsabilidad de formar oficiales y suboficiales para el cumplimiento de los objetivos institucionales, bajo los más estrictos parámetros de formación militar y académica, para ello se cuenta con un modelo pedagógico que está dirigido a las escuelas de formación y unidades educativas que conforman el Sistema Educativo de la Fuerza Aérea.

La educación en las instituciones de educación superior de la Fuerza Aérea Colombiana está regida por la Ley n.º 30 de 1992, tal y como lo establece el artículo 1:

De acuerdo con la Ley n.º 30 (1992), la educación superior es un proceso permanente que posibilita el desarrollo integral de las potencialidades del ser humano y se lleva a cabo después de la educación media o secundaria, con el propósito de lograr el pleno desarrollo de los estudiantes y su formación académica o profesional.

Por otro lado, el SEFAC (2014) establece que todos los procesos de la institución están enmarcados en el modelo pedagógico institucional, el cual se enfoca en responder a los interrogantes del quehacer educativo, incluyendo el qué, por qué, para qué, con quién y cómo. Este modelo permite el cumplimiento de la misión de las escuelas de formación y unidades educativas.

La educación de los alumnos y suboficiales de la Fuerza Aérea Colombiana se rige desde el Proyecto Educativo de las Fuerzas Armadas (PEFA), en el año 2007 se definieron los lineamientos estratégicos para desarrollar de manera articulada la educación de las Fuerzas Armadas en Colombia, siguiendo la normatividad establecida desde el Ministerio de Educación Nacional, pero conservando la esencia de la profesión militar para garantizar la misión establecida desde la Constitución Política Nacional, de igual forma, la Fuerza Aérea Colombiana le da un lugar preponderante a la educación dentro de su Plan Estratégico

Institucional (PEI) 2011-2030, así como el Plan Estratégico del Sistema Educativo de las Fuerzas Armadas (PESE) 2007-2019, estableciendo rutas que consoliden la formación del militar, de acuerdo con su rol dentro de las instituciones.

El Proyecto Educativo Institucional del Sistema Educativo de la Fuerza Aérea Colombiana (2014), determina las características específicas que requieren los miembros de la Fuerza Aérea para el cumplimiento de la misión desde las distintas especialidades.

Ahora bien, el objetivo de la Escuela de Suboficiales FAC “Ct. Andrés M. Díaz”, es el de preparar a los suboficiales de la Fuerza Aérea Colombiana para cumplir con las demandas específicas de la organización, a través de ocho programas académicos. La institución es una universidad tecnológica acreditada en alta calidad por el Consejo Nacional de Acreditación.

Por otro lado, la Iniciativa Estratégica E4 (Evolución Educativa con Excelencia - ESUFA) implementada recientemente en la escuela de suboficiales, estableció una ruta continua y ascendente que le permite a los alumnos y alumnos suboficiales obtener una educación formal, en la medida que son promovidos dentro de su carrera, a través del reconocimiento de los saberes adquiridos dentro de su desempeño como militares y la formalización del Modelo de Extensión y Educación Continua (MEEC).

De acuerdo con cifras de la Dirección de Incorporación y Control de Reservas FAC, el origen de las personas que hacen parte de la Fuerza Aérea Colombiana, está asociado mayoritariamente a los estratos socioeconómicos 1, 2 y 3, la diversidad cultural es tan amplia, que en un mismo escenario convergen estudiantes de cada rincón del país, con costumbres, hábitos, conductas y religiones disímiles, que en las estrictas circunstancias del contexto generan un extenso matiz de conflictos, que a veces puede ser extremadamente complejo de manejar, aspecto que se explica a continuación, desde la postura de Perilla (2018):

Por lo tanto, se comprende que la dimensión social involucra a individuos con infinitas características personales distintas y diversas. Sin embargo, esta diversidad se pierde cuando la dimensión social se basa

en el argumento de la mayoría y descuida las características específicas de cada persona. (p. 27)

Las personas que toman la decisión de vida de hacer parte de la Fuerza Aérea Colombiana, en muchos casos no son conscientes de la responsabilidad que exige su rol como miembro de una de las instituciones que vela por el bienestar de todos los colombianos, es por ello que frecuentemente es difícil moldear su actuar para enfrentar situaciones complejas, de acuerdo con lo ordenado desde la normatividad institucional y constitucional, evidenciado en el número de investigaciones asociadas a la falta de interiorización de un valor fundamental como la disciplina; de acuerdo con la información suministrada por la Jefatura Jurídica de la Fuerza Aérea Colombiana, y resultado de una investigación realizada por estudiantes de la Tecnología en Gestión de Recursos Aéreos, en donde se caracterizan las faltas más recurrentes en las que se ven involucrados los suboficiales durante sus primeros años de servicio en el ejercicio profesional.

Así mismo, la dimensión normativa no se restringe exclusivamente a la perspectiva del positivismo jurídico, sino que abarca una visión más crítica y flexible de la regulación de comportamientos (Perilla, 2018, p. 28). La toma de decisiones en el ejercicio profesional de los miembros de la Fuerza Aérea, en términos generales, está asociada a la normatividad que regula cada una de sus acciones, sin embargo, es “normal”, sin que ello signifique que sea correcto, que el comportamiento ante situaciones complejas no corresponda a lo que la norma exige y, por el contrario, se asumen posturas individuales, personales, que pueden afectar el cumplimiento de la misión institucional.

Teniendo en cuenta lo anterior, se pretende evidenciar que existen oportunidades de mejora en las estrategias pedagógicas sobre las cuales se aborda el aprendizaje en el núcleo humanístico durante el proceso de formación en la escuela militar, esto podría traducirse en comportamientos inadecuados de algunos de los suboficiales recién egresados durante su año de prueba en la Fuerza Aérea, que están lejos de cumplir con estándares éticos.

Para dar elementos de corroboración y sustentación más precisos de lo antes mencionado, se señalan algunos datos oficiales de la organización que se pueden sintetizar en que los esfuerzos institucionales y académicos no son suficientes para impactar positivamente el comportamiento ético de la totalidad de los estudiantes de la Escuela de Suboficiales FAC, teniendo en cuenta que en su ejercicio profesional las cifras proporcionadas por la Jefatura Jurídica FAC, en su investigación titulada: “Caracterización de las faltas disciplinarias recurrentes de los aerotécnicos de la Fuerza Aérea Colombiana durante el año de prueba”, García et al. (2018), examinan la tendencia de ciertas faltas disciplinarias que se repiten en el primer año de los aerotécnicos egresados de la escuela. Por ejemplo, durante el periodo comprendido entre los años 2010 y 2017, se iniciaron un total de 20 investigaciones por la falta de puntualidad en el servicio o presentaciones obligatorias, 19 investigaciones por el incumplimiento de órdenes que afectan gravemente la prestación del servicio, una actividad o el éxito de las operaciones, y 13 investigaciones por estar bajo los efectos del alcohol o sustancias ilícitas durante los actos del servicio, solo por mencionar algunas. Todo lo anterior en contravía de los principios y valores que se pretenden inculcar durante el proceso de formación.

Dicho lo anterior, el autor se planteó una pregunta concreta para resolver durante el proceso investigativo: ¿Qué estrategia pedagógica permite mejorar el valor de la disciplina militar y el comportamiento ético desde la formación del núcleo humanístico de los estudiantes de la Tecnología en Gestión de Recursos Aéreos de la Escuela de Suboficiales de la Fuerza Aérea Colombiana?

