

CIENCIA Y PODER AÉREO

Revista Científica de la Escuela de Postgrados Fuerza Aérea Colombiana

ISSN 1909-7050 / E-ISSN 2389-9468 VOL. 17 N.º 2 | JULIO-DICIEMBRE 2022 | Pp. 1-168



ADASTRA

Institución Universitaria, Resolución 1906 MEN, agosto del 2002

Julio-diciembre del 2022 | pp. 1-168

02

Vol. 17



www.publicacionesfac.com



CIENCIA Y PODER AÉREO

Revista Científica de la Escuela de Postgrados Fuerza Aérea Colombiana

ISSN 1909-7050 / E-ISSN 2389-9468

VOL. 17 N.º 2 | JULIO-DICIEMBRE 2022 | Pp. 1-168

Escuela de Postgrados Fuerza Aérea Colombiana

Director

CR. Ervin Gaitán Serrano

Comandante Grupo Académico

TC. Andrés Felipe Maya Pineda

Comandante Escuadrón de Investigación

MY. Germán Wedge Rodríguez Pirateque



Ciencia y Poder Aéreo

Director | Director | Diretor
MY. Germán Wedge Rodríguez Pirateque

Editora | Editor | Editor
Mg. Erika Juliana Estrada Villa

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

Equipo editorial | Editorial team | Equipe editorial

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

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

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

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

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

Corrección de sintaxis | Proofreading | Revisor de textos
Karen Grisales

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

Información técnica | Technical information | Informações técnicas

Volumen 17, n.º 2 | Julio-diciembre 2022
Periodicidad semestral
ISSN 1909-7050
E-ISSN 2389-9468
DOI: <https://doi.org/10.18667/issn.1909-7050>
Bogotá, Colombia 2022

Comité editorial | Editorial Board | Comitê editorial

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

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

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

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

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

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

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

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

Comité científico | Scientific Board | Comitê científico

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

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

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

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

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

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

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

Pares académicos | Academic peers | Pares académicos

Andrés Calvillo Téllez

Ph. D. en Ciencias de la Educación
Instituto Politécnico Nacional

Alexander Alberto Correa Espinal

Ph. D. en Estadística e Investigación Operativa
Universidad Nacional de Colombia

Carlos Alberto Ardila Castro

Ph. D. en Educación
Escuela Superior de Guerra "General Rafael Reyes Prieto", Colombia

Claudia Patricia Garay Acevedo

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

Daniel Agudelo Noreña

Mag. en Ingeniería Aeroespacial
Universidad de San Buenaventura, Colombia

Hernán Darío Cerón Muñoz

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

Jonnathan Jiménez Reina

Ph. D. en Seguridad Internacional
Escuela Superior de Guerra "General Rafael Reyes Prieto", Colombia

José Luis Tristancho Reyes

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

Julián Sierra Pérez

Ph. D. Ingeniería Aeroespacial
Universidad Pontificia Bolivariana, Colombia

Leonardo Juan Ramírez López

Ph.D. en Ingeniería Biomédica
Universidad Militar Nueva Granada, Colombia

Leidy Johana Cabrera Cabrera

M.Sc.
Corporación Nuevos Rumbos

Lilia Edith Aparicio Pico

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

Luini Leonardo Hurtado Cortés

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

Marianela Luzardo Briceño

Ph. D. en Estadística
Universidad Pontificia Bolivariana, Colombia

Rubén Javier Medina Daza

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

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: 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

(601) 620 6518 Ext. 1700, 1722

Biblioteca Escuela de Postgrados Fuerza Aérea Colombiana

Para mayores informes:

Dirección postal | Mailing Address | Endereço postal

Cra. 11 n.º 102-50 Edificio ESDEG, Escuadrón de Investigación

Oficina 411. A.A.110111. Bogotá D.C., Colombia

(601) 620 6518. Ext. 1700, 1722

www.publicacionesfac.com

Contenido

Seguridad Operacional y Logística Aeronáutica

- 6-22 **Exigencias laborales y daños a la salud del personal de tránsito aéreo. Integración Salud-Seguridad**
Job demands and health damages of air traffic personnel. Health-Safety Integration
Demandas de trabalho e danos à saúde do pessoal de tráfego aéreo. Integração Saúde-Segurança
Marco Antonio Méndez López, Susana Martínez Alcántara
- 23-35 **Contribution of international air transport at the entrance of COVID-19 in Brazil**
Contribution of international air transport at the entrance of COVID-19 in Brazil
Contribuição do transporte aéreo internacional na entrada da COVID-19 no Brasil
Viviane Falcão, Carlos Fabricio Assunção da Silva, Francisco Gildemir Ferreira da Silva,
Nathane Ana Rosa Negri, Maurício Oliveira de Andrade, Hélio da Silva Queiroz Júnior
- 36-51 **Evaluación computacional del compartimiento de carga de una aeronave liviana, usando *software* libre**
Computational evaluation of the cargo compartment of a light aircraft, using free *software*
Avaliação computacional do compartimento de carga de uma aeronave leve, utilizando *software* gratuito
Héctor Enrique Jaramillo Suárez, Brian Quintero Jiménez Cuero, Carlos Enrique Ríos Chaparro,
Iván Orlando Ortega Cabrera, Gustavo Adolfo Zambrano Romero
- 52-64 **Fuerza Aérea Ecuatoriana: En camino al multidominio. Un análisis transdisciplinario en complejidad**
Ecuadorian Air Force: On the way to multidomain. A transdisciplinary analysis in complexity
Força Aérea Equatoriana: A caminho do multidomínio. Uma análise transdisciplinar na complexidade
Iván Preslav Bolaños Ramírez, Alex Fernando Jiménez Vélez, María Fernanda Noboa González
- 65-81 **Desempeño psicofísico en un vuelo espacial corto. Revisión narrativa de la literatura**
Psychophysical performance in a short space flight. Narrative literature review
Desempenho psicofísico em um voo espacial de curta duração. Revisão narrativa da literatura
Nindre Pico Quintero, Diego Leonel Malpica Hincapie
- 82-98 **Plan de implementación de teorías esbeltas en el almacén aeronáutico del CACOM 4**
Plan for the implementation of lean theories in the aeronautical warehouse of CACOM 4
Plano para implementação de teorias lean no armazém aeronáutico do CACOM 4
Héctor Andrés Guzmán Cuellar

Tecnología e Innovación

99-119

Desarrollo del prototipo de un software de acuerdo con la metodología *design thinking* para la estandarización del proceso logístico no aeronáutico del nivel táctico en la Fuerza Aérea Colombiana

Development of a software prototype according to the "design thinking" methodology for the standardization of the non-aeronautical logistics process at the tactical level in the Colombian Air Force

Desenvolvimento de um protótipo de software de acordo com a metodologia *design thinking* para a padronização do processo logístico não aeronáutico no nível táctico na Força Aérea Colombiana

Juan Carlos Camargo Abril, Joan Paola Cruz González, Ivonne Angélica Castiblanco Jiménez

120-133

Diseño conceptual de un banco de pruebas estático para motores de cohería tipo G y K

Conceptual design of a static test bench for type G and K rohetery engines

Projeto conceitual de um banco de teste estático para motores tipo G e K rohetery

Luisa Fernanda Mónico Muñoz, Jaime Enrique Orduy Rodríguez, Andrés Felipe Rodríguez Ramírez, Robinson Higuera Hernández

Seguridad Integral

134-145

Contribución de las certificaciones internacionales a la dirección y gestión de la seguridad integral

Contribution of international certifications to the direction and management of comprehensive security

Contribuição de certificações internacionais para a direção e gestão de segurança integral

Julián Andrés Puentes Becerra, Andrés Felipe Hernández Lozano

Educación y TIC

146-156

Bases de datos académicas-científicas su uso para el desarrollo de la investigación y producción de las IES en el sector aeronáutico en Colombia

Academic-scientific databases their use for the development of research and production of HEIS in the aeronautical sector in Colombia

Bases de dados académico-científicas seu uso para o desenvolvimento de pesquisa e produção de IES no setor aeronáutico na Colômbia

Alicia del Pilar Martínez Lobo, Bernardo Martínez Romero

160-168

Instrucciones para autores | Guidelines for Authors | Diretrizes para autores

Exigencias laborales y daños a la salud del personal de tránsito aéreo. Integración Salud-Seguridad*

| Fecha de recibido: 16 de noviembre 2021 | Fecha de aprobación: 01 de junio 2022 |

Marco Antonio Méndez López

Licenciado en Psicología, magíster en
Ciencias en Salud de los Trabajadores

Docente investigador. Universidad Autónoma
Metropolitana – Unidad Xochimilco (UAM-X)
México

Rol del investigador: teórico y escritura
<https://orcid.org/0000-0001-7620-4980>

✉ aeropsi.marco@gmail.com

Susana Martínez Alcántara

Licenciada en Psicología, doctora en
Ciencias en Salud de los Trabajadores

Docente investigadora. Universidad Autónoma
Metropolitana – Unidad Xochimilco (UAM-X)
México

Rol del investigador: teórico y escritura
<https://orcid.org/0000-0002-0953-9075>

✉ smartin@correo.xoc.uam.mx

* Artículo de investigación, derivado de la Idónea Comunicación de Resultados: “Salud en los Trabajadores de Servicios a la Navegación en el Espacio Aéreo Mexicano (SENEAM)” para obtener el grado de Maestro en Ciencias en Salud de los Trabajadores de la UAM Xochimilco.

Se agradece a los directivos de SENEAM, por haber permitido la realización de la presente investigación, así como al personal que participó en este estudio.

Cómo citar este artículo: Méndez López, M. A., y Martínez Alcántara, S. (2022). Exigencias laborales y daños a la salud del personal de tránsito aéreo. Integración Salud-Seguridad. *Ciencia y Poder Aéreo*, 17(2), 6-22. <https://doi.org/10.18667/cienciaypoderaereo.738>



Exigencias laborales y daños a la salud del personal de tránsito aéreo. Integración Salud-Seguridad

Job demands and health damages of air traffic personnel. Health-Safety Integration

Demandas de trabalho e danos à saúde do pessoal de tráfego aéreo. Integração Saúde-Segurança

Resumen: La aviación es considerada uno de los medios de transporte más seguros, pero también es una de las industrias más demandantes para su personal. Los trabajadores de tránsito aéreo se encuentran expuestos a distintos elementos que pueden llegar a perjudicar su salud y la seguridad en las operaciones aéreas. El objetivo del presente estudio consistió en identificar las exigencias laborales del sector aeronáutico y la relación que guardan con la salud de los trabajadores. Para esto se realizó un estudio transversal, observacional y descriptivo, buscando asociaciones estadísticas, con una muestra de 199 trabajadores de Servicios a la Navegación en el Espacio Aéreo Mexicano (SENEAM). Para identificar las variables de interés, se elaboró un cuestionario electrónico a partir de los siguientes instrumentos: encuesta individual del PROESSAT, escala de depresión, ansiedad y estrés (DASS-21) y prueba de síntomas subjetivos de fatiga (Yoshitake). En el análisis estadístico, se utilizaron los programas JMP Student Edition 14 y StataSE 14, considerando un nivel de significancia de $p \leq 0.05$ y un intervalo de confianza al 95 %. Entre los resultados más relevantes, se encontró que aquellos que se sientan en superficies incómodas presentan mayor fatiga [RP(a)=2.50] el adoptar posiciones incómodas durante el trabajo, se asocia con la presencia de trastornos musculoesqueléticos [RP(a)=2.35], y hay mayor prevalencia de ansiedad en los que realizan trabajo nocturno [RP(a)=1.75] y trabajan más de 48 horas semanales [RP(a)=1.72]. Los resultados muestran que las exigencias laborales repercuten en la salud del personal, lo cual podría afectar su desempeño y reducir los niveles de seguridad operacional, por lo cual se recomienda implementar un sistema de gestión integrado, tanto de riesgos de aviación, como de peligros de seguridad, salud y medio ambiente laboral, con el objetivo de mejorar el entorno organizacional, beneficiando la salud y la seguridad, tanto de trabajadores, como de las operaciones aeronáuticas.

Palabras clave: control de tránsito aéreo; medicina aeroespacial; riesgos psicosociales; salud laboral; seguridad operacional.

Abstract: Aviation is considered one of the safest means of transport, but it is also one of the most demanding sectors for its personnel. Air traffic workers are exposed to different job demands that can affect their health, negatively impacting in the safety levels. To understand the repercussions this demands have on the health of the staff, a cross-sectional, observational, and descriptive study was carried out with a sample of 199 workers from *Servicios a la Navegación en el Espacio Aéreo Mexicano* (SENEAM), the air navigation service provider in Mexico. The PROESSAT's individual survey, the depression, anxiety and stress scale (DASS-21), and the subjective symptoms of fatigue test (Yoshitake) were used. The results were analyzed, considering a level of statistical significance of $p \leq 0.05$ and a confidence interval of 95 %. It was found that adopting uncomfortable positions during the workday is associated with a greater number of health damages, mainly musculoskeletal disorders [PR(a)=2.35, $p=0.000$]. People who sit on uncomfortable surfaces have twice as much fatigue [PR(a)=2.50, $p=0.003$]. Those who work the night shift [PR(a)=1.75, $p=0.001$], and work more than 48 hours per week [PR(a)=1.72, $p=0.002$], have a higher prevalence of anxiety. Job demands are affecting the health of the personnel, impacting their performance, and reducing the safety levels. It is recommended to implement an integrated management system, for both aviation risks, and safety, health, and environment hazards at work to improve the organizational environment and health of the air traffic personnel, without affecting the safety of operations.