Durante el proceso de validación de la estrategia propuesta dentro de la investigación, se logró evidenciar que el uso de herramientas virtuales de aprendizaje se traduce en una mejora sustancial en el comportamiento de los estudiantes en el aula de clase, su atención y su participación permitieron incrementar sus resultados cuantitativos, así como el ambiente en general dentro de las actividades académicas y extracurriculares.

## Marco teórico y conceptual

El autor tuvo en cuenta tres categorías principales para la construcción del marco teórico y desde el cual estructura toda la propuesta, en primer lugar dentro del Comportamiento Ético se tuvo como referente la obra de Adela Cortina, específicamente su libro sobre la “Ética mínima” en donde fundamenta la idea del saber práctico desde cuatro dimensiones específicas, moral política, derecho y religión, sin embargo, está enriquecido por diversas posturas conceptuales, incluidas las más clásicas propuestas por Aristóteles en la *Ética a Nicómaco*.

En relación con la estrategia pedagógica, el autor incorporó el constructivismo en el marco de una educación militar conservadora y tradicional. Para ello, se analizaron los conceptos de Piaget, Vygotsky y, más recientemente, de Montessori. En cuanto a la disciplina militar, el autor tomó en cuenta los aspectos principales de la normatividad castrense y las bases teóricas conductistas de Skinner y Pávlov. Además, se consideraron los conceptos propuestos por Estanislao Zuleta, quien defiende la disciplina necesaria como parte de la educación, sin que ello signifique una educación sin normas.

## Comportamiento ético

Varios son los autores que han definido el comportamiento ético de las personas en contextos particulares, desde la antigüedad, Aristóteles, Sócrates y Platón, generaron discusiones alrededor del comportamiento ético sobre cuándo la relación de los individuos debía estar regida por un comportamiento basado en estándares de conducta y valores, que les permitieran vivir en sociedad. Etimológicamente, la palabra ética viene del griego *ethos* y significa, análogamente, modo de ser o carácter, como modo de vida también adquirido o conquistado por el hombre.

Coutinho Arruda (2017, p. 44), ratifica el concepto afirmando que la principal fuente de la ética “es la realidad humana, en la cual la razón encuentra y conoce los principios morales, universales y ciertos”. De

acuerdo con Aristóteles, según la *Ética a Nicómaco*, todas las acciones humanas se realizan con un propósito específico, y este propósito se identifica con el bien que se busca. Sin embargo, muchas de estas acciones son meramente un medio para alcanzar otro fin o bien. Por ejemplo, una alimentación saludable es un medio para mantener una buena salud. Sin embargo, ¿existe un fin último más allá de la salud? ¿Existen bienes que se persiguen por sí mismos, sin ser considerados medios para alcanzar otros bienes? ¿Es por eso que se popularizó la frase “el fin justifica los medios”? Gómez (1979), dice:

Desde Aristóteles, que fue quien la constituyó en disciplina independiente, suele entenderse por ética, la parte de la filosofía que mira al valor de la conducta humana: no al hacer, sino al obrar; al bien y al mal, en suma, sin ulterior calificación. (p. 17)

Desde una perspectiva enfocada a la educación, es importante tener en cuenta los conceptos aportados por Arana (2006):

Para lograr una formación profesional completa e integral, es necesario transformar la concepción de los perfiles profesionales y, por ende, de los programas académicos, así como las estructuras que los supervisan, como los colectivos docentes, las asignaturas y las formas de dirección. También se requiere definir nuevos conceptos y principios de formación que permitan una visión pedagógica centrada en los procesos universitarios interrelacionados, enfocados en el desarrollo de la personalidad del estudiante. Esto implica no solo adquirir conocimientos y habilidades, sino también los valores esenciales de la profesión. En resumen, la formación integral exige una concepción pedagógica renovada que atienda a la formación completa de los estudiantes, con un enfoque en el desarrollo de valores y habilidades esenciales para su futuro profesional. (p. 235)

En la *Ética a Nicómaco*, Aristóteles (1979) define la virtud como: Un hábito electivo que consiste en un término medio relativo a nosotros, regulado por la

recta razón en la forma en la que lo regularía un hombre verdaderamente prudente. Es un medio entre dos vicios, uno por exceso y otro por defecto, y también por no alcanzar, en un caso, y sobrepasar en otro, lo necesario en las pasiones y acciones, mientras que la virtud encuentra y elige el término medio. Por eso, de acuerdo con su entidad y con la definición que establece su esencia, la virtud es un término medio, pero con respecto a lo mejor y al bien, es un extremo.

En su obra, Cortina (1996) argumenta que Kant, a finales del siglo XVIII, propuso una nueva manera de entender la moralidad, destacando la importancia de los fines morales que los seres humanos pueden elegir libremente, en lugar de aquellos que se les imponen por la naturaleza. Así mismo, Kant (1995) subraya la importancia de la conciencia que tienen las personas de que hay mandatos que deben seguirse, y que se aplican en función del respeto a lo que se considera valioso por sí mismo. En resumen, según Cortina, Kant propone una nueva perspectiva moral que enfatiza la libertad humana para elegir los fines morales, la importancia de la conciencia moral y el respeto por los valores intrínsecos (p. 26). A continuación, se puede ver de forma más clara:

Quando emitimos mandatos éticos, como “no matar” o “no ser hipócrita”, no lo hacemos en función de si esto nos hace felices o no, sino porque actuar de manera contraria sería inhumano y contrario a nuestra propia humanidad. Aquellos que actúan de manera contraria a estos mandatos no están actuando como seres auténticos y completos. Estos mandatos surgen de nuestra propia razón, la cual nos proporciona leyes que debemos seguir. Esta razón práctica orienta nuestra acción de manera incondicionada, lo que significa que no depende de factores externos a nosotros. Un ser humano que es capaz de darse leyes a sí mismo es un ser autónomo (Cortina, 1996, p. 27).

De esta manera, Cortina (1995) en su artículo “La educación del hombre y del ciudadano”, afirma:

Efectivamente, para Hobbes el ser humano es egoísta por naturaleza y busca siempre su propio beneficio. Por lo tanto, la única forma de lograr que las personas obedezcan las normas y leyes es a través de un

contrato social que establezca las reglas del juego y las sanciones correspondientes en caso de incumplimiento. En otras palabras, se trata de crear un sistema en el que el egoísmo individual se vea beneficiado por la cooperación y el cumplimiento de las normas morales. De esta manera, la motivación para obedecer no se basa en una conciencia moral, sino en una calculada conveniencia propia. (p. 44)

También, indica Cortina (2000), en su libro *Ética mínima*, que la ética no se limita a ser una serie de prescripciones morales o actitudes a adoptar frente a ciertos problemas. Es una disciplina filosófica que busca comprender y reflexionar sobre los fundamentos de la moralidad y los valores que orientan la acción humana. En este sentido, la ética se ocupa de cuestiones más amplias y abstractas que las prescripciones morales, como la naturaleza del bien y del mal, la libertad y la responsabilidad moral, la justicia y la igualdad, entre otros temas. Por lo tanto, la ética es fundamental para formar ciudadanos críticos y reflexivos, capaces de analizar y cuestionar los valores y principios que rigen nuestra sociedad (p.17).