Keywords: aerospace medicine; air traffic control; health at work; job demands; safety.

Resumo: A aviação é considerada um dos meios de transporte mais seguros, mas também um dos setores mais exigentes para o seu pessoal. Os trabalhadores do tráfego aéreo estão expostos a diferentes demandas de trabalho que podem afetar sua saúde, impactando negativamente os níveis de segurança operacional. Para compreender as repercussões que as demandas têm na saúde do pessoal, foi realizado um estudo transversal, observacional e descritivo, com uma amostra de 199 trabalhadores do *Servicios a la Navegación en el Espacio Aéreo Mexicano* (SENEAM), a navegação aérea prestador de serviços no México. Usando a Pesquisa Individual do *proessat*, a escala de depressão, ansiedade e estresse (DASS-21) e o teste de sintomas subjetivos de fadiga (Yoshitake). Os resultados foram analisados, considerando nível de significância estatística $p \leq 0.05$ e intervalo de confiança de 95 %. Verificou-se que a adoção de posições desconfortáveis durante a jornada de trabalho está associada a um maior número de agravos à saúde, principalmente distúrbios musculoesqueléticos [RP(a)= 2.35, $p = 0.000$]. Pessoas que se sentam em superfícies desconfortáveis têm duas vezes mais fadiga [RP(a)= 2.50, $p = 0.003$]. Quem trabalha no turno da noite [RP(a)= 1.75, $p = 0.001$] e trabalha mais de 48 horas semanais [RP(a)= 1.72, $p = 0.002$] apresenta maior prevalência de ansiedade. As demandas de trabalho estão afetando a saúde do pessoal, impactando seu desempenho e reduzindo os níveis de segurança operacional. Recomenda-se implementar um sistema de gestão integrado, tanto para os riscos da aviação, quanto para os perigos para a segurança, saúde e meio ambiente no trabalho para melhorar o ambiente organizacional e a saúde do pessoal de tráfego aéreo, sem afetar a segurança das operações.

Palavras-chave: controle de tráfego aéreo; demandas de trabalho; medicina aeroespacial; saúde no trabalho; segurança operacional.

Introducción

La aviación está asociada comúnmente con síntomas de tensión constante, estrés y la responsabilidad de múltiples vidas. A la fecha, este medio de transporte es considerado uno de los más seguros a nivel mundial. Sin embargo, para mantener estos estándares de seguridad aún existen áreas de oportunidad, principalmente en la esfera mental del personal: en la evaluación de futuros candidatos, en el proceso de intervención para trabajadores que sufrieron algún evento traumático y/o para mejorar el entorno y clima laboral dentro de las organizaciones que integran este sector (Kovalkova, 2021).

El estudio de los factores humanos pretende explicar la forma mediante la cual las personas interactúan con el mundo, a través de la utilización de sus capacidades y el manejo de sus limitaciones. De igual manera, se trata de comprender cómo el entorno puede influir en el humano, beneficiando o perjudicando sus actividades. Entre los principales objetivos de esta materia en el sector aeronáutico, está garantizar niveles aceptables de seguridad.

La Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) menciona que tres de cada cuatro accidentes aéreos han sido consecuencia de un rendimiento humano inferior al óptimo deseado. Kharoufah *et al.* (2018), analizaron una muestra de más de 200 accidentes de aviación comercial acontecidos entre el 2000 y el 2016, encontrando que la pérdida de conciencia situacional y el desapego a procesos fueron los errores más recurrentes en estos eventos.

Se sabe que toda actividad humana conlleva un riesgo asociado, por lo que no se puede alcanzar un nivel de cero riesgos en aviación. En la salud laboral, se dice que el humano pasa al menos una tercera parte de su día trabajando, tomando esto en cuenta, la probabilidad de que ocurra un evento indeseable es alta. La Organización Internacional del Trabajo (OIT) menciona que se le debe prestar especial atención a riesgos emergentes, tales como los psicosociales, que engloban aspectos del género, las condiciones laborales y el desempeño en los puestos de trabajo. Estos podrían

influir en la salud mental de los trabajadores, aumentando la posibilidad de verse involucrado en accidentes (Ruiz y Gallegos, 2020).

Las condiciones laborales y características propias de las actividades que se llevan a cabo en el sector transporte se asocian con un impacto patológico, lo cual repercute en afectaciones fisiológicas y mentales. La presión que existe dentro del trabajo suele ser una fuente de estrés, el cual puede detonar una serie de padecimientos de la esfera mental como ansiedad o depresión, así como de padecimientos fisiológicos, trastornos cardiocirculatorios, digestivos, musculoesqueléticos o alteraciones del sueño (López *et al.*, 2018).

Particularmente en la industria aeronáutica, las instituciones deben comprometerse a crear un entorno laboral que optimice el desempeño humano, a través de la elaboración de políticas, procesos y procedimientos. Para ello, puede apoyarse en un sistema de seguridad, salud y ambiente en el trabajo (OSHE, por las siglas en inglés para *Organizational Safety, Health & Environment*). En el ámbito aeronáutico, los empleadores tienen la obligación jurídica de ocuparse de forma razonable de la salud y seguridad de sus empleados, aunque estos aspectos también son vigilados por un órgano gubernamental diferente, normalmente dedicado de manera exclusiva a cuestiones laborales (Organización de Aviación Civil Internacional, 2018).

En México, en el año 2019, fue creada la Agencia Federal de Aviación Civil (AFAC), reemplazando a la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC) como autoridad aeronáutica y siendo un organismo dependiente de la Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes (SICT). Dicha agencia tiene por objeto establecer, administrar, coordinar, vigilar, operar y controlar la prestación de los servicios de transporte aéreo nacional e internacional (Diario Oficial de la Federación de México, 2021).

En el artículo sexto de la Ley de Aviación Civil (2018), se señalan algunas atribuciones de la autoridad aeronáutica (la AFAC en México), entre las que destacan: expedir y aplicar las medidas y normas de seguridad e higiene en los servicios de transporte aéreo y verificar su cumplimiento, dicha actividad deberá realizarse en coordinación con otros órganos

gubernamentales competentes, entre los que destacan la Secretaría de Salud y la Secretaría del Trabajo y Previsión Social.

Vinculado con lo anterior, un organismo público como Servicios a la Navegación en el Espacio Aéreo Mexicano (SENEAM) debe contar con un mayor entendimiento de su entorno laboral y operacional, lo cual le permita identificar la influencia que tiene sobre la salud del personal, esto con el objetivo de llevar a cabo acciones que incrementen tanto la salud de los trabajadores, como la seguridad de las operaciones aéreas. Este objetivo se puede lograr gracias a disciplinas como la salud y la psicología del trabajo.

La salud en el trabajo ayuda a prevenir lesiones y enfermedades incapacitantes, al procurar la optimización de las condiciones laborales y al promover mejores hábitos de salud entre los trabajadores. Para atender de manera integral a los empleados y su entorno laboral, la salud y seguridad deben incluir el estudio de los factores psicosociales y de la organización del trabajo. Con ello se busca hacer conciencia en los trabajadores, de que una afectación a la salud puede perjudicar no solo su continuidad laboral, sino también su bienestar físico y mental (Benavides *et al.*, 2018).

Aunado a lo anterior, la psicología del trabajo, que de forma general se puede describir como la disciplina que estudia la conducta humana en su dimensión social e individual, dentro de un entorno laboral también es una herramienta útil, toda vez que puede contribuir a generar un ambiente de trabajo saludable mediante el cuidado a las personas. Del mismo modo, esta disciplina ayuda a mejorar la productividad y la eficiencia (Porras y Parra, 2018). En palabras de Gil (2012), una exposición crónica a exigencias laborales podría significar no solo un problema individual, sino uno de salud pública, si esta resultara muy elevada.

Como puede observarse, ambas disciplinas servirán para procurar el bienestar físico y mental del personal que se desempeñe en el sector aeronáutico, lo cual repercutirá en un aumento de la eficiencia y de la seguridad de los servicios que se provean. Es importante que las instituciones implementen estos conocimientos con prontitud, para así garantizar que el personal

de primera línea se está desempeñando con niveles de alerta adecuados.

Según cifras de la Organización Mundial de la Salud - OMS (2010), cada año surgen 160 millones de nuevos casos de enfermedades en todo el mundo, relacionadas con el trabajo. Según esta organización, un tercio de los trabajadores presentarán dolor de espalda y depresión derivado de riesgos ocupacionales, por lo que es importante evaluar de manera preventiva al personal del sector aéreo si se espera que las repercusiones no desencadenen en una serie de eventos desfavorables.

Tanto la OIT, como la OMS, han hecho énfasis en la importancia de estudiar las relaciones sociales y laborales, en el entendido de que, dentro de cualquier institución, el factor humano siempre estará presente, sin importar el avance tecnológico que tenga la industria. Aunado a esto, la OACI también ha invitado a estudiar más de cerca la interacción que tiene el elemento humano con los demás componentes que integran su entorno, y las interacciones positivas y negativas que se derivan de este.

Según Muñoz *et al.* (2018), las exigencias laborales son uno de los principales riesgos en los prestadores de servicios, principalmente cuando los trabajadores son considerados un insumo y no aquellos que manejan los recursos y se ven influenciados por distintos procesos psicosociales. Entre estos se destacan la organización del trabajo, las características del puesto, las tareas por realizar y el entorno del lugar de trabajo.

Noriega (1993), define estas exigencias como las necesidades o requerimientos que impone el proceso laboral derivadas de la organización y división del trabajo. Ejemplo de estas son: estar fijo en el lugar de trabajo, el trabajo nocturno, o jornadas extensivas. A dichas variables está expuesto el personal de aviación, por lo que habrá que evaluar detenidamente las posibles afectaciones a su salud.

El fomentar la salud psicosocial en el centro laboral, repercutirá favorablemente en la salud de la población. Debido a que el trabajo es una actividad donde el ser humano pasa gran parte de su tiempo, los gobiernos e instituciones deben prestar más atención,

no solo vigilando que se cumpla con una normativa, sino proponiendo acciones que impacten en el mejoramiento de la salud mental y procurando el bienestar y la calidad de vida de los trabajadores, tomando en cuenta sus necesidades, y diseñando de forma efectiva los lugares y los procesos de trabajo (Gil, 2012).

En el ámbito aeronáutico, la labor del controlador de tránsito aéreo es muy demandante, y la tarea en sí misma requiere realizar un esfuerzo mental importante. Diversos estudios se han realizado con la intención de identificar los daños a la salud producidos en esta población, por ejemplo, Escalona *et al.* (1996), utilizaron la prueba de Yoshitake, encontrando que la fatiga en los operadores de radar varía desde el 17 %, hasta el 42 %, a lo largo de una jornada laboral.

Por su parte, un estudio llevado a cabo con controladores colombianos arrojó que el 10 % presentan síntomas psicoemocionales de estrés en niveles altos y muy altos, y el 27 % presentaron perturbaciones del sueño, concluyendo que es necesario realizar estudios enfocados en cómo las características personales y laborales, pueden representar una fuente de estrés y sus efectos en la salud mental (Osorio *et al.*, 2013).

De igual forma, Correa *et al.* (2018), identificaron que el 64.71 % de los controladores del Aeropuerto Internacional de Rionegro en Colombia, adoptan posturas inadecuadas y realizan movimientos forzados, principalmente de espalda y miembros superiores a lo largo de su jornada laboral, derivado de permanecer durante mucho tiempo sentados, en una posición inadecuada.

Estos autores observaron que, aunque las sillas de los controladores cuentan con todos los mecanismos para adoptar una posición acorde a la estatura y necesidades del usuario, esto no es posible, debido a que las consolas requeridas para el trabajo están en una posición que obliga al trabajador a realizar un movimiento forzado en la espalda para poder acercarse a las pantallas radar. De igual manera, al no contar con descansa pies, el controlador se desplaza hacia adelante del asiento, retirando la espalda del respaldo y quedándose sin apoyo. Los resultados de estos estudios muestran que, en distintos países, existe un interés real por conocer los daños que pueden afectar al

personal de tránsito aéreo. Asimismo, se identificó que las exigencias laborales están vinculadas con determinados tipos de daños.

Actualmente la Organización de Aviación Civil Internacional, sigue innovando y actualizando sus normas y métodos recomendados, que cada Estado firmante del Convenio de Chicago (México incluido), debería aplicar para hacer la aviación civil más segura y eficiente. Por su parte la OIT ha dedicado esfuerzos para dar a conocer los factores de riesgo psicosocial y su relación con el bienestar laboral. Un ambiente como el que se desprende del entorno aeronáutico generará distintas respuestas de carácter cognitivo, emocional, fisiológico y de comportamiento, estas beneficiarán o afectarán el desempeño del factor humano, lo que podría tener repercusiones tales como incidentes y accidentes aéreos (Marangone y Córdoba, 2019).

En el Día Mundial de la Salud Mental del 2020, la entonces Secretaria General de la Organización de Aviación Civil Internacional, Dra. Fang Liu, hizo énfasis en cómo la OACI sigue dedicando esfuerzos en hacer de la aviación civil un mejor entorno para todos los Estados, poniendo particular atención en factores como el estrés, la ansiedad y otros riesgos para la salud mental. Por este motivo es fundamental resaltar el objetivo de las Naciones Unidas, de crear conciencia sobre la importancia de la salud mental e implementar acciones que generen un ambiente de bienestar en los centros de trabajo (Uniting Aviation, 2020).

Método

Se llevó a cabo una investigación con el objetivo de identificar las exigencias laborales del sector aeronáutico y la relación que guardan con la salud de los trabajadores. Para esto se realizó un estudio transversal, observacional y descriptivo, buscando asociaciones estadísticas entre las variables de interés y la prevalencia de daños en el personal que forma parte de SENEAM.

Debido a las condiciones generadas por la pandemia de la COVID-19, se utilizaron los formularios de

Google para crear la “Encuesta individual para la evaluación de la salud de los trabajadores”, versión *online*, la cual se difundió por medios electrónicos entre el personal. La encuesta se mantuvo abierta tres meses (noviembre del 2020 a enero del 2021).

Al inicio del formulario se presentó un consentimiento informado para cubrir los criterios éticos de investigación, como lo son el derecho a la confidencialidad y el derecho a conocer el propósito de la investigación. También se elaboró un video introductorio en el cual se mencionan aspectos relevantes de la encuesta que los trabajadores debían conocer. El participante podía aceptar o rechazar el ser parte de la investigación, sin que esto pudiera afectar de algún modo su trabajo. La muestra se conformó por conveniencia, participando 199 trabajadores de SENEAM.

Para la elaboración de la encuesta electrónica se utilizaron las siguientes herramientas:

La encuesta individual para la evaluación de la salud de los trabajadores, extraída del Programa de Evaluación y Seguimiento de la Salud de los Trabajadores (PROESSAT). La cual recaba información sobre características demográficas, aspectos del proceso de trabajo, exigencias laborales, daños a la salud y otras variables, siendo la mayoría de sus preguntas dicotómicas, salvo aquellas donde se requiere una respuesta específica (Noriega *et al.*, 2001).

La escala de depresión, ansiedad y estrés (DASS-21), la cual consta de tres subescalas, destinadas a evaluar los estados emocionales de depresión, ansiedad y estrés. Cada una de las subescalas está compuesta por siete ítems, los cuales se califican de cero a tres puntos. En su proceso de validación para ser aplicada en adultos de habla hispana, se obtuvo un alfa de Cronbach de 0.96 (Daza *et al.*, 2002).

La prueba de síntomas subjetivos de fatiga, o test de Yoshitake, que consta de 30 reactivos, los cuales exploran la presencia de síntomas de somnolencia, dificultades para concentrarse y malestar físico. Esta prueba fue desarrollada en Japón y fue validada en México en 2004, obteniendo un alfa de Cronbach de 0.89 y niveles de confiabilidad interna superiores a 0.70 (Barrientos *et al.*, 2004).

Para el análisis estadístico se utilizaron los programas para Windows: JMP Student Edition 14 y Stata-SE 14. Se consideró un nivel de significancia estadística de $p \leq 0.05$ y un intervalo de confianza al 95 %.

En un primer momento se realizó la estadística descriptiva, donde se describió la distribución de los datos recopilados entre las distintas variables, para posteriormente realizar el análisis bivariado y multivariado de la información con el objeto de obtener la razón de prevalencia y razón de prevalencia ajustada por sexo y antigüedad, con los niveles de significancia mencionados anteriormente.

Resultados

Participaron 199 trabajadores de SENEAM, con un rango de edad de 24 a 73 años (media = 49 años, desviación estándar = 12.48). De la muestra, el 65 % fueron del género masculino y el 35 % del género femenino.

El personal encuestado se encuentra repartido en todo el territorio nacional, con una distribución del 59 % en la zona centro y oriente de México, 32 % del norte del país, y el 9 % del sureste mexicano. Del total de participantes, el 45 % realiza labores exclusivamente de tránsito aéreo, y el resto se desempeña en otras especialidades de SENEAM, que incluyen ingeniería, meteorología, oficial de operaciones y personal administrativo. La antigüedad dentro de la institución varía desde menos de un año, hasta 43, con un promedio de 21 años y una desviación estándar de 13.67.

En la tabla 1 se observan diversas exigencias a las que se encuentra expuesto el personal. En cuanto a la jornada laboral, el porcentaje más elevado le corresponde a la rotación de turnos (40 %) que debe realizar el personal. Una tercera parte (33 %) reportó estar asignado al horario nocturno y el 29 % realiza pendientes laborales en horas o días de descanso y/o vacaciones.

En cuanto a la intensidad del trabajo, la mayoría de los trabajadores de SENEAM, reportan que el proceso de trabajo les demanda realizar una tarea muy minuciosa (77 %) y deben llevar a cabo un trabajo repetitivo (59 %).

Casi la mitad de los participantes (46 %), considera que, para realizar sus labores profesionales, requieren de gran concentración para evitar accidentes y que no es posible desatender su tarea por más de cinco minutos.

Con lo que respecta a la vigilancia, gran parte de los trabajadores (73 %) consideran que su puesto de trabajo conlleva un estricto control de calidad.

Tabla 1.
Exigencias laborales de la jornada laboral, intensidad del trabajo y vigilancia, a las que está expuesto el personal de SENEAM

Exigencias de:	N (Sí)	%
Jornada laboral		
Rotación de turnos	80	40
Trabajo nocturno	65	33
Realizar pendientes en horas o días de descanso o vacaciones	57	29
Jornada semanal mayor de 48 horas	44	22
Intensidad del trabajo		
Realizar una tarea muy minuciosa	153	77
Un trabajo repetitivo	117	59
Mucha concentración para evitar accidentes	92	46
No poder desatender su tarea por más de 5 minutos	91	46
Vigilancia		
Un estricto control de calidad	145	73
Soportar una supervisión estricta	72	36

Notas: N (Sí) = participantes que cumplen con la variable, % = porcentaje.

Fuente: elaboración propia, con los datos extraídos de la "Encuesta individual para la evaluación de la salud de los trabajadores", UAM-X/SENEAM, 2020-2021.

En cuanto a las características de la tarea y las posiciones disergonómicas que el puesto laboral demanda (tabla 2), se puede observar que el proceso de trabajo en SENEAM se realiza principalmente sentado, ya que el 87 % permanece en esa posición a lo largo de la jornada laboral. De igual manera, permanecen fijos en su lugar de trabajo (66 %) durante la jornada.

Por otro lado, la realización del trabajo con los hombros tensos lo reportó más de una tercera parte (36 %), y la valoración de que el trabajo que realizan les puede ocasionar algún daño a la salud o que este se torna peligroso lo refirieron el 29 % y el 24 %, respectivamente.

Tabla 2.
Exigencias laborales de las características de la tarea y posiciones disergonómicas, a las que está expuesto el personal de SENEAM

Exigencias de las:	N (Sí)	%
Características de la tarea y posiciones disergonómicas		
Permanecer sentado	173	87
Estar fijo en su lugar de trabajo	132	66
Hombros tensos	71	36
El trabajo que le puede ocasionar algún daño a su salud	58	29
Trabajar en un espacio reducido	52	26
Movimientos repetitivos de las manos	49	25
Ejecutar un trabajo peligroso	48	24
Movimientos de rotación de la cintura	47	24
Al estar sentado no es posible apoyar los pies	46	23
Utilizar pedales u otro mecanismo con los pies o las rodillas	43	22
Torcer o mantener tensas las muñecas	41	21
Recibir órdenes confusas o poco claras de su jefe	37	19
Adoptar posiciones incómodas o forzadas	33	17
Superficie para sentarse incómoda	29	15
Estar sin comunicación	26	13
Dispositivos o pedales inestables	21	10

Notas: N (Sí) = participantes que cumplen con la variable, % = porcentaje.

Fuente: elaboración propia, con los datos extraídos de la "Encuesta individual para la evaluación de la salud de los trabajadores", UAM-X/SENEAM, 2020-2021.

En la tabla 3 se muestran los principales daños a la salud reportados por los trabajadores de SENEAM. El trastorno con mayor prevalencia en este estudio fue la ansiedad (41 %), seguido de depresión (36 %) y trastornos del sueño (30 %). Otros daños reportados de forma considerable fueron la lumbalgia (27 %), estrés (26 %), trastornos musculoesqueléticos (24 %) y fatiga (18 %).

Tabla 3.
Daños a la salud en el personal de SENEAM

Daños a la salud	N (Sí)	Tasa
Ansiedad	82	41
Depresión	71	36
Trastornos del sueño	60	30
Lumbalgia	54	27
Estrés	52	26
Trastornos musculoesqueléticos	47	24
Fatiga	36	18

Notas: N (Sí) = participantes que cumplen con la variable,

Tasa = por cada 100 trabajadores.

Fuente: elaboración propia, con los datos extraídos de la "Encuesta individual para la evaluación de la salud de los trabajadores", UAM-X/SENEAM, 2020-2021.

Las exigencias reportadas guardan asociación con los daños a la salud hallados. En la tabla 4 se muestran los daños a la salud física por exigencias laborales disergonómicas. En primer lugar, se observa que los trabajadores presentan más del doble de prevalencia de lumbalgia al tener que realizar un trabajo repetitivo [RP(a) = 2.17, IC = 1.25-3.78], sentarse en una superficie incómoda [RP(a) = 2.13, IC = 1.36-3.34], adoptar posiciones incómodas a lo largo de su jornada laboral [RP(a) = 2.11, IC = 1.34-3.32] y estar fijos en su lugar de trabajo [RP(a) = 2.07, IC = 1.22-3.52].

De igual manera, aquellos que deben adoptar posiciones incómodas presentan más del doble de prevalencia de trastornos musculoesqueléticos [RP(a) = 2.35, IC = 1.46-3.77], mientras que los que deben trabajar en espacios reducidos, presentan 96 % más prevalencia de estos trastornos [RP(a) = 1.96, IC = 1.19-3.22].

Tabla 4.
Exigencias laborales asociadas a daños en la salud física del personal de SENEAM

Exigencias laborales	Daños a la salud física					
	Lumbalgia					
	Sí	No	RP	RP(a)	IC 95 %	p
Trabajo repetitivo	35	16	2.21	2.17	1.25 – 3.78	0.006
Asiento incómodo	52	24	2.19	2.13	1.36 – 3.34	0.001
Posiciones incómodas	48	23	2.12	2.11	1.34 – 3.32	0.001
Fijo en lugar de trabajo	32	18	1.78	2.07	1.22 – 3.52	0.007
	Trastornos musculoesqueléticos					
Posiciones incómodas	45	19	2.36	2.35	1.46 – 3.77	0.000
Espacio reducido	35	20	1.75	1.96	1.19 – 3.22	0.008

Notas: RP = Razón de Prevalencia, RP(a) = Razón de Prevalencia ajustada por sexo y antigüedad, IC 95 % = Intervalo de confianza al 95 % ajustado por sexo y antigüedad, p = significancia ≤ 0.05 ajustada por sexo y antigüedad.

Fuente: elaboración propia, con los datos extraídos de la "Encuesta individual para la evaluación de la salud de los trabajadores", UAM-X/SENEAM, 2020-2021.

En la tabla 5 se muestran los daños a la salud en la esfera mental, asociadas a las exigencias laborales del proceso de trabajo de SENEAM. Nuevamente se aprecia que el adoptar posiciones incómodas o forzadas, se encuentra relacionado con una mayor cantidad de daños, siendo estos: estrés [RP(a) = 1.84, IC = 1.14-2.97], depresión [RP(a) = 1.70, IC = 1.16-2.48], trastornos del sueño [RP(a) = 1.65, IC = 1.05-2.61] y ansiedad [RP(a) = 1.62, IC = 1.15-2.28].

Aquellos que se sientan en una superficie incómoda a lo largo de su jornada laboral presentan dos veces más prevalencia de fatiga [RP(a) = 2.51, IC = 1.38-4.56] y 84 % más prevalencia de ansiedad [RP(a) = 1.84, IC = 1.30-2.61]. Por otro lado, la depresión se relaciona con realizar un trabajo repetitivo [RP(a) = 1.78, IC = 1.15-2.75] y con estar sin comunicación con los compañeros de trabajo [RP(a) = 1.66, IC = 1.09-2.53].