Continúa explicando Cortina (2000) la mirada que desde el exterior se le da a un tema tan importante como el del objeto de esta investigación, el comportamiento ético como base fundamental para la transformación social. Según el autor, es preocupante que la ética haya sido objeto de tanta confusión y desorientación en los planes de estudios del bachillerato. La falta de claridad en cuanto a su contenido y objetivos, y la confusión con la religión y la moral, han llevado a posiciones extremas que van desde la exigencia de su eliminación hasta la renuncia a enseñarla. Sin embargo, es importante destacar que la ética no se trata de inculcar actitudes, sino de enseñar a los estudiantes a pensar críticamente sobre los valores y principios que rigen la conducta humana y a reflexionar sobre el significado y la justificación de las normas morales. De esta manera, la ética puede ser una herramienta valiosa para la formación integral de los estudiantes y su desarrollo como personas responsables y reflexivas (p. 17).

Cortina y Martínez (1996) establecen varios tipos de ética, algunos de ellos son los de máximos y

mínimos, de bienes y de fines, de intención y de responsabilidad, sustanciales y procedimentales, entre otros, lo que permite evidenciar lo complejo del concepto y las dificultades que implica el abordaje del tema. De este modo, el autor considera que lo dicho por Cortina genera una base esencial para el desarrollo del trabajo investigativo, toda vez que es un referente que impacta asertivamente en la idea inicial del investigador.

De acuerdo con Pellicer (2010), la ética es la moral vivida, por lo tanto moral y ética son dos conceptos que deben ir siempre de la mano, en su trabajo de investigación, la autora toma tres conceptos fundamentales sobre ética; uno de ellos es la ética fundamental que se concentra en el razonamiento que debe tener la reflexión ética; también habla de la ética de la persona, que no es otra cosa que los dilemas en éticos en los que se sumerge un individuo cuando entra a interactuar con sus semejantes; finalmente expone el concepto de ética sociopolítica, que pese a que también está relacionada con el intercambio de ideas entre personas, específicamente se ocupa de la dinámica política, de las relaciones laborales y comerciales, de la ética que deberían tener los medios de comunicación masificados como la televisión, la radio y las redes sociales.

## Estrategias pedagógicas

Continuando con la definición de pedagogía, es importante señalar su impacto en la educación superior. Según Díaz-Barriga y Hernández (2002), la pedagogía universitaria es un área de conocimiento que se enfoca en el estudio y mejora de los procesos de enseñanza y aprendizaje en el nivel superior. Esta disciplina se encarga de analizar y diseñar estrategias pedagógicas que permitan a los estudiantes desarrollar habilidades y competencias necesarias para su formación profesional y personal.

En el ámbito de la educación superior, las estrategias pedagógicas se centran en la enseñanza de habilidades específicas, el desarrollo de competencias profesionales y la formación integral de los estudiantes. Por lo tanto, es necesario que los docentes universitarios conozcan y apliquen diversas estrategias

pedagógicas para lograr los objetivos de aprendizaje propuestos en cada curso.

En la educación superior se utilizan diversas estrategias pedagógicas para mejorar el proceso de enseñanza y aprendizaje y fomentar la participación de los estudiantes. Entre las estrategias más populares se encuentran el aprendizaje basado en problemas, el aprendizaje cooperativo, el aprendizaje autónomo, la gamificación y el uso de tecnología educativa. Cada una de estas estrategias tiene un objetivo específico y busca desarrollar habilidades y competencias en los estudiantes, para que sean capaces de enfrentar desafíos en su futuro profesional.

En resumen, la pedagogía universitaria es una disciplina esencial para la educación superior, ya que permite a los docentes diseñar e implementar estrategias pedagógicas efectivas para lograr los objetivos de aprendizaje propuestos en cada curso, y para formar a los estudiantes de manera integral.

Nassif (1958), sostiene que la pedagogía debe hacer referencia a la educación en todas sus formas, niveles, circunstancias y aspectos, considerándola tanto como una teoría y práctica científica, como una influencia intencional y una realidad para la vida del individuo. La educación es una actividad intencional que debe ser regulada, dirigida o conducida por la pedagogía, pero al mismo tiempo es un hecho real o un dato que debe ser descrito, explicado o comprendido. Por lo tanto, la práctica docente no puede establecer un solo camino a seguir, ya que todos los elementos de la educación son esenciales y deben ser analizados, cuestionados o solucionados.

En una perspectiva diferente, Flórez (2005) describe la pedagogía como un conocimiento riguroso sobre la enseñanza estructurada, que es una disciplina científica en evolución en el siglo xx; destacando que, en la actualidad, no se debe confundir la pedagogía con términos similares como la didáctica, la educación y la enseñanza, como solía suceder en el pasado.

Para desarrollar el proceso de enseñanza y aprendizaje, el docente tiene la posibilidad de emplear un sinnúmero de alternativas pedagógicas que le permite interactuar con los estudiantes para incentivar su participación, motivación e interés por los contenidos

de las asignaturas, con el objetivo de transmitir su conocimiento de forma significativa (Pérez y Salamanca, 2017). La afirmación anterior, implica necesariamente una amplia estructura profesional del docente, para ser capaz de convertir los saberes y experiencias en aprendizaje significativo en sus estudiantes, en ese orden de ideas, el diseño de estrategias para la educación en el aula de clase debe apuntar a un objetivo muy puntual, teniendo en cuenta las necesidades e intereses de la población y sus particularidades específicas. En lo referente a las teorías pedagógicas, son muchos los autores que han promovido sus puntos de vista sobre las estrategias que debe emplear el docente en su práctica educativa, puntualmente, orientadas hacia el proceso de enseñanza y aprendizaje. El enfoque tradicional, enfatiza el protagonismo en el docente, teniendo en cuenta que es quien realiza la exposición de las unidades temáticas y desarrolla desde su saber y entender las actividades al interior del aula de clase; así las cosas, la participación del estudiante es simplemente la de un actor pasivo que debe interiorizar los conocimientos transmitidos por este. Según Ferreire (1953), dicho enfoque ha sufrido grandes transformaciones con la implementación de las estrategias propuestas desde la escuela nueva, dentro de la cual se promueve una primordial atención en los intereses y necesidades de los estudiantes y una educación orientada a la toma de decisiones responsables en el marco del uso de la libertad personal.

Coll (2001), presenta diferentes puntos de vista sobre la pedagogía, en particular, en relación con las teorías constructivistas y conductistas. El autor utiliza la psicología como una herramienta para responder a las preguntas relacionadas con la educación más adecuada para los estudiantes.