La ansiedad se encuentra asociada con laborar en el turno nocturno [RP(a) = 1.75, IC = 1.26-2.43], tener jornadas semanales de trabajo mayores a 48 horas [RP(a) = 1.72, IC = 1.22-2.42] y estar sujetos a un estricto control de calidad [RP(a) = 1.66, IC = 1.05-2.62]. Finalmente, el tener una supervisión estricta mostró una asociación con trastornos del sueño [RP(a) = 1.69, IC = 1.13-2.54].

Tabla 5.
Exigencias laborales asociadas a daños en la salud mental del personal de SENEAM

Exigencias laborales	Daños a la salud mental					
	Ansiedad					
	Sí	No	RP	RP(a)	IC 95 %	p
Asiento incómodo	66	35	1.89	1.84	1.30 – 2.61	0.001
Trabajo nocturno	55	34	1.61	1.75	1.26 – 2.43	0.001
Jornada semanal > a 48 horas	57	37	1.55	1.72	1.22 – 2.42	0.002
Control calidad	46	30	1.54	1.66	1.05 – 2.62	0.030
Posiciones incómodas	61	37	1.62	1.62	1.15 – 2.28	0.006
	Depresión					
	Sí	No	RP	RP(a)	IC 95 %	p
Trabajo repetitivo	44	24	1.79	1.78	1.15 – 2.75	0.009
Posiciones incómodas	55	32	1.71	1.70	1.16 – 2.48	0.006
Sin comunicación	54	33	1.63	1.66	1.09 – 2.53	0.019
	Trastornos del sueño					
	Sí	No	RP	RP(a)	IC 95 %	p
Supervisión estricta	39	25	1.54	1.69	1.13 – 2.54	0.011
Posiciones incómodas	45	27	1.68	1.65	1.05 – 2.61	0.032
	Fatiga					
	Sí	No	RP	RP(a)	IC 95 %	p
Asiento incómodo	38	14	2.73	2.51	1.38 – 4.56	0.003
	Estrés					
	Sí	No	RP	RP(a)	IC 95 %	p
Posiciones incómodas	42	23	1.85	1.84	1.14 – 2.97	0.013

Notas: RP = Razón de Prevalencia, RP(a) = Razón de Prevalencia ajustada por sexo y antigüedad, IC 95 % = Intervalo de confianza al 95 % ajustado por sexo y antigüedad, p = significancia ≤ 0.05 ajustada por sexo y antigüedad.

Fuente: elaboración propia, con los datos extraídos de la "Encuesta individual para la evaluación de la salud de los trabajadores", UAM-X/SENEAM, 2020-2021.

Discusión

Fredes *et al.* (2020), comentan que las condiciones laborales a las que están expuestos los trabajadores de la aviación civil en las últimas décadas son preocupantes debido a la presencia de factores psicosociales. Estos factores, debido a su frecuencia, intensidad y duración, suelen estar en la base de la aparición del estrés y la fatiga, fenómenos cada vez más comunes en el entorno aéreo internacional, mismos que representan un grave riesgo para la salud y la seguridad del personal que presta el servicio en este medio de transporte.

En el estudio de Escalona *et al.* (1996) antes mencionado, se utilizó la prueba de Yoshitake para evaluar a 24 controladores aéreos de área radar, y los resultados se analizaron de forma no paramétrica con el análisis de Mantel-Haenzel. Dichos autores obtuvieron un rango del 17 % de prevalencia de fatiga, el cual es muy similar al obtenido en este estudio (18 %).

De igual manera, se concuerda con los hallazgos de Osorio *et al.* (2013), los cuales realizaron un estudio transversal con 41 controladores y 30 bomberos de un aeropuerto de Colombia, y por medio de un modelo de regresión logística evaluaron la relación entre estrés y la salud mental. Entre sus resultados más llamativos está que la prevalencia de trastornos del sueño entre los controladores colombianos fue de 27 %. Este resultado coincide con los hallazgos de la presente investigación, donde se observa que la prevalencia de dicho trastorno en el personal mexicano es del 30 %.

En lo que respecta a posiciones disergonómicas, al igual que lo reportado por Correa *et al.* (2018), se aprecia que los controladores tienden a adoptar posiciones incómodas y movimientos inadecuados, esto derivado de las interacciones que guardan con su entorno de trabajo, los equipos y las herramientas utilizadas.

Los controladores de tránsito aéreo suelen permanecer sentados a lo largo de su jornada laboral, realizando pequeños movimientos y levantándose de vez en cuando, pero sin abandonar un espacio definido. La exposición prolongada a estas condiciones suele causar malestares musculoesqueléticos, así como dolor,

particularmente en el cuello, hombros y zona lumbar. Por este motivo, la organización debería invertir en el diseño de equipo adecuado para favorecer la postura del personal, así como permitir pausas activas que permitan al personal estirarse y caminar. A futuro SE-NEAM debería considerar contar con políticas en esta materia, que sean aplicadas en cada estación y centro de trabajo.

De acuerdo con la memoria estadística del Instituto Mexicano del Seguro Social del año 2018, los trastornos musculoesqueléticos representan el primer tipo de enfermedad de trabajo desde 2016, seguidos por la hipoacusia y por afecciones respiratorias, en segundo y tercer lugar, respectivamente (Secretaría del Trabajo y Previsión Social, 2018). En este estudio, la sumatoria de la tasa de lumbalgia y trastornos musculoesqueléticos, los perfiló como el daño de mayor relevancia para este estudio, lo cual coincidiría con los datos de la Secretaría del Trabajo y el Instituto Mexicano del Seguro Social.

Un programa de gestión de estrés laboral permitiría a los trabajadores conocer cómo evitar futuros daños e incrementar su bienestar, poniendo especial atención al ejercicio físico, hábitos alimenticios, patrones de sueño, técnicas de relajación y uso del tiempo libre (Sartzetaki *et al.*, 2019).

Costa (2000), realizó un estudio con 762 controladores de Italia. Los participantes fueron del género masculino, con una edad promedio de 44 años y aproximadamente 19 años de antigüedad en el trabajo. Esto con el fin de identificar las características de trabajo y la salud que tiene dicha población. Se le aplicó la versión italiana del *Standard Shiftwork Index*, que contiene distintos cuestionarios para evaluar la jornada laboral, trastornos digestivos y cardiovasculares, hábitos de sueño, presencia de ansiedad, depresión y estrés, entre otros factores.

Entre sus resultados, Costa (2000) menciona que la primera fuente de estrés en el trabajo del controlador de tránsito aéreo, son las características propias de la tarea, seguidas de aquellos factores relacionados con el material y equipo de trabajo, así como las condiciones de la jornada laboral. Su estudio arroja, entre otros datos, que el 23 % de los controladores aéreos

sufren de lumbalgias, el 10 % de ansiedad crónica y el 8 % de depresión.

En el presente estudio, las exigencias laborales, relacionadas con las características de la intensidad del trabajo mostraron mayores prevalencias que el resto, manteniéndose en un rango de 46 % a 77 %. En cuanto a la prevalencia de lumbalgia, los resultados son muy cercanos a los de Costa (2000), existiendo una diferencia del 4 % de prevalencia mayor entre los controladores mexicanos. Sin embargo, en SENEAM, la presencia de ansiedad y depresión fue la más alta, a diferencia del estudio italiano.

La labor del controlador ha sido clasificada como uno de los cuatro trabajos más estresantes a nivel mundial, debido a que tiene que priorizar distintas tareas y manejar sus recursos cognitivos, incluyendo la percepción, atención, memoria, consciencia situacional y toma de decisiones. En este caso, el estrés, fatiga mental y la carga de trabajo, puede llevar al controlador a reducir su capacidad cognitiva, afectando principalmente su toma de decisiones, lo cual es un riesgo para la seguridad operacional, por lo que el evaluar el estrés y aplicar medidas para reducirlo es primordial en este proveedor de servicios (Makara *et al.*, 2021).

En México, la salud de los controladores es monitoreada periódicamente, ya que se siguen las normas y métodos recomendados por la Organización de Aviación Civil Internacional, en la cual se estipula que, a lo largo de su carrera, deben realizarse evaluaciones psicofísicas recurrentes, ayudando a la prevención de mayores daños a la salud. Actividad que debe ser realizada por un organismo médico avalado por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Las unidades realizan distintos exámenes con base en los requisitos médicos relativos al personal técnico aeronáutico, para determinar la aptitud o no aptitud del personal, según los criterios establecidos en el Reglamento del Servicio de Medicina Preventiva en el Transporte.

Por otro lado, Tomić y Liu (2017), realizaron un estudio con 73 controladores de China y Europa del Este. Utilizando el programa estadístico IBM SPSS, exploraron si existe una significancia estadística entre los efectos del estrés y la fatiga, con los errores humanos que se cometen en la industria de la aviación. Entre sus

resultados se reportó que el 24 % de controladores aéreos experimentan síntomas de estrés durante su jornada laboral. De igual manera, se halló que el 36 % de los controladores experimentan fatiga y/o cansancio. En el caso de SENEAM, la tasa de estrés fue del 26 y de fatiga del 18, por cada 100 trabajadores.

Tomić y Liu (2017), consideran que los principales estresores para los controladores de tránsito aéreo son la presión laboral, la fatiga y las características de la jornada laboral. Tomando en cuenta la perspectiva del trabajador, se identificó que existe un problema institucional en cuanto a los procedimientos para combatir el estrés, probablemente derivado de una falta de cultura organizacional, donde no se comunican asertivamente las acciones que se toman en cuenta, para prevenir factores de riesgo psicosocial.

Aunque la fatiga es uno de los trastornos más estudiados en la aviación, y en particular en los controladores aéreos, en esta población se presentó en uno de cada cinco trabajadores, aproximadamente. Dato relevante, pero menor, si se compara con el estudio de Tomic. Por otro lado, la ansiedad y la depresión son las que puntúan más altas, al mismo tiempo que presentaron mayores asociaciones con las exigencias laborales.

En los Estados Unidos de América, aerolíneas como *American Airlines* y *Delta Air Lines* cuentan con programas para mejorar la salud mental de su personal, sin embargo, dichos programas hacen mayor énfasis en la fatiga y el abuso de sustancias. Por su parte, la *International Federation of Air Line Pilots' Associations* (IFALPA), ha recomendado el desarrollo de programas con una aproximación holística, y la *Aerospace Medical Association* (AsMA), ha hecho énfasis en evaluar al personal de vuelo mediante una aptitud mental, donde se considera la presencia de estrés, depresión y ansiedad (DeHoff y Cusick, 2018).

Una mala planeación de horarios de trabajo tendrá diversas repercusiones a la salud de los controladores. En particular, el turno nocturno, fuera de las repercusiones fisiológicas de no descansar adecuadamente, atrae una serie de consecuencias sociales que pueden desencadenar en afectaciones mentales como son un incremento de la depresión, la ansiedad y el

estrés. Estos hallazgos fueron principalmente en población femenina que debe desempeñarse en el turno nocturno (Venesia y Widyanti, 2019).

Diversos estudios en el sector salud muestran las asociaciones que hay entre el trabajo nocturno o las jornadas semanales extendidas con la presencia de ansiedad, depresión y estrés en el personal. Por ejemplo, Fernández *et al.* (2019), en su estudio con profesionales de enfermería, reportan que la sobrecarga de trabajo propicia el desarrollo de estrés, ansiedad y depresión. Se encuentra mayor presencia de estos daños en mujeres casadas de más de 50 años. Igualmente, el 44 % del personal que trabaja en el turno nocturno presenta ansiedad y el 43 % depresión.

Por su parte, Nievas y Gandini (2017), realizaron una investigación con 115 trabajadores de un hospital público de Argentina, en el cual se reportó que estos pueden llegar a tener jornadas semanales de hasta 60 horas. Aproximadamente el 37 % de esta población presenta síntomas de ansiedad y el 30 % de depresión. Ambos daños son significativamente mayores en las mujeres, así como en los trabajadores que laboran una mayor cantidad de horas semanales, sin importar su género. El estudio arroja que el 24 % se ha llegado a ausentar por causas físicas, mientras que se reporta que el 6 % han llegado a usar ansiolíticos o antidepresivos, y el 3 % tiene un consumo excesivo de alcohol. Cuestiones que representan un grave peligro por tratarse del sector aéreo.

En México se siguen las normas y métodos recomendados por la Organización de Aviación Civil Internacional, en la cual se estipula que a lo largo de la carrera de los controladores deben realizarse evaluaciones psicofísicas recurrentes, ayudando a la prevención de mayores daños a la salud. Sin embargo, en este estudio, los trastornos que presentaron una mayor prevalencia tienen un componente psicossomático, como pueden ser los trastornos musculoesqueléticos, donde las exigencias laborales tienen una repercusión directa.

En el caso de las aerolíneas, Omholt *et al.* (2017), reportaron que el cansancio, trastornos del sueño, hinchazón, lumbalgia, dolores de cabeza y dolor de cuello fueron los daños con mayor prevalencia en pilotos y sobrecargos noruegos. En esta población, el estrés

laboral se asoció significativamente con los trastornos musculoesqueléticos, psicossomáticos, gastrointestinales y respiratorios, principalmente, por lo que se recomienda mayor investigación al respecto de los factores psicossociales en el sector aéreo, para indagar su posible repercusión para la seguridad operacional, debido a la reducción de eficiencia reportada por las tripulaciones aéreas.

La principal fuente de daños a la salud en este estudio fue el adoptar posiciones incómodas o forzadas en el centro laboral. La cual está generando serias afectaciones, tanto físicas como mentales. Para corregir este elemento, sería importante contar con equipos y herramientas adecuadas para la realización de las actividades, así como capacitar al personal en buenas prácticas posturales, que podrían adoptar a lo largo de la jornada laboral.

Asimismo, es importante mencionar que, dentro del sector aéreo, el enfoque no puede estar centrado únicamente en combatir los riesgos asociados a la fatiga y al estrés. Los resultados de la investigación muestran un panorama más amplio y preocupante, donde la mayor prevalencia de trastornos se asocian con la ansiedad y la depresión, seguido de los trastornos del sueño, hasta llegar a cuestiones físicas como la lumbalgia. Es evidente que el proceso de trabajo, particularmente su organización, está teniendo un impacto generalizado sobre la salud, donde los trastornos mentales adquieren relevancia.

Entendiendo que los riesgos son inherentes a cualquier actividad en la que se vea involucrado el factor humano, es importante generar mayor conciencia en las organizaciones en cuanto a las repercusiones que tiene el estrés laboral en la salud y el desempeño de los trabajadores. La presencia de distintos factores psicossociales en el sector aéreo aumenta la probabilidad de cometer errores, los cuales pueden desencadenar en una serie de eventos desfavorables, como lo son incidentes y accidentes. Si bien la identificación de factores de riesgo psicossocial podría tener un costo reducido, se requiere una mayor inversión en materia de seguridad y salud en el trabajo para poder generar una mejora significativa en las instituciones del sector aeronáutico (Salvador, 2018).

Conclusiones

El presente estudio realizado en México demuestra que los trabajadores que proveen los servicios de tránsito aéreo están expuestos a diversas exigencias laborales (como adoptar posiciones incómodas, sentarse en superficies incómodas, estar sin comunicación con compañeros, realizar trabajo nocturno o tener jornadas de más de 48 horas), que de no atenderse oportuna y adecuadamente, constituyen una seria amenaza a la salud de los trabajadores, sin importar si se trata del personal de la primera línea de operaciones (controladores de tránsito aéreo u otras especialidades técnicas aeronáuticas), o personal de las áreas administrativas.

En futuros estudios donde se requiera hacer un análisis más completo de las repercusiones de las exigencias en la salud laboral, sería importante considerar la evaluación objetiva y el diagnóstico médico, para complementar la percepción subjetiva que tiene el personal de su entorno. Lo anterior, con el objetivo de proveer de mayores datos a los centros de trabajo y generar directrices enfocadas a atender los problemas identificados.

Para alcanzar un cambio auténtico de la cultura organizacional en México, se necesita la colaboración real y comprometida de las autoridades y los trabajadores. Asimismo, es fundamental generar y compartir información, con el objetivo de crear planes estratégicos enfocados a fomentar condiciones adecuadas que promuevan la salud de los trabajadores.

Para lograr lo anterior, las propuestas que se generen deberán tomar en cuenta los factores psicosociales y no ceñirse únicamente a favor de la producción, con ello además de lograr una mejora en el bienestar del factor humano que integra SENEAM, se podría contribuir a desarrollar un entorno laboral más propicio y acorde con los estándares internacionales, donde temas como la salud de los trabajadores y la seguridad de las operaciones aeronáuticas, son prioritarios.

La evidencia que aporta esta investigación permite identificar una problemática que afecta la salud de los trabajadores de SENEAM. La información

obtenida puede constituirse en un insumo importante, al proporcionar datos precisos que permitan planear acciones que contribuyan a mejorar la salud del personal. Ejemplo de lo anterior sería desde la creación de un programa de promoción de hábitos más saludables que atienda los problemas con mayor prevalencia, hasta el desarrollo, a futuro, de un programa de gestión de exigencias laborales.

Se debe tomar en cuenta que, para el sector aeronáutico, un trabajador con óptimos estándares de salud física y mental es pieza fundamental para mantener adecuados niveles de seguridad, al momento de realizar operaciones aéreas que involucran una importante cantidad de vidas humanas y bienes materiales.

Finalmente, es fundamental señalar que, al momento de hacer esta investigación se hizo evidente la falta de información respecto a la salud del personal de tránsito aéreo en América Latina, y en particular en México, por lo que se invita a investigadores e interesados en salud de los trabajadores y aviación, a explorar en sus regiones, con el propósito de ampliar las recomendaciones, en el entendido de que la aviación no tiene fronteras, por lo que una mejora en la seguridad a nivel local, repercutirá en todo el sistema y contribuirá a mejorar las condiciones de salud de los trabajadores del sector aeronáutico en general.

Recomendaciones

Tharikh y Hamzah (2020), mencionan que se debe crear un plan estratégico para alcanzar los niveles deseados de bienestar en los trabajadores. Una cultura organizacional adecuada debería considerar las preocupaciones e inquietudes de los controladores de tránsito aéreo y personal en general, para poder definir acciones y con ello, elevar a las instituciones a un siguiente nivel, donde el bienestar de los empleados sea uno de los principales valores del centro laboral.

Los trastornos mentales son una realidad en el sector aeronáutico, que repercuten en diferentes ámbitos de la vida de los individuos y, eventualmente, podrían tener consecuencias negativas en la seguridad

aérea. Existe la posibilidad de que la presencia de factores estresantes en el personal de SENEAM, podría llevar al desarrollo de distintas enfermedades, por lo que, en aras de promover la salud física y mental de los trabajadores, se deben tomar medidas preventivas para disminuir la prevalencia de estos trastornos.

Se debe dar mayor importancia al diseño ergonómico de los espacios de trabajo, lo que ayudaría a disminuir la presencia de trastornos musculoesqueléticos y lumbalgias en el personal, ya que cuando se presenta un desorden que altera el bienestar físico, se constituye en un componente que incrementa la tensión mental y repercute sobre distintas partes del cuerpo.

De igual manera, sería adecuado invertir en equipo tecnológico que proporcione una mejor recepción de la información visual y auditiva, para que los controladores tengan que realizar un menor esfuerzo, lo que además de mejorar su trabajo les generaría menor estrés.

También, la organización debe de valorar la posibilidad de adoptar mejoras en el mobiliario y el equipo que requieren los controladores de tránsito aéreo y el personal administrativo, para que este se adapte a sus necesidades y funciones, con lo que además se contribuirá a mejorar los niveles de seguridad para las aeronaves que dependen del servicio que estos trabajadores proporcionan.

De igual manera, se recomienda la puesta en marcha de un programa de capacitación en el cual se instruya al personal respecto a cómo adoptar buenas posiciones disergonómicas según sus funciones, así como el poder realizar pausas activas que les permitan estirar el cuerpo y relajar músculos para que exista un menor grado de tensión. Asimismo, es importante que el personal se estire y relaje una vez finalizado su turno y antes de volver a su domicilio, principalmente si el trayecto será largo y permanecerán más tiempo sentado.

Medialdea y Velasco (2016), recomiendan contar con personal cualificado en temas de salud mental, para realizar la exploración, el diagnóstico y la toma de decisiones adecuadas, así como la enseñanza, formación y actualización en materia de higiene mental para todo el personal de la institución. De igual manera, se

sugiere implementar líneas de investigación en distintas áreas, para evaluar la presencia de riesgos y exigencias dentro de la organización y sus posibles repercusiones a la salud. El punto más importante será el compromiso de la alta dirección para el desarrollo y aplicación de una normativa adecuada que sustente la mejora continua de las recomendaciones ya mencionadas.

Se recomienda la implementación de un sistema de gestión de la fatiga, basado en principios y conocimientos científicos, así como en experiencia operacional, que tome en cuenta la importancia de dormir lo suficiente, no solo para descansar, sino que también permita la posibilidad de recuperar y mantener los aspectos básicos en cuanto a atención, desempeño físico y mental, así como un estado anímico positivo. Lo anterior, sustentado en las normas y métodos recomendados por la Organización de Aviación Civil Internacional, en el manual para la supervisión de los enfoques de gestión de la fatiga.

La fatiga es un peligro inherente en el sector aéreo, el cual tiene el potencial de degradar el desempeño humano e incrementa la probabilidad de cometer errores. Los proveedores de servicios de tránsito aéreo deben establecer un sistema de gestión de riesgos asociados a la fatiga (FRMS, por sus siglas en inglés), que permita asegurar que el personal se está desempeñando con niveles adecuados de atención y que se base en principios científicos y conocimiento operacional. Este sistema debe considerar los aspectos fisiológicos del sueño, las cargas de trabajo, la planeación de jornadas y los niveles de atención solicitados, entre otros elementos propios de la organización y división del trabajo (Li *et al.*, 2020).

Con base en los resultados de este estudio, se propone adicionalmente, el desarrollo de un sistema de gestión de riesgos y exigencias laborales dentro de SENEAM, mediante el cual se pueda contribuir a dar cumplimiento a los requerimientos contenidos en distintas normas nacionales en materia tanto de seguridad y salud en el trabajo, como de aviación.

En relación con lo anterior, se encuentran, entre otras, la NOM-064-SCT3-2012, que establece las especificaciones del Sistema de Gestión de Seguridad

Operacional, la NOM-117-SCT3-2016, que establece las especificaciones para la gestión de la fatiga, pero aplicada al personal de tránsito aéreo y la NOM-035-STPS-2018, en materia de identificación, análisis y prevención de factores de riesgo psicosocial. La utilización de las citadas normas podría ser considerada, entre otras bases legales, como el marco referencial que dé un soporte sólido a la implementación del sistema de gestión de riesgos y exigencias laborales propuesto, que podría constituirse en información de referencia para trabajadores de servicios a la navegación aérea de otras latitudes y como una propuesta de SENEAM dirigida a mejorar la seguridad de su factor humano.

Para implementar mejores prácticas, también se deberían tomar en cuenta las normas y métodos recomendados por organismos de carácter internacional, como son la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), la Organización Internacional del Trabajo (OIT) y la Organización Mundial de la Salud (OMS). Dicha acción permitirá estar actualizados y mantenerse a la vanguardia en procedimientos que se llevan a cabo en el extranjero.

Es recomendable que, como cualquier sistema de gestión, deberá componerse de elementos de revisión y mejora continua, que incluyan evaluaciones periódicas para asegurar que lo establecido en el sistema funciona en la práctica, dentro del mejor nivel posible, y que recopile datos e información que permitan el análisis y la posterior toma de decisiones con base en datos precisos.

Dos componentes clave para que este sistema pueda resultar benéfico para la institución son: la redacción y el compromiso constante de una política de seguridad y salud en el trabajo. Dichos componentes deben reflejar el interés de la alta administración por promover un ambiente sano y la ejecución de acciones específicas para mejorar la salud de los trabajadores, lo que reflejará el compromiso adquirido por la alta dirección. Es importante destacar que los sistemas y las acciones que se implementen deberán ser revisadas y actualizadas cada que la dirección general así lo decida, en favor de mantener una mejora continua. Adicionalmente, y para evitar la libre interpretación, es fundamental que en la documentación que se

genere se plasmen con toda puntualidad las actividades por realizar, los objetivos y los beneficios que se espera obtener tanto para la organización, como para los trabajadores.

La instrucción y educación, tanto en etapas formativas como recurrentes son de vital importancia, por lo que se recomienda a la organización la creación de un programa de capacitación que incluya temas para los directivos respecto al manejo del sistema y las acciones por realizar. Lo anterior, permitirá mitigar los efectos negativos de los riesgos y exigencias. En el caso de los trabajadores, se les proporcionarán sugerencias y recomendaciones que pueden seguir tanto en casa como en el trabajo, para realizar mejoras a su salud y estilo de vida, con el objetivo de alcanzar un estado de bienestar y satisfacción, tanto dentro como fuera del trabajo.

Para el correcto monitoreo, vigilancia y sustento del programa, se recomienda la creación de un grupo de especialistas, que incluya a personal experto en distintas ramas de la salud laboral y la salud de los trabajadores, y que tenga conocimientos del sector aéreo, principalmente en las áreas de seguridad operacional, salud y seguridad en el trabajo, y gestión integrada de riesgos. También, sería pertinente que el equipo cuente con personal que posea conocimientos generales sobre los procesos de trabajo que realizan los proveedores de tránsito aéreo. Asimismo, el equipo debe contar con personal experto en las operaciones de tránsito y navegación aérea, es decir, personal que se desempeñe como supervisor de los servicios o jefes de las áreas de especialidad en cuestión, y que son quienes están en contacto directo con el personal de primera línea.