Desde una perspectiva pedagógica, Piaget nos brinda un enfoque completamente filosófico a través de toda su obra, para Piaget (1979), el modelo de pensamiento significa la finalización del desarrollo, es decir que solo cuando se es adulto se tiene acceso a él. El autor, desde su formación en biología, concibe la inteligencia humana como una construcción que se fortalece a través de un ejercicio adaptativo que está íntimamente relacionado con el entorno dentro del

cual cada individuo trata de adaptarse. Sin duda en el desarrollo de la investigación, para el autor ha sido fundamental los conceptos de los distintos autores que se han ocupado de profundizar todo lo referente a la educación en valores, al respecto, Arana (2006) expone que los valores no se pueden enseñar y mucho menos aprender de la misma manera que los conocimientos o las habilidades técnicas, y que definitivamente no es en las instituciones educativas el único lugar donde se pueden fortalecer, y continúa argumentando que son tres las condiciones para la educación en valores:

Para lograr una educación de calidad, es fundamental considerar tres aspectos. En primer lugar, es esencial conocer al estudiante en profundidad, incluyendo sus intereses, valores y motivaciones, así como su proyecto de vida. En segundo lugar, es necesario tener en cuenta el contexto ambiental en el que el estudiante se desenvuelve, para comprender sus posibilidades de acción y adaptación. Por último, es fundamental definir un modelo ideal de educación que tenga en cuenta las necesidades y características del estudiante y del contexto en el que se desenvuelve. Además, es importante destacar la relevancia de una formación en valores adecuada y su impacto en la vida de las personas. Por lo anterior:

- Desarrolla la capacidad valorativa en el individuo y permite reflejar adecuadamente el sistema objetivo.
- Desarrolla la capacidad transformadora y participativa con significación positiva hacia la sociedad.
- Desarrolla la espiritualidad y la personalidad hacia la integralidad y el perfeccionamiento humano.
- Transforma lo oficialmente instituido a través de las normas morales, los sistemas educativos, el derecho, la política y la ideología.

También es importante tener en cuenta los aportes que se hicieron en la V Conferencia Iberoamericana de Educación, llevada a cabo en Buenos Aires (Argentina), los días 7 y 8 de septiembre de 1995, allí se estableció que para la formación en valores y equidad para un mundo que está en permanente cambio, era

imprescindible desarrollar políticas que permitan contrarrestar la desigualdad de oportunidades, y otorguen mayor acceso a posibilidades, contribuyendo de esta manera a la disminución de las brechas sociales.

Se deben tomar medidas específicas para garantizar que las mujeres tengan igualdad de oportunidades educativas y oportunidades productivas, para que los jóvenes se integren plenamente a la ciudadanía, para compensar las deficiencias de los sectores de la población marginados y con menos recursos, para que las poblaciones indígenas puedan autoidentificarse cultural y lingüísticamente y para valorar el pluralismo cultural y la convivencia multiétnica de las poblaciones migrantes. Todo esto debe hacerse dentro del marco de contenidos y actividades de aprendizaje que fomenten la formación de ciudadanos solidarios en lo social, participativos y tolerantes en lo político, productivos en lo económico, respetuosos de los derechos humanos y conscientes del valor de la naturaleza. La OEI (2001), ha abordado cuidadosamente el tema de la educación en valores en su documento: “La educación, la ciencia y la cultura”, destacando la importancia de los actores involucrados en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Educación en valores, ciudadanía y democracia implica compromiso y participación en un proyecto humano que busca mejorar las condiciones sociales, culturales, políticas y pedagógicas para alcanzar una sociedad basada en la felicidad, la justicia, la libertad y la dignidad humana.

Para fortalecer los procesos educativos y lograr que la pedagogía tenga un impacto duradero en los estudiantes, es necesario desarrollar estrategias efectivas que permitan la interiorización de valores, en ese sentido, es importante resaltar lo expresado por la OEI (2001): En primer lugar, es importante señalar que la educación se entiende como una relación comunicativa que optimiza a la persona como sistema, y esta optimización se logra a través de dos vías: la comunicativa y la metacomunicativa. La primera implica el contenido explícito de los mensajes y la segunda permite mostrar las estructuras del discurso en las que los mensajes adquieren significación. Esta doble vía es fundamental en la educación en valores éticos y morales, y algunos

autores la comparan con la diferenciación entre currículo manifiesto y oculto. Es en este dominio de la educación donde la doble vía de aprendizaje se presenta de manera más específica y con mayor potencial.

Desde la OEI se han planteado diversas estrategias que servirán de insumo fundamental para consolidar el trabajo de investigación, es por esta razón, que el autor recoge algunos de los conceptos que, desde esa organización, se han propuesto con el fin de conseguir una verdadera transformación en el comportamiento de las personas y, en su relación con el entorno.

## Disciplina militar

Según el Diccionario de la Real Academia de la Lengua Española (2001), se define la disciplina, especialmente en la milicia y en los estados eclesiásticos secular y regular, como la observancia de las leyes y ordenamientos de la profesión o instituto.

Por otro lado, la Ley n.º 1862 del 4 de agosto de 2017, mediante la cual se establecen las normas de conducta del militar colombiano, en su artículo 2 y 3 precisa lo siguiente:

Comportamiento militar. El militar ajustará su comportamiento a la ética, disciplina, condición, principios, valores y virtudes característicos de las Fuerzas Militares. Parágrafo. La formación en ética militar es obligatoria y corresponde al Comando General de las Fuerzas Militares, liderar, orientar y desarrollar planes de formación permanente, programas de capacitación, actualización y profundización en ética militar.

Disciplina militar. Es el conjunto de normas de conducta que el militar debe observar en el ejercicio de su carrera, condición esencial para la existencia de las Fuerzas Militares. Es el factor de cohesión que obliga a mandar con responsabilidad y a obedecer lo mandado, será practicada y exigida en las Fuerzas Militares como regla de actuación. Tiene su expresión colectiva en el acatamiento a la Constitución y su manifestación individual en el cumplimiento de las órdenes recibidas; contrarresta los efectos disolventes de la lucha, crea íntima cohesión y permite al superior exigir y obtener del subalterno que las órdenes sean ejecutadas

con exactitud y sin vacilación. Implica la observancia de las normas y órdenes que consagra el deber profesional. (pp. 1-2)

En ese sentido, al respecto del concepto de disciplina, el Código de Ética Militar Aérea (2017), en su título II, artículo 3, la define de la siguiente manera:

Es la condición esencial para la existencia de toda fuerza militar y consiste en mandar y obedecer dentro de las atribuciones del superior y las obligaciones y deberes del subalterno. La disciplina motiva la observancia de las órdenes con exactitud y sin vacilación, el cumplimiento de los propios deberes y la actitud de ayudar a los demás a cumplir los suyos. (p. 5)

Basado en lo anterior, el autor hará énfasis especial en el concepto desde una mirada conductista bajo los planteamientos de Pávlov y Skinner.

De acuerdo con Plazas (2006), luego de su intento fallido de convertirse en escritor, hacia 1926 Skinner empieza a darle vida a lo que después se conocería como conductismo, con el objetivo de intentar entender el comportamiento humano, acompañado de los escritos de Jaques Loeb, Bertrand Russell, J. B. Watson, Pávlov, y trayendo de sus primeros años de vida una importante influencia de Francis Bacon.

El principal objetivo que orientó la investigación de Skinner fue su intención de encontrar orden en los acontecimientos que ocurren al interior de una sociedad, y en particular el que más le interesaba era la llamada “conducta voluntaria”, que Marshall Hall había diferenciado de aquella involuntaria, porque tenía origen en el sistema nervioso central y no era generada directamente por algún estímulo identificable (Skinner, 1975).

Plazas (2006), pone de manifiesto que, de acuerdo con Skinner (1975), este afirmó:

Jamás me enfrenté con un problema que fuera más allá del problema eterno de encontrar el orden. Jamás abordé un problema a través de la elaboración de una hipótesis. Jamás deduje teoremas ni los sometí a prueba experimental. Que yo sepa, no tuve un modelo

preconcebido de conducta, evidentemente ni fisiológico ni mentalista y, creo yo, tampoco conceptual. (pp. 124-125)

Por otro lado, los estudios de Iván Pávlov han permitido entender el aprendizaje asociativo a través del condicionamiento clásico, que consiste en agrupar un estímulo inicialmente neutro con un estímulo significativo. De esta forma, cuando se haga evidente el estímulo neutro, en ausencia del otro estímulo, se originará una respuesta muy parecida a la que se produciría si se presentara el estímulo significativo. Esta capacidad de asociar estímulos, por muy disímiles que sean los mismos, ayudan en diversas situaciones cotidianas, entre otras en la educación.