La suma de ambas posturas, es decir de los expertos en salud de los trabajadores y los expertos en tránsito aéreo, podría generar un equipo multidisciplinario que no solo estaría encargado de vigilar que la implementación se haga con base en resultados y apegado a la normativa establecida por la institución, sino que también podría tener un acercamiento directo con el personal, lo que permitiría la retroalimentación del sistema y, por lo tanto, de los directivos y de los propios trabajadores.

Esta investigación resalta la importancia que tiene la percepción del trabajador respecto a su entorno laboral. Por ello, se considera que un sistema de gestión funciona de mejor forma si se le nutre con datos e información de manera constante. Por esa razón, se recomienda la implementación de canales de comunicación eficaces y eficientes, tanto de los trabajadores hacia la alta administración, como de los directivos hacia el resto de los trabajadores.

La forma más fácil de que un trabajador se comunique con sus superiores es mediante reportes voluntarios y confidenciales, en los cuales se pueden exponer las percepciones, hechos y conocimientos que el personal de SENEAM tenga respecto a las irregularidades y áreas de oportunidad vinculadas con los riesgos y exigencias de su trabajo. Dichos reportes podrán ser analizados tanto por la dirección como por el grupo de expertos, para que se puedan tomar acciones correctivas y preventivas, según la información que se recabe.

De igual manera, es recomendable que los hallazgos, investigaciones y resultados que se obtengan, así como los nuevos procedimientos y las mejoras que se incorporen al sistema sean comunicados oportunamente a todas las personas que laboren dentro de SENEAM. Lo anterior, permitirá demostrar el compromiso que se tiene, y facilitará la actualización de los procesos que sean necesarios, lo que redundará en un sistema de gestión de riesgos y exigencias siempre vigente.

Es oportuno mencionar que el cumplimiento de la normativa en materia de aviación es adecuado en SENEAM, especialmente en materia de calidad y seguridad. En ese sentido, la institución ha obtenido las certificaciones ISO 9001:2015 y la Agencia Federal de Aviación Civil certificó en el 2020 el Sistema de Seguridad Operacional - SMS.

Sin embargo, se pueden implementar mejoras en materia de seguridad y salud en el trabajo. Lo anterior requiere atención por parte de las autoridades para generar acciones de cambio que permitan mitigar los riesgos y exigencias ya detectadas, ya sea por medio de procesos de certificación internacional, cumplimiento de normativa nacional aplicable y procesos de aseguramiento y mejora continua.

Como se observa, hay muchas acciones que se pueden realizar para mejorar la salud de los trabajadores, algunas de las cuales se podrían poner en acción casi de forma inmediata si se logra contar por una parte con el apoyo de la alta administración de SENEAM, y por la otra, con el compromiso de los trabajadores por mejorar su entorno laboral y personal, en favor de obtener mejores condiciones de salud.

Referencias

- Barrientos, T., Martínez, S. y Méndez, I. (2004). Validez de constructo, confiabilidad y punto de corte de la prueba de síntomas subjetivos de fatiga en trabajadores mexicanos. *Salud Pública de México*, 46(6), 516-523. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0036-36342004000600006&scrypt=sci_abstract&tlng=pt
- Benavides, F., Delclós, J. y Serra, C. (2018). Estado de Bienestar y salud pública: el papel de la salud laboral. *Gaceta Sanitaria*, 32(4), 337-380. <https://doi.org/10.1016/j.gaceta.2017.07.007>
- Correa, E., Díaz, M., Quintero, A. y Estrada, J. (2018). Estudio de los factores de riesgo ergonómicos que pueden afectar el desempeño laboral de los controladores de tránsito aéreo que prestan sus servicios en el Aeropuerto Internacional José María Córdova, ubicado en el municipio de Rionegro, Antioquia. *Revista Ingeniería Industrial UPB*, 6(6), 33-44. <https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/6597>
- Costa, G. (2000). Working and Health Conditions of Italian Air Traffic Controllers. *International of Occupational Safety and Ergonomics*, 6(3), 365-382. <https://doi.org/10.1080/10803548.2000.11076461>
- Daza, P., Novy, D., Stanley, M. & Averill, P. (2002). The Depression Anxiety Stress Scale-21: Spanish Translation and Validation with a Hispanic Sample. *Journal of Psychopathology and Behavioral Assessment*, 24(3), 195-205. <https://doi.org/10.1023/A:1016014818163>
- DeHoff, M. & Cusick, S. (2018). Mental Health in Commercial Aviation – Depression & Anxiety of Pilots. *International Journal of Aviation, Aeronautics, and Aerospace*, 5(5). https://commons.erau.edu/ijaaa/vol5/iss5/5?utm_source=commons.erau.edu%2Fijaaa%2Fvol5%2Fiss5%2F5&utm_medium=PDF&utm_campaign=PDFCoverPages

- Diario Oficial de la Federación de México (2021, 26 de febrero). *Acuerdo por el que se expide el Manual de Organización de la Agencia Federal de Aviación Civil*. Secretaría de Comunicaciones y Transportes. https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5612348&fecha=26/02/2021
- Escalona, E., de Urosa, E., González, R., Romero, E., Lamarca, R., Jirón, C. y Bello, C. (1996). Fatiga laboral en controladores de tránsito aéreo. *Salud de los Trabajadores*, 4(2), 99-108. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6477181>
- Fernández, A., Estrada, M. y Arizmendi, E. (2019). Relación de estrés-ansiedad y depresión laboral en profesionales de enfermería. *Revista de Enfermería Neurológica*, 18(1), 29-40. <https://doi.org/10.37976/enfermeria.v18i1.277>
- Fredes, D., Olivares, V., Peralta, J., Morales, J., Jélvez, C. y Gatica M. (2020). Diagnóstico de los factores psicosociales asociados a la fatiga en tripulantes de cabina de personas del sector aeronáutico. *Revista Interciencia*, 45(7), 321-328. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33963922005>
- Gil, P.R. (2012). Riesgos psicosociales en el trabajo y salud ocupacional. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 29(2), 237-241. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=s1726-46342012000200012&script=sci_arttext
- Kharoufah, H., Murray, J., Baxter, G. & Wild G. (2018). A review of human factors causations in commercial air transport accidents and incidents: from 2000-2016. *Progress in Aerospace Sciences*, 99, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.paerosci.2018.03.002>
- Kovalkova, T. (2021). Evaluación del papel del psicólogo para la seguridad del vuelo en la aviación civil. *Revista Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores*, 8(2), 1-15. <https://doi.org/10.46377/dilemas.v8i2.2549>
- Ley de Aviación Civil. (Última reforma publicada DOF 18-06-2018). *Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 12 de mayo de 1995*. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/mov/Ley_de_Aviacion_Civil.pdf
- Li, W., Kearney, P., Zhang, J., Hsu, Y. & Braithwaite, G. (2020). The analysis of occurrences associated with air traffic volume and air traffic controllers' alertness for fatigue risk management. *Risk Analysis*, 41(6), 1004-1018. <https://doi.org/10.1111/risa.13594>
- López, H., Carrera, C., Eurrieta, M., García, L., Gómez, M., Llanillo, J., Marín, M., Romo F. y González, M. (2018). Análisis del estrés laboral y su repercusión en la salud física y mental en operadores de tractocamión. *European Scientific Journal*, 14(11), 10-22. <https://doi.org/10.19044/esj.2018.v14n11p10>
- Makara, M., Zaluski, M., Biegańska, J., Tyburski, E., Jagielski, P. & Adamczyk, K. (2021). Perceived stress and burnout syndrome: A moderated mediation model of self-efficacy and psychological comfort among polish air traffic controllers. *Journal of Air Transport Management*, 96, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2021.102105>
- Marangone, F. y Córdoba, E. (2019). *Seguridad operacional aeronáutica: riesgos psicosociales en pilotos civiles*. XI Congreso Internacional de Investigación y Práctica Profesional en Psicología. Universidad de Buenos Aires. <https://www.aacademica.org/000-111/902>
- Medialdea, J. y Velasco, C. (2016). Incidencia de los trastornos mentales en los profesionales de la aeronáutica civil y militar (1983-2014). Un estudio descriptivo y consideraciones preventivas sobre la seguridad aérea. *Medicina y Seguridad del Trabajo*, 62(242), 15-24. https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0465-546X2016000100004
- Muñoz, D., Orellano, N., y Hernández, H. (2018). Riesgo psicosocial: tendencias y nuevas orientaciones laborales. *Psicogente*, 21(40), 532-544. <https://doi.org/10.17081/psico.21.40.3090>
- Nievas, C. y Gandini, B. (2017). Prevalencia de trastornos de ansiedad y depresión en el equipo de salud de un hospital público de la provincia de La Rioja. *Revista Argentina de Medicina*, 5(2), 115-121. <http://www.revistasam.com.ar/index.php/RAM/article/view/134>
- Noriega, M. (1993). Organización laboral, exigencias y enfermedad. En A. Laurell (Coord.), *Para la investigación sobre la salud de los trabajadores* (pp. 167-187). Organización Panamericana de la Salud.
- Noriega, M., Franco, J., Martínez, S., Villegas, J., Alvear, G. y López, J. (2001). *Evaluación y Seguimiento de la Salud de los Trabajadores (PROESSAT)*. Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco.
- Omholt, M., Tveito, T. & Ihlebæk, C. (2017). Subjective health complaints, work-related stress and self-efficacy in Norwegian aircrew. *Occupational Medicine*, 67(2), 135-142. <https://doi.org/10.1093/occmed/kqw127>
- Organización de Aviación Civil Internacional. (2018). *Doc. 9859. Manual de gestión de la seguridad operacional*. OACI.
- Organización Mundial de la Salud. (2010). *Entornos laborales saludables: Fundamentos y modelo de la oms. Contextualización, prácticas y literatura de apoyo*. OMS. https://www.who.int/occupational_health/evelyn_hwp_spanish.pdf

- Osorio, M., Rodríguez, C., Parra, L., Acosta, M. y Cruz, Á. (2013). Estrés y salud mental en controladores de tránsito aéreo y bomberos de un aeropuerto de Colombia. *Revista Colombiana de Salud Ocupacional*, 3(2), 7-11. https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/rc_salud_ocupa/article/view/4858
- Porras, N., y Parra, L. (2018). Creencias irracionales como riesgo psicosocial de la adicción al trabajo desde la perspectiva de la psicología de la salud ocupacional. *Interacciones. Revista de Avances en Psicología*, 4(2), 105-113. <https://doi.org/10.24016/2018.v4n2.118>
- Ruiz, N. y Gallegos, R. (2020). Factores asociados a la ocurrencia de accidentes de trabajo en la industria manufacturera. *Horizonte de Enfermería*, 29(1), 42-55. <http://www.revistadisena.uc.cl/index.php/RHE/article/view/12860>
- Salvador, J. (2018). Riesgos psicosociales del aeropuerto de Manta. *Revista San Gregorio*, (22), 30-39. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6591253>
- Sartzetaki, M., Koltsikoglou, I., Konstantinidis, T. & Dimitriou, D. (2019). Interventions for occupational stress management in air traffic providers. *Journal of Social and Political Sciences*, 2(4), 917-925. <https://www.asianinstituteofresearch.org/JSParchives/Interventions-for-Occupational-Stress-Management-in-Air-Traffic-Providers>
- Secretaría del Trabajo y Previsión Social. (2018). *Las enfermedades de trabajo y los trastornos músculo-esqueléticos por ejercicio o motivo del trabajo, en México*. Gobierno de México. https://trabajoseguro.stps.gob.mx/bol079/vinculos/notas_6.html
- Tharikh, S. & Hamzah, S. (2020). Application of the Wellbeing Theory on Air Traffic Controllers: A Model on How to Flourish in Practice at the Workplace. *The International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences*, 10(5), 522-532. <http://dx.doi.org/10.6007/IJARBS/v10-i5/7225>
- Tomić, I. & Liu, J. (2017). Strategies to Overcome Fatigue in Air Traffic Control Based on Stress Management. *The International Journal of Engineering and Science (IJES)*, 6(4), 48-57. <https://doi.org/10.9790/1813-0604014857>
- Uniting Aviation. (2020). *World Mental Health Day – A message from ICAO’s Secretary General*. ICAO. <https://unitingaviation.com/news/general-interest/world-mental-health-day-a-message-from-icaos-secretary-general/>
- Venesia, Z. & Widyanti, A. (2019). Compatibility between Shift Work and Chronotype in Indonesian Air Traffic Control Workers: View of Performance and Mental Workload. *Journal of Physics: Conference Series*, 1175(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1175/1/012191>

Contribution of international air transport at the entrance of COVID-19 in Brazil*

| Fecha de recibido: 15 de febrero 2022 | Fecha de aprobación: 27 de mayo 2022 |

Viviane Falcão

Doctorado en Ingeniería de Transporte

Docente e investigador. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Centro de Tecnologías y Geociencias Universidad Federal de Pernambuco Brasil

Rol del investigador: experimental y escritura
Grupo de investigación: Airports And Air Transport Economics – Airgroup
<https://orcid.org/0000-0003-0850-4281>
✉ viviane.afalcao@ufpe.br