Finalmente, el autor tuvo en cuenta incluir los interesantes conceptos sobre disciplina de Estanislao Zuleta, una apuesta que se considera enriquece la propuesta, porque se aleja del tradicionalismo con el que se ha visto la disciplina dentro de las instituciones castrenses y su verdadero impacto en el desarrollo del comportamiento de las personas.

De acuerdo con Zuleta (1995), la educación sin disciplina no tiene como principio pasar por alto todas las normas o abandonarlas enseñando por fuera de ellas, por el contrario, se defienden las normas necesarias que permiten que en el fondo las personas sean aquello que desean ser, en la medida de sus posibilidades, en otras palabras, se defiende la disciplina necesaria.

## Metodología

La investigación realizada fue de tipo cualitativo descriptivo, que según Tamayo (2003), implica describir, registrar, analizar e interpretar la naturaleza actual, la composición y los procesos de los fenómenos. Este tipo de investigación se enfoca en conclusiones relativas a cómo una persona, grupo o cosa se comporta o funciona en la actualidad. La investigación descriptiva trabaja con hechos y su característica principal es mostrar una interpretación precisa. El autor usará este tipo

de investigación como referencia, teniendo en cuenta la naturaleza del tema abordado a partir del problema planteado como punto de partida.

En este párrafo se describe el enfoque metodológico utilizado en la investigación, la cual consistió en una observación participante declarada en cinco clases del núcleo humanístico de un programa curricular. El autor estuvo presente personalmente en las clases durante una hora en diferentes escenarios (aula y campo abierto), y elaboró una guía de observación para recopilar detalles relevantes. El objetivo de la investigación fue indagar cómo desde el ambiente académico se fortalece el valor de la disciplina militar en la cultura del profesional de la Fuerza Aérea Colombiana. Se puso especial énfasis en las estrategias pedagógicas utilizadas por el docente, la respuesta de los estudiantes, su nivel de atención y actitud frente a los temas abordados. El enfoque interpretativo permite obtener información amplia y suficiente sobre el problema de investigación.

Además, este enfoque de observación participante declarada también permite complementar otros métodos de recolección de información, y recopilar datos precisos sobre la cantidad de personas que se ven involucradas en procesos que van en contra de los comportamientos éticos esperados por la sociedad y la institución. Estas son algunas de las razones por las cuales el autor decidió utilizar esta metodología. Con la información precisa y objetiva recolectada, se espera obtener datos relevantes relacionados con las categorías seleccionadas (comportamiento ético, disciplina militar, estrategias pedagógicas), y de esta manera, buscar ideas innovadoras que contribuyan a identificar alternativas educativas y didácticas para mejorar el comportamiento ético de los egresados de la Escuela de Suboficiales FAC en su ejercicio profesional.

## Resultados

A partir de los objetivos propuestos en la investigación, el autor busca fortalecer la disciplina militar y el comportamiento ético de los suboficiales en su ejercicio

profesional, mejorando la estrategia pedagógica empleada por los docentes encargados de orientar la instrucción básica militar dentro del núcleo humanístico, mejorando la forma de transmitir la educación de la disciplina militar, como un principio fundamental dentro de las instituciones castrenses, generando así una evidente reducción en el número de investigaciones penales, administrativas y disciplinarias que se abran en el futuro, relacionadas con el incumplimiento de los mínimos éticos que debe interiorizar cualquier miembro de la Fuerza Aérea Colombiana, así mismo, se busca que se hagan ajustes transversales que permitan incluir la estrategia pedagógicas propuesta por el investigador y se desarrollen planes de desarrollo profesoral que incluyan los temas que se abordaron en la investigación, para que los docentes se apropien de los conceptos de educación en valores y comportamiento ético. En este sentido, a continuación, se plantean los resultados obtenidos teniendo como base la metodología aplicada, de acuerdo con los objetivos de investigación y la información recopilada en cada uno de los momentos de la investigación.

Con el fin de recopilar información sobre las estrategias pedagógicas implementadas por los docentes, se llevó a cabo una entrevista semiestructurada con el coronel Javier Iván Delgado Garzón, quien es exdirector de la Escuela de Suboficiales y cuenta con más de 30 años de experiencia en la Fuerza Aérea Colombiana como oficial piloto. El coronel Delgado Garzón es reconocido por haber creado el modelo educativo E4, el cual reestructuró la educación de los suboficiales, lo que lo convierte en una fuente valiosa de información sobre la temática en cuestión. La entrevista se centró en preguntas relacionadas con los problemas institucionales relacionados con el tema de investigación, las debilidades en las estrategias pedagógicas utilizadas por los profesores y las alternativas para fortalecerlas. Después de analizar los resultados de la entrevista, se concluyó que la formación pedagógica de los docentes militares no es la más adecuada para asumir los procesos formativos y es necesario fortalecerla. Durante la entrevista, el señor Delgado afirmó que los docentes de la institución que dirigía estaban formados parcialmente para asumir ese reto.



Figura 1. Nube de palabras, conceptos relevantes de la entrevista  
Fuente: elaboración propia.

Para continuar el diagnóstico de las estrategias pedagógicas empleadas por los docentes de la Escuela de Suboficiales de la Fuerza Aérea Colombiana, se llevó a cabo la observación participante declarada con la ayuda de una guía de observación. Se llevaron a cabo tres momentos de observación: al inicio, se recopiló información sobre el punto de partida de cada sesión; durante, se buscaron aspectos clave sobre la metodología y estrategias pedagógicas usadas por el docente en el desarrollo de la clase; y al final, se registraron las herramientas de cierre. El objetivo era observar lo que ocurría dentro del aula de clase y cómo se relacionaba con las tres categorías seleccionadas para la investigación: disciplina militar, comportamiento ético y estrategias pedagógicas. La observación se llevó a cabo para complementar el diagnóstico y obtener una visión más precisa sobre las estrategias pedagógicas utilizadas por los docentes.

Después de realizar la observación participante y documentar los hallazgos en la guía de observación, se pudo observar que existen áreas de mejora en la estrategia pedagógica empleada por los docentes de la Escuela de Suboficiales de la Fuerza Aérea Colombiana. Se identificó una falta de estructura en la clase, la cual parecía improvisada, y no se utilizaban estrategias para involucrar a los estudiantes en el proceso de aprendizaje. Los docentes se enfocaban únicamente en los contenidos del *syllabus*, sin prestar atención al aprendizaje de los estudiantes.

Se puede observar que cada docente en la Escuela de Suboficiales de la Fuerza Aérea Colombiana

utiliza una estrategia pedagógica que se basa en tradiciones antiguas y obsoletas, debido a su escaso conocimiento sobre nuevas tendencias educativas que podrían mejorar los resultados. Las instituciones militares tienden a mantener sus procesos educativos basados en prejuicios y conceptos anticuados, sin cuestionar su efectividad a lo largo del tiempo.

Durante la observación se pudo constatar que los docentes repetían constantemente la misma tendencia de preguntar si los estudiantes habían entendido los conceptos, a lo que siempre respondían afirmativamente, sin mayores reflexiones. Sin embargo, el autor notó que esta respuesta era casi automática y poco reflexiva, y que algunos de los estudiantes se encontraban distraídos en otras actividades mientras el docente impartía su discurso. En ninguna de las observaciones se intentó captar la atención de todos los estudiantes, y el foco principal era avanzar en los conceptos de la asignatura sin tener en cuenta si los estudiantes tenían una comprensión previa de estos. La participación de los alumnos era limitada, lo que provocaba desinterés, e incluso somnolencia, y el ambiente general era tenso. A pesar de que el autor comprende el contexto castrense, la disciplina dentro del aula era vista como una actitud coercitiva en lugar de ser vista como una construcción de autorregulación. Resultó sorprendente que cuando los estudiantes pedían la palabra, era para solicitar permiso para ir al baño.

De acuerdo con lo evidenciado durante el proceso de observación, se puede afirmar que los estudiantes optaron por un comportamiento más ético y disciplinado en encuentros en los que el docente fue más democrático y menos autoritario.

En la presente investigación, se resalta la importancia de las estrategias pedagógicas en el proceso formativo, pues estas permiten la construcción efectiva del aprendizaje. En este sentido, Montessori, citada por Santerini (s.f.), plantea la necesidad de crear un ambiente adaptado a las capacidades del estudiante, ordenado y atractivo, donde las actividades de la vida diaria y los distintos ambientes y momentos preparados para la clase son elementos fundamentales en el proceso de aprendizaje (p. 2). Esto se logra a partir de la planeación de clase desde una estrategia pedagógica,

alejada de las rutinas tradicionales y enfocadas en las necesidades e intereses de los estudiantes que aprenden, teniendo en cuenta sus características generacionales y dinámicas de la sociedad actual.

Con base en los resultados obtenidos y la revisión de la literatura del marco teórico en el que autores como Montessori, Freire, Ferreire y Arana son fundamentales al momento de hablar de estrategias pedagógicas, se presenta la estructura creada para el desarrollo de la presente estrategia, la cual está compuesta a partir de cuatro momentos específicos: distensión, socialización de saberes previos, información y saberes, a su vez, compuesto por dos categorías: enseñanza y aprendizaje, la primera, basada fundamentalmente en la implementación de herramientas digitales; finalmente, se presenta la retroalimentación y conclusiones del encuentro.

Se realizó la validación de la estrategia por parte de expertos a partir de 4 fases (selección, confirmación, ejecución del instrumento y resultados), se somete el contenido de la propuesta a consideración de profesionales conocedores del contexto militar, docentes de la escuela, con amplia trayectoria en el área de la educación y con excelentes resultados en su evaluación docente; las fases dan cuenta de los pasos realizados para la revisión, evaluación y posterior validación de la estrategia.



Figura 2. Proceso de validación de la estrategia  
Fuente: elaboración propia.

Ahora bien, luego de presentar los resultados de validación de la propuesta, los expertos emiten un concepto favorable en su diseño, las fases planteadas y las estrategias mencionadas en cada una de ellas.

## Discusión

Para empezar, es importante mencionar que, para el presente artículo, una estrategia pedagógica es el conjunto de aquellas acciones orientadas a lograr que los estudiantes interioricen conceptos y valores, y a su vez, estos tengan efectos que perduren en el tiempo, cuya doble vía, comunicativa o de aprendizaje, se convierta en eje fundamental en el modo a través del cual se debe comprender la acción pedagógico-moral, o la educación en valores éticos y morales. En este sentido, a continuación, se describen las características de cada momento propuesto para la estrategia pedagógica, con el fin de elaborar un proceso disruptivo coherente con la taxonomía generacional de los estudiantes posmilénicos, cada momento está soportado desde la teoría previamente revisada.

**Distensión:** Montessori, citada por Molins *et al.* (2011), indica que en el proceso de aprendizaje es fundamental crear un ambiente educativo que fuese proporcional al contexto, a los intereses del sujeto que aprende, un espacio cómodo, que permita y favorezca la libertad, la espontaneidad y la expresión (p. 78). De acuerdo con lo anterior, se hace indispensable este momento en la estructura de la estrategia pedagógica, el cual busca romper el hielo para iniciar la clase, y así lograr captar la atención de los estudiantes, por ello, en este momento de la estrategia se propone durante algunos minutos, antes de tocar cualquier concepto de la asignatura, iniciar con un espacio para conversar sobre temas que sean de interés general para el auditorio, como: noticias, deportes, tendencias, moda, vivencias personales, humor; también se podría usar preguntas como, ¿qué comió antes de entrar a clase? Incluso, el clima puede servir de enganche, sonreír al entrar al aula, vestirse adecuadamente, proyectar una imagen fresca, agradable. Para esta etapa la presentación

personal del docente debe ser impecable, sin caer en excesos de accesorios, pero entendiendo que es el modelo y ejemplo para los futuros profesionales.

**Socialización de saberes previos:** Este momento de la estrategia pedagógica está basado en los aportes de Freire a las teorías educativas, el cual plantea:

El diálogo como instrumento esencial del acto de enseñar y de aprender... el diálogo no es un simple recurso para hacer amena la clase sino apoyará la construcción de conocimiento, no hay conocimientos previos que se aprenden sin más, sino que todo se reaprende, se construye, destruye y reconstruye con los materiales preexistentes que vienen del otro. (Citado por Fernández, 2011, p. 331)

En este sentido, este momento es un espacio para conversar con los estudiantes sobre los saberes adquiridos, tanto en encuentros anteriores como en sus diversas experiencias, que sirvan de hilo conductor al tema central del encuentro, y permitan la construcción de aprendizaje de manera clara. En este momento de la estrategia se pueden aplicar diversas técnicas para lograr los objetivos propuestos, algunas opciones efectivas son la lluvia de ideas, la mesa redonda, los mapas conceptuales y otros recursos que fomenten un aprendizaje significativo.

**Información y saberes nuevos:** Desarrollado a partir de la enseñanza, este se convierte en el momento central de la estrategia, el cual cuenta con elementos visuales interactivos para el desarrollo del encuentro, elementos que permitan la participación de los estudiantes y propiciar su interés en la temática por abordar. De acuerdo con Ferreire (1953), es crucial que cualquier estrategia pedagógica considere los intereses y necesidades de los estudiantes, y que se oriente hacia la toma de decisiones responsables dentro del marco del uso de la libertad personal. Esta variable es especialmente importante en la formación en disciplina militar, ya que requiere un equilibrio claro entre la libertad y la disciplina. Los resultados de esta investigación resaltan la importancia de la formación docente en estrategias pedagógicas basadas en valores para el fortalecimiento de la disciplina militar y el

comportamiento ético de los estudiantes. Como sostiene Arana (2006), una formación adecuada en valores puede desarrollar en los estudiantes habilidades valorativas, transformadoras, participativas, espirituales e integrales, que les permitan interactuar de manera efectiva con las dinámicas sociales y normas establecidas, no solo en el ámbito educativo, sino también en otros sistemas sociales y políticos.