Francisco Gildemir Ferreira da Silva

Doctorado en Economía

Docente e investigador. Facultad de Economía, Administración, Actuario y Contabilidad Universidad Federal de Ceará Brasil

Rol del investigador: experimental y escritura
Grupo de investigación: Airports And Air Transport Economics – Airgroup
<https://orcid.org/0000-0002-5890-3769>
✉ gildemir@ufc.br

Maurício Oliveira de Andrade

Doctorado en Ingeniería Civil

Docente e investigador. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Centro de Tecnologías y Geociencias Universidad Federal de Pernambuco, UFPE Brasil

Rol del investigador: teórico y escritura
Grupo de investigación: Airports And Air Transport Economics - Airgroup
✉ mauricio.andrade@ufpe.br

Carlos Fabricio Assunção da Silva

Maestría en Ciencias Geodésicas y Tecnologías de Geoinformación

Docente e investigador. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Centro de Tecnologías y Geociencias Universidad Federal de Pernambuco, UFPE Brasil

Rol del investigador: teórico y escritura
Grupo de investigación: Airports And Air Transport Economics – Airgroup
<https://orcid.org/0000-001-7009-8996>
✉ carlos.assuncao@ufpe.br

Nathane Ana Rosa Negri

Maestría en Ingeniería de Infraestructura Aeronáutica

Docente e investigador. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Centro de Tecnologías y Geociencias Universidad Federal de Pernambuco Brasil

Rol del investigador: teórico y escritura
Grupo de investigación: Airports And Air Transport Economics – Airgroup
<https://orcid.org/0000-0002-8641-8023>
✉ nathanenegri@gmail.com

Hélio da Silva Queiroz Júnior

Licenciado en Ingeniería Civil

Docente e investigador. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Centro de Tecnologías y Geociencias Universidad Federal de Pernambuco, UFPE Brasil

Rol del investigador: escritura
Grupo de investigación: Airports And Air Transport Economics - Airgroup
✉ helio.junior@ufpe.br

* Article resulting from research on regional airports and national aviation by the Research Group on Airports and Air Transport Economics - Airgroup of the Postgraduate Program in Civil Engineering at UFPE.

Cómo citar este artículo: Falcão, V., Assunção da Silva, F. A., Ferreira da Silva, F. G., Rosa Negri, N. A., Oliveira de Andrade, M., & Queiroz Júnior, H. S. (2022). Contribution of international air transport at the entrance of COVID-19 in Brazil. *Ciencia y Poder Aéreo*, 17(2), 23-35. <https://doi.org/10.18667/cienciaypoderareo.740>



Contribución del transporte aéreo internacional a la entrada de COVID-19 en Brasil¹

Resumen: Actualmente, el COVID-19 es considerado una de las mayores amenazas para la salud, la seguridad y la economía a nivel mundial. Un intenso movimiento de pasajeros internacionales puede ser crítico tanto para la contingencia como para la propagación de enfermedades en una situación de pandemia. Varios estudios sobre epidemias internacionales y nacionales y su evolución ya han sido abordados en la literatura médica. Sin embargo, aún existen pocos estudios para medir la influencia del transporte aéreo en la propagación del COVID-19 en Brasil. Por lo tanto, este artículo tiene como objetivo verificar si el movimiento de pasajeros aéreos internacionales influyó en la propagación del COVID-19 en Brasil. Para ello se analizó el tráfico aéreo y su concentración, tratando de identificar sus principales entradas y volumen de pasajeros. Posteriormente se utilizaron métodos de regresión estadística para estimar cómo los pasajeros provenientes de países contaminados por COVID-19 influyeron en la propagación de la enfermedad en Brasil. Como resultado principal, se constató que los pasajeros extranjeros desembarcados están directamente relacionados con los casos de COVID-19 en el país, lo que convierte al transporte aéreo en una puerta de entrada del virus.

Palabras clave: aeropuerto internacional; movimiento internacional; COVID-19; modelado de regresión; propagación de la enfermedad.

Contribution of international air transport at the entrance of COVID-19 in Brazil

Abstract: COVID-19 is currently considered one of the greatest threats to health, safety, and the economy worldwide. An intense movement of international passengers may be critical for either the contingency or the spread of disease in a pandemic situation. Various research on international and national epidemics and their evolution have already been addressed in the medical literature. However, there are few studies to measure the influence of air transport on the proliferation of COVID-19 in Brazil yet. Thus, this article aims to verify if the movement of international air passengers influenced the COVID-19 spreading in Brazil. Therefore, air traffic and its concentration were analyzed, trying to identify its main entrances and volume of passengers. After that, statistical regression methods were used to estimate how passengers coming from countries contaminated by COVID-19 influenced the spread of the disease in Brazil. As a main result, it was found that foreign passengers disembarked in Brazil are directly related to the cases of COVID-19 in the country, making air transport a gateway to the virus in Brazil.

Keywords: international airport; international movement; COVID-19; regression modeling; disease spread.

Contribuição do transporte aéreo internacional na entrada da COVID-19 no Brasil

Resumo: Atualmente, o COVID-19 é considerado uma das maiores ameaças à saúde, segurança e economia em todo o mundo. Um movimento intenso de passageiros internacionais pode ser crítico tanto para a contingência quanto para a propagação de doenças em uma situação de pandemia. Diversas pesquisas sobre epidemias internacionais e nacionais e sua evolução já foram abordadas na literatura médica. No entanto, praticamente não existem estudos para medir a influência do transporte aéreo na proliferação da COVID-19 no Brasil. Assim, este artigo tem como objetivo verificar se a movimentação de passageiros aéreos internacionais influenciou a disseminação da COVID-19 no Brasil. Para tanto, analisou-se o tráfego aéreo e sua concentração, procurando identificar suas principais entradas e volume de passageiros. Em seguida, métodos de regressão estatística foram usados para estimar como passageiros vindos de países contaminados pela COVID-19 influenciaram a disseminação da doença no Brasil. Como principal resultado, constatou-se que os passageiros estrangeiros desembarcados no Brasil estão diretamente relacionados aos casos de COVID-19 no país, tornando o transporte aéreo uma porta de entrada para o vírus no Brasil.

Palavras-chave: aeroporto internacional; movimento internacional; COVID-19; modelagem de regressão; propagação de doenças.

¹ Artículo resultado de una investigación sobre aeropuertos regionales y aviación nacional del Grupo de Investigación en Economía de Aeropuertos y Transporte Aéreo - Airgroup del Programa de Posgrado en Ingeniería Civil de la UFPE.

Introduction

Among all transport systems, traveling by air can be considered one of the most important, due to its speed and safety while carrying people and goods (Couto *et al.*, 2015). Air transport has shown consistent growth (ICAO, 2018; SAC, 2020) when compared to other means for medium and long-distance trips. The intense international movement of passengers worldwide was brought about by an increase in the number of passengers and destinations, mainly in air transport hubs. In a pandemic situation, they can represent critical points for either the contingency or the spread of the transmission of respiratory viruses.

The combination of an increasing number of passengers, motivated by the ease of air transport, with the risk of epidemic spreading has been a concern to public health authorities worldwide (Grout *et al.*, 2017). Also, in recent years, several outbreaks of infectious diseases transmitted by air have been reported during air travel (Mangili *et al.*, 2015). Aircraft transmission cases have been studied, such as Severe Acute Respiratory Syndrome (Olsen *et al.*, 2003), influenza pandemic H1N1 (Baker *et al.* 2010), Ebola virus (Mangili *et al.*, 2015), and recently the COVID-19.

According to Sohrabia *et al.* (2020), in December 2019, an unprecedented outbreak of pneumonia of unknown etiology emerged in the city of Wuhan, Hubei province in China, which spread rapidly throughout the region. The virus was identified as a new coronavirus, referred to by the International Virus Taxonomy Committee (ICTV) as Coronavirus 2, which causes a severe acute respiratory syndrome, the SARS-CoV-2 (Benvenuto *et al.*, 2020).

This disease, which might be lethal, is diagnosed by symptoms such as fever, sore throat, runny nose, cough, and difficult breathing (Paital *et al.*, 2020). In January 2020, the new coronavirus, or COVID-19, was considered a public health emergency of international importance by the World Health Organization (WHO, 2020). On March 11, 2020, the World Health Organization (WHO) declared the disease a pandemic, affecting more than 114 countries. This disease infected

more than 5.3 million people until May 21, 2020, resulting in more than 340 thousand deaths. Besides causing damage to the global economy, the pandemic has been jeopardizing tourism and consequently, air transport (UNO, 2020). In this context, COVID-19 is currently considered one of the greatest threats to health, safety, and the economy at a global level. Several types of research on international and national epidemics and their evolution trends have already been addressed in the medical literature. The spread of a disease, with its epidemiological evidence on a global scale, has often been questioned as to whether it is related to air travel (Bogoch *et al.*, 2020; Lau *et al.*, 2020; Sokadjo & Atchadé, 2020; Wilder *et al.*, 2003).

According to Kramer *et al.* (2016), using epidemiological data combined with air and land transport data becomes significant in evaluating and identifying the geographical behavior of infectious diseases. Budd & Ison (2020) affirm that it is relevant to understand the results of transport practices during national lockdowns to develop a new future for transport in a post-COVID world.

Nikolaou & Dimitriou (2020) analyzed the dynamics of the spread of infectious diseases linked to air transport in the European continent. The results demonstrate the effectiveness of European epidemic control. However, additional policy measures were proposed to manage these phenomena. Furthermore, the response time is essential since the aerial mode is often associated with land modes, contributing to the rapid spread of the disease.

Balcan *et al.* (2010) created the Global Epidemic and Mobility (GLEaM) model integrating socio-demographic and population mobility data. The authors expose a stochastic approach to the disease, spatially structured to simulate the spread of epidemics on a worldwide scale. The project for COVID-19 on the GLEaM platform is monitoring the virus in the United States of America.

Thus, studies that assess the likelihood of the spread of diseases worldwide, linked to transport systems, collaborate to identify the dominant paths of a given disease spread (Gautreau *et al.*, 2008). Furthermore, these studies can fulfill a meaningful role in shaping containment policies and measures.

Candido *et al.* (2020), using data from all international flights to Brazil from February to March, 5, 2020, concluded that more than 50 % of all imported COVID-19 cases to Brazil, came from infected passengers from Italy, and around 9 % and 8 % of cases came from infected passengers from China and France.

Studies aiming to measure the influence of air transport on the proliferation of COVID-19, except for Candido *et al.* (2020), were not found in the literature either in Latin America or in Brazil. Therefore, this article aims to analyze the influence of the movement of international air passengers on the beginning of the COVID-19 dissemination process in Brazil, adopting a larger assessment period than Candido *et al.*'s study, from December 2019, when the initial cases appeared worldwide, to the beginning of community transmission in Brazil at the end of March 2020. This research is relevant because Brazil is one of the most affected countries in the world. Furthermore, it may be a significant scientific contribution in discovering the factors that contributed most significantly to the COVID-19 spread, and allowing comparisons between other countries and continents.

Materials and methods

It is necessary to analyze air traffic and its concentration to explain and verify the influence of the intensity of international air travel at the beginning of the spread of COVID-19 in Brazil. Initially, it was necessary to identify the main points of entry and their passenger volume and subsequently use statistical regression methods to estimate the influence of passengers from countries with COVID-19 cases on the spread of the disease in Brazil.

Data base

Brazil is a relevant country in the domestic movement of passengers by air transport due to its continental dimensions. Moreover, as it has several tourist hubs throughout its vast territory and has close relations

with many countries, mainly in Europe and North America. Its international movement is significant. Brazil is the first one in South America in air traffic. So, it has several international flights arriving at and departing from about 19 different airports (SAC, 2020). Figure 1 represents the international airports receiving passengers from the European, Asian, American, and African continents in the months before the worldwide spread of COVID-19.

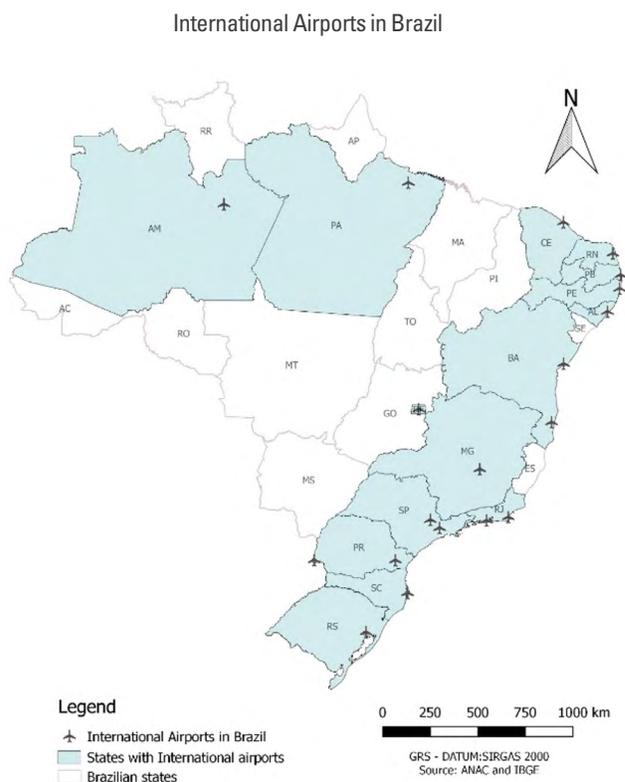


Figure 1. International Airports in Brazil
Font: Created by the authors.