La incorporación de herramientas de aprendizaje virtual y la aplicación de inteligencia artificial en la educación, están generando una disrupción en la forma en que se lleva a cabo el proceso formativo. En este sentido, es importante tener en cuenta la taxonomía generacional de los estudiantes que hoy se vinculan a la Escuela de Suboficiales FAC, los cuales son nativos digitales y están acostumbrados a utilizar tecnologías en su día a día. Por lo tanto, la inclusión de herramientas virtuales en el aula permitiría a los estudiantes una mayor interacción y participación en su proceso de aprendizaje, lo que podría mejorar la calidad de la educación impartida. Es necesario que los docentes adapten su enseñanza a las nuevas tecnologías y al perfil de los estudiantes, de manera que se promueva una educación contextualizada y relevante para su formación. La contextualización del proceso de aprendizaje es fundamental para obtener mejores resultados, tal como lo señalan Lucumí y González (2015). En la actualidad, es importante tener en cuenta el contexto social interconectado en el que vivimos, y el impacto que las herramientas virtuales de aprendizaje pueden tener en este. Existen diversas herramientas como Educaplay, Powtoon, Pixton, Mentimeter, Kahoot, Pollev, Classcraft, Anchor, Quizziz, Animoto, Canva, Padlet, entre otras, que pueden ser de gran utilidad para mejorar el proceso formativo de los estudiantes posmilénicos.

Así mismo, la elección e implementación de dichas herramientas va a estar determinado por tres aspectos, propuestos por Bosco (2008), citado por Lucumí y González (2015); a) la dimensión instrumental, se refiere al uso de los instrumentos o recursos tecnológicos; b) la dimensión cognitiva, hace alusión al desarrollo de habilidades para buscar, seleccionar e integrar información, y c) la dimensión actitudinal, que

tiene que ver con el desarrollo de valores y actitudes hacia la tecnología (p. 117).

**Crea y comparte:** Momento en el cual los estudiantes puedan demostrar los avances en cuanto a su proceso de construcción de conocimiento, logrando la aplicabilidad de los saberes. Para ello, se propone un espacio en que los actores principales puedan poner en evidencia en su accionar algunos de los aspectos éticos mínimos propuestos por Cortina, que son todos aquellos principios, valores, actitudes y hábitos a los que no se puede renunciar, pues hacerlo sería renunciar a la vez a la propia humanidad, siempre enmarcado en el cumplimiento de responsabilidades, solidaridad, respeto por los compañeros, honestidad en el desarrollo de cada entrega, puntualidad, el juicio de valor siempre debe estar presente, de esta manera se conseguirá la disciplina necesaria y autorregulada de la que habla Zuleta, sin la coacción como elemento de transformación.

**Retroalimentación y conclusiones:** Todos los encuentros deben tener un cierre que permita conocer las impresiones de los estudiantes sobre el encuentro realizado, el cual puede efectuarse a partir de espacios de trabajo aleatorio para verificar la interiorización de conceptos.

En resumen, un elemento importante de la estrategia pedagógica propuesta es la evaluación formativa, la cual es definida por el MEN (2017) como un proceso en el que tanto el estudiante como el docente reflexionan sobre el proceso de enseñanza-aprendizaje y mejorar a partir de este. La evaluación formativa es fundamental en cualquier estrategia pedagógica, ya que permite mejorar la toma de decisiones en la construcción del conocimiento y en la enseñanza. Además, la evaluación formativa propuesta se destaca por ser sistemática, continua, abarcadora, completa, diferenciada, potenciadora y participativa, según el MEN (2017). Es importante realizarla de forma constante durante todo el proceso de la estrategia pedagógica, utilizando una matriz que contenga los criterios y requerimientos que el estudiante debe cumplir para lograr los objetivos establecidos. Se fomenta la autoevaluación permanente para que el estudiante pueda regular su comportamiento de manera autónoma,

comprendiendo que su actuación tiene impacto en la vida de las personas, y no solo en la obtención de un resultado numérico al final de la asignatura.



Figura 3. Estrategia pedagógica

Fuente: elaboración propia.

## Conclusiones

Las percepciones durante el proceso investigativo de los actores del contexto permiten afirmar que en realidad existen oportunidades de mejora en torno a la

interiorización de conceptos asociados, con la disciplina militar para fortalecer la ética en los egresados.

Durante la evaluación de la estrategia pedagógica utilizada por los docentes en el área humanística, se encontraron deficiencias metodológicas. La observación realizada por el investigador mostró que no existía una estructura clara en el desarrollo de la clase. Es importante destacar que cada docente hace todo lo posible para realizar su trabajo de la mejor manera, pero la falta de formación pedagógica adecuada a veces los lleva a improvisar y utilizar herramientas básicas. Es evidente que existen preconceptos formativos transmitidos de generación en generación a través de comportamientos prescritos.

Hay diferentes opiniones sobre la manera adecuada de enseñar a las personas a tener un comportamiento ético, incluyendo la formación militar, donde cada instructor tiene su propio enfoque basado en su experiencia y considera que es el correcto. Sin embargo, estas posturas personales pueden estar en desacuerdo con las políticas institucionales establecidas, es así como se evidencia que en ocasiones se incumplen las normas al tratar de hacer que otros las cumplan, lo que resulta incoherente e ineficaz como ejemplo para el estudiante. Por tanto, la estrategia pedagógica propuesta en la investigación proporciona al docente una guía clara y actualizada para practicar métodos pedagógicos que se ajusten a las generaciones actuales. Se sugieren herramientas diferentes a las prácticas conductuales tradicionales que se han considerado durante mucho tiempo como el mejor camino para fortalecer la disciplina militar, sin embargo, el enfoque propuesto por el autor de las estrategias pedagógicas permitiría fomentar la autorregulación de forma progresiva, lo cual es esencial para promover el comportamiento ético en los suboficiales que se están formando. Esto va más allá de simplemente cumplir con las normas y reglamentos, ya que se busca inculcar una actitud ética más profunda y arraigada en los estudiantes.

Después de validar la estrategia pedagógica propuesta, se concluye que esta puede ser implementada en el núcleo humanístico de la Escuela de Suboficiales FAC “Ct. Andrés M. Díaz”, para evaluar su efectividad y pertinencia. Sin embargo, expertos en la materia

afirman que, aunque el uso de herramientas virtuales es importante en el proceso de enseñanza-aprendizaje para fortalecer el comportamiento ético y la disciplina militar, el ejemplo que se da es determinante en este proceso. Por lo tanto, en el ámbito laboral como personal, los docentes deben mostrar un comportamiento ético y disciplinado, basado en la convicción y no solo en el cumplimiento de las normas.

El uso de herramientas virtuales de aprendizaje puede tener un impacto significativo en el fortalecimiento de la disciplina militar y el comportamiento ético de los posmilénicos que se forman en las aulas de clase de la Escuela de Suboficiales de la Fuerza Aérea Colombiana. A través de una estrategia pedagógica disruptiva que aproveche las características generacionales de estas nuevas cohortes de estudiantes, se pueden implementar procesos de formación más efectivos y acordes con las exigencias de la sociedad actual.

La adopción de herramientas virtuales de aprendizaje permite a los estudiantes un acceso más flexible y autónomo al conocimiento, al tiempo que fomenta su interacción y colaboración. Esto puede contribuir a la formación de individuos más responsables, autónomos, críticos y éticos, habilidades que son esenciales para el desempeño de la profesión militar.

A partir de los expertos teóricos y empíricos consultados en el desarrollo del estudio, la implementación de estrategias disruptivas en la formación de los futuros suboficiales de la Fuerza Aérea Colombiana, puede ser un factor clave en la consecución de los objetivos de formación y en la adaptación de las fuerzas militares a los cambios del entorno y de la sociedad. En este sentido, el uso de herramientas virtuales de aprendizaje puede ser una alternativa efectiva para fortalecer la disciplina militar y el comportamiento ético en la Escuela de Suboficiales, garantizando así una formación de alta calidad y acorde a los retos de la actualidad.

## Referencias

- Aristóteles. (1979). *Ética a Nicómaco*. Editorial Porrúa S. A.
- Arana, M. (2006). Los valores en la formación profesional. *Tabla Rasa, Revista de Humanidades*, 323-336.

- Código de Ética Militar Aérea. (2010, 24 de agosto). *Disposición n.º 008*.
- Coll, C. Palacios, J. y Marchesi, A. (2001). *Desarrollo psicológico y educación. Psicología de la educación escolar*. Alianza.
- Congreso de la República de Colombia. (1992, 28 de diciembre). Ley n.º 30. *Por la cual se organiza el servicio público de la Educación Superior*. Diario Oficial No. 40700. [http://www.oas.org/juridico/spanish/mesicic2\\_col\\_ley\\_30\\_sp.pdf](http://www.oas.org/juridico/spanish/mesicic2_col_ley_30_sp.pdf)
- Congreso de la República de Colombia. (2017, 4 de agosto). Ley n.º 1862. *Por la cual se establecen las normas de conducta del Militar Colombiano y se expide el Código Disciplinario Militar*. Diario Oficial No. 50315. [http://www.secretariase-nado.gov.co/senado/basedoc/ley\\_1862\\_2017.html](http://www.secretariase-nado.gov.co/senado/basedoc/ley_1862_2017.html)
- Cortina, A. (1996). *El quehacer ético. Guía para la educación moral*. Aula XXI Santillana.
- Cortina, A. (1995). La educación del hombre y del ciudadano. *Revista Iberoamericana de Educación*, (7). <https://rieoei.org/RIE/article/view/1586/1552>
- Cortina, A. (2000). *Ética mínima*. Tecnos. [https://tallersurzara.goza.files.wordpress.com/2012/11/cortina\\_adela-etica\\_minima.pdf](https://tallersurzara.goza.files.wordpress.com/2012/11/cortina_adela-etica_minima.pdf)
- Cortina, A. y Martínez, E. (1996). *Ética*. Akal.
- Coutinho Arruda, M. C. (2017). *Fundamentos de ética empresarial y económica*. Atlas.
- Díaz-Barriga, F., & Hernández, G. (2002). Estrategias docentes para un aprendizaje significativo: una interpretación constructivista. McGraw-Hill Interamericana.
- Ferreire, A. (1953). *La escuela sobre medida, a la medida del maestro*. Kapelusz.
- Fernández, J. A. (2011). Paulo Freire y la educación liberadora. En B. Trilla (Ed.), *El legado pedagógico del siglo xx para la escuela del siglo xxi* (pp. 313-342). Editorial Graó.
- Flórez, R. (2005). *Pedagogía del conocimiento*. McGraw-Hill.
- Fuerza Aérea Colombiana. (2014). *Sistema educativo de la Fuerza Aérea*. [https://www.epfac.edu.co/sites/epfac/files/Docs-EPFAC/normatividad/reglamento%20acad%C3%A9mico%20SEFAC/2.\\_reglamento\\_academico\\_del\\_sistema\\_educativo\\_fac.pdf](https://www.epfac.edu.co/sites/epfac/files/Docs-EPFAC/normatividad/reglamento%20acad%C3%A9mico%20SEFAC/2._reglamento_academico_del_sistema_educativo_fac.pdf)
- García, L., Collazos, N., Castro, N. y Aristizábal, K. (2018). *Caracterización de las faltas disciplinarias recurrentes de los aerotécnicos de la Fuerza Aérea Colombiana durante el año de prueba*. (Tesis de pregrado). Escuela de Suboficiales FAC.
- Gómez, J. M. (1979). Ética. En J. Ferrater Mora (ed.), *Diccionario de filosofía* (p. 17). Alianza Editorial.
- Kant, M. (1995). *Fundamentación de la metafísica de las costumbres*. Lisboa Editores 70.
- Lucumí-Useda, P. y González-Castañeda, M. A. (2015). El ambiente digital en la comunicación, la actitud y las estrategias pedagógicas utilizadas por docentes. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, 37(37), 109-120. <https://doi.org/10.17227/01213814.37ted109.129>
- Ministerio de Educación Nacional. (2017). *Evaluación formativa y sus componentes para la construcción de una cultura de mejoramiento*. Impresión Legis S. A.
- Molins, M. P., Cano, H. y Lorenzo, N. (2011). María Montessori: El método de la pedagogía científica. En B. Trilla (Ed.), *El legado pedagógico del siglo xx para la escuela del siglo xxi* (pp. 69 - 94). Editorial Graó.
- Nassif, R. (1958). *Pedagogía general*. Kapelusz.
- OEI. (2001). *Organización de Estados Iberoamericanos para la Educación, la Ciencia y la Cultura*. Papeles Iberoamericanos.
- Pérez, J. y Salamanca, S. (2017). Influencia de las estrategias pedagógicas en los procesos de aprendizaje de los estudiantes de una institución de básica primaria de la ciudad de Bucaramanga. *Puente*, 7(2), 117-130.
- Perilla, J. (2018). La dimensión social. En J. Perilla, *Ética y ciudadanía: Una propuesta para la formación integral*. Universidad de La Sabana.
- Pellicer, M. (2010). *La visión del mundo a través de la publicidad*. (Tesis doctoral). Universidad de Murcia.
- Piaget, J. (1979). *Investigaciones sobre la abstracción reflexionante*. Huelmul.
- Plazas, E. (2006). B. F. Skinner: La búsqueda de orden en la conducta voluntaria. *Revista Universitas Psychologica*, 5(2), 371-383.
- Real Academia Española. (2001). *Diccionario de la lengua española* (22.a ed.). Madrid: Espasa.
- Santerini, M. (2013). Grandes de la educación: María Montessori. *Padres Y Maestros*, (349), 1-4. <https://revistas.comillas.edu/index.php/padresymaestros/article/view/959>
- Skinner, B. F. (1975). *Un caso dentro del método científico. Registro acumulativo: Una selección de la obra de Skinner realizada por el propio autor*. Fontanella.
- Tamayo, M. (2003). *El proceso de la investigación científica*. Editorial Limusa S. A.
- Zuleta, E. (1995). *Educación y democracia*. Tercer Milenio.

## 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/cienciaypoderareo>) o al correo [cienciaypoderareo@epfac.edu.co](mailto:cienciaypoderareo@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)

---



# AD ASTRA



02

Vol. 18

Institución Universitaria, Resolución MEN No. 1906/Agosto 2002 / No. 21057 Noviembre/2016

Julio-diciembre del 2023 | pp. 1-175

## CIENCIA Y PODER AÉREO

Revista Científica de la Escuela de Postgrados de la FAC

Vol. 18 n.º 2 | julio-diciembre del 2023 | pp. 1-175 | ISSN 1909-7050 E-ISSN 2389-9468

Doi: <https://doi.org/10.18667/issn.1909-7050> | Bogotá, Colombia | Periodicidad semestral