The airports of Salvador (SSA), Fortaleza (FOR), Manaus (MAO), Rio de Janeiro (GIG), São Paulo (GRU e VCP), and Recife (REC) were selected as the basis to test the trigger of the COVID-19 spread, as they represent the main entrance gates for international passengers in Brazil, which means around 90 % of all Brazilian airports (ANAC, 2020). Figure 2 highlights the international air routes to the sampled airports.

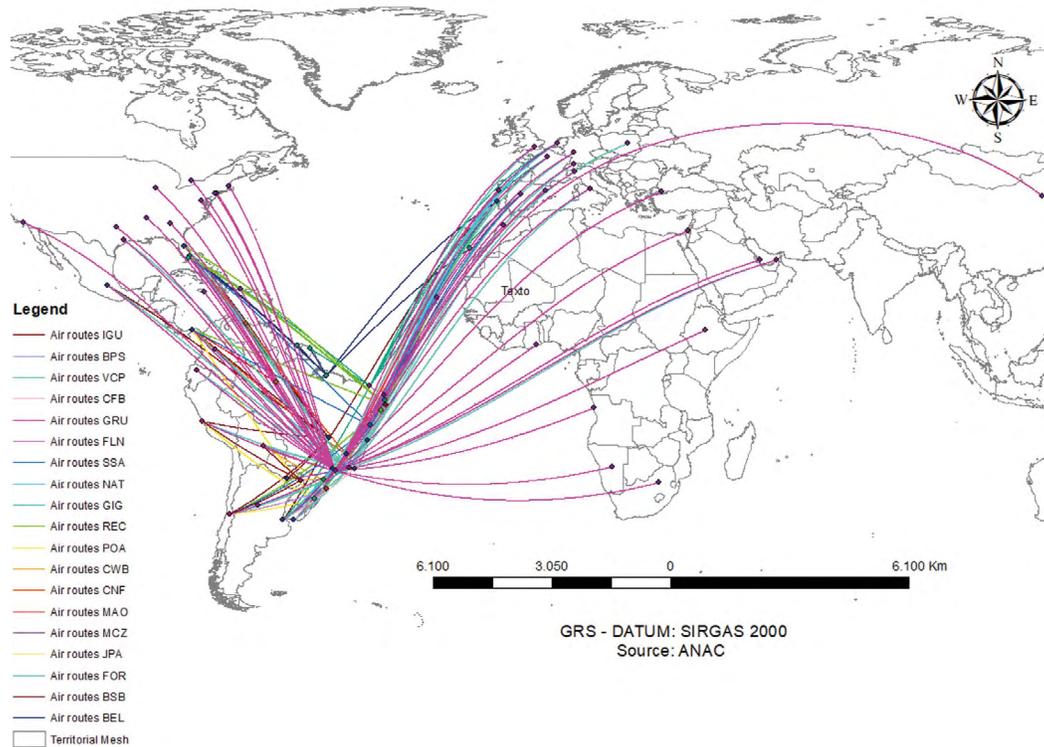


Figure 2. International flights landing in Brazil
 Font: Created by the authors.

There was a significant concentration of routes from Western European and North American countries, where most disease cases were concentrated, after its onset in China. The number of passengers, who disembarked in Brazil there daily, was accounted for the analysis of this influence, based on data from the National Civil Aviation Agency (ANAC, 2020) from December 1, 2019 to March 31, 2020. This period was adopted to assess the international air passenger influence on imported disease cases. After March 31, 2020, COVID-19 infections have occurred through community transmission, as informed by health authorities.

Due to community diffusion, the daily data reported by the Brazilian states from February 26 to March 20, 2020, delivered by the Ministry of Health (Ministério da Saúde, 2020a), was used to determine the confirmed cases of COVID-19.

Other information utilized was the number of confirmed cases of COVID-19 in the countries with passengers arriving at the selected airports. Altogether,

around 39 countries had flights to Brazil. Angola and Cape Verde in Africa did not present any COVID-19 cases until March 20, 2020. These data came from the reports on the Evolution of COVID-19 released by the World Health Organization (WHO). The analysis gathered data from February 26 to March 20, 2020.

Method

In this study, we used both simple and quantile regression, as these modelings offer an extension of the simple regression estimate, based on the mean, for univariate conditional quantile functions through optimization of a linear objective function by parts in waste. Therefore, it is a statistical technique designed to estimate and conduct inferences on the conditional quantile functions (Koenker, 2015).

The author also states that it is a robust regression tool, with critical advantages over simple regression, including robustness to outliers, in the assumption of

normal distribution and quantification of relationships through the complete distribution of the dependent variable. The interpretation of the estimated coefficients by quantile regression is similar to the simple regression coefficients; however, the advantage of using it is associated with the robustness tests of a result measured by simple regression and which indicates the median behavior observed, extending to the behavior of observed quantiles (Koenker, 2015).

Initially, we tested passengers disembarking from international flights as a dependent variable, and the number of cases of COVID-19 in the origin countries as an independent variable. According to Equation 1:

$$Pax_{Int} = f(\text{cumulative}_{\text{covid19}_{int}} \text{cases}) \quad (1)$$

Subsequently, the causal relationship between the cases of COVID-19 accumulated up to March 20, 2020, was tested in the Brazilian states with the highest inflow of international passengers (SSA, FOR, REC, GRU, VCP, and GIG) and also the state of Amazonas (MAO) considered the epicenters in the country as a dependent variable. While, the independent variable is passengers disembarked that were significant in the previous model. For this second model, panel data was used with a daily series, according to Equation 2:

$$\text{Accumulated}_{\text{Covid19}} \text{Cases}_{\text{States}} = f(\text{pax}_{\text{Country}_{\text{epicenters}}}) \quad (2)$$

A variation of the Equation 2 model was tested to analyze the relationship of new COVID-19 cases per day in a Brazilian states due to a higher number of international passengers coming not only from Europe and the United States (SSA, FOR, REC, GRU, VCP, and GIG) but also from the states considered the epicenters in the country (MAO), as a dependent variable and the passengers who were significant in the previous model. For this second model, we used panel data with dimensions (6 states x 111 days), according to Equation 3:

$$\text{New covid cases BR} = (\text{pax}_{\text{Country}_i}) \quad (3)$$

Results

This section presents the results of the modeling mentioned in the previous topic. The Gretl software (2017) has processed the models. Initially, model 01 identified the relationship between the number of international passengers landing in Brazil and the number of COVID-19 cases in their countries of origin. This model aims to analyze the first perceptions and conduct the following models. According to Equation 1, Ordinary Least Squares (OLS) estimates the parameters of model 01 by the logarithmization of the variables to facilitate the direct analysis of the elasticities. Table 1 shows the results:

Table 1. Model 1 international passengers with Simple Regression. Model 01: OLS, observations 1-39 (n = 37) Dependent Variable: I_Pax_Int

	Coefficient	Standard error	t-ratio	p-value	
const	6.61522	0.903358	7.323	<0.0001	***
I_COVID_country	0.528458	0.147392	3.585	0.0010	***
var. dependent average	9.533151		S.D. var. dependente		2.749664
Sum of square residues	199.0684		E.P. regression		2.384884
R-square	0.268624		R-adjusted square		0.247727
F (1, 35)	12.85499		P-value(F)		0.001016
Log - likelihood	-83.63125		Akaike Criterion		171.2625
Schwarz Criterion	174.4843		Hannan-Quinn Criterion		172.3983

Font: Created by the authors.

Model 01 results in a R^2 determination coefficient of 0.268, which measures the model's adherence to the data. However, we did not intend to predict, but to assess the tendency shown by the data as our aim is to find if there is a casualty link between International Passengers landing in Brazil and the COVID-19 cases in the country where these flights came. Thus, the independent variable, the logarithm of COVID-19 cases in their countries of origin, is statistically significant ($p = 0,001$) with a positive coefficient (0.528458). In other words, the number of COVID-19 cases in their countries of origin has a positive relationship with the number of international passengers disembarked in Brazil, which is controlled by the number of COVID-19 cases per country. Statistically, for an increase of 1 % of COVID-19 cases in Brazil, in the period, almost 0.528 % of them might be a contribution from international passengers.

Subsequently, through the leverage and influence tests, as shown in figure 3, we tried to identify the countries with greater influence in model 01. At first, the countries numbered 31 and 10 (China and Italy), showed critical importance in the results as they represent the start of the pandemic worldwide and the first spread in Europe. This result corroborates with the findings of Candido *et al.* (2020) in Brazil.

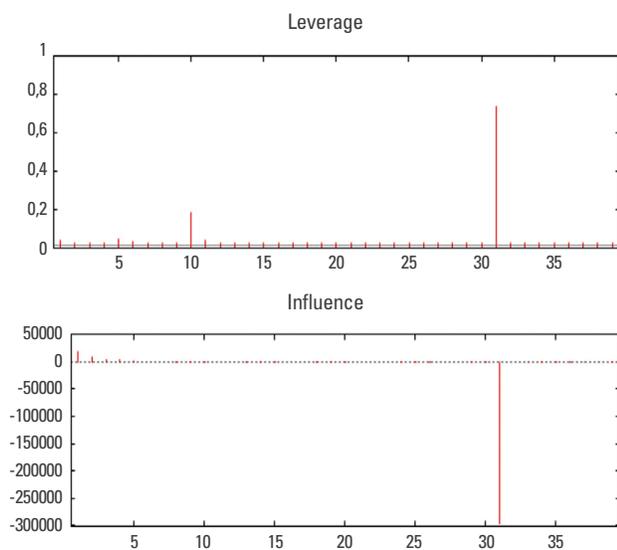


Figure 3. Graph to identify influential observations - Leverage and influence
Font: Created by the authors.

To test the robustness of model 01, a quantile regression was applied by adding the dummy variable ($D_Epicenters_Int$). This dummy variable is related to countries showing, at the time, a significant COVID-19 incidence. We consider the dummy variable equal to 1 when relating to epicenters with more than 2,000 cases by March 20, 2020. Moreover, they represent countries that maintain frequent flights to Brazil. In addition to Italy and China, Spain, the United States, Germany, France, Switzerland, the United Kingdom, and the Netherlands were added to the analysis of the Model 02, as they were considered epicenters before Brazil.

Table 2 identifies the results of model 02, also depicting Equation 1. The observations are based on 39 countries with flights to Brazil in the period.

Table 2.
Model 2: Quantile estimates, using observations 1-39. Dependent variable: Pax_Int. Asymptotic standard errors assuming IID errors

	tau	coeficient	error	t-ratio
Const	0.050	55.9480	35.8638	1.56001
	0.250	1704.07	822.607	2.07155
	0.500	20377.6	5997.50	3.39768
	0.750	57259.8	14622.1	3.91598
	0.950	242332	17337.7	13.9772
D_Epicenters_Int	0.050	41459.9	93.6760	442.588
	0.250	77645.7	2148.64	36.1371
	0.500	73323.4	15665.4	4.68059
	0.750	101154	38192.8	2.64851
	0.950	465193	45285.8	10.2724
COVID_country	0.050	-0.473979	0.00272674	-173.826
	0.250	-0.939748	0.0625431	-15.0256
	0.750	-1.91310	1.11172	-1.72084
	0.950	-8.67314	1.31819	-6.57958
dependent var Median 34102.00			D.P. var. dependent 113636.2	

Font: Created by the authors.

We observed that the dummy variable is statistically significant according to its t-ratio. All coefficients are positive, demonstrating a direct relationship with international passengers coming from these countries. The model shows that 41,459.9 passengers were

influenced by 5 % of COVID-19 cases, 77,645.7 were influenced by 25 % of COVID-19 cases, and so on.

On the other hand, the variable COVID country did not adopt the logarithmic model, but the results supported the thesis, since when evaluating the cases of COVID in these countries, the coefficient was negative, demonstrating that with the increase in cases of COVID worldwide, there was a decrease in international passengers. Since the government adopted restrictive measures on air transport, lots of flights and routes have been temporarily canceled (Monmousseau *et al.*, 2020).

Also, we noticed from Model 02 and the variable D_Epicenters_Int, that foreign passengers related to COVID-19 cases had come from those countries where cases were confirmed before Brazil. It can be explained as these regions were epicenters of the pandemic, following China, where the pandemic started (Ceylan 2020; Lau *et al.* 2020).

Thus, models 03, 04, and 05 were processed. The purpose of these models was to find a causal relationship, according to Equation 2. In other words, the cases of COVID-19 in Brazilian states with passengers coming from epicenter countries were investigated. It is worth mentioning that the Brazilian states with the most cases of coronavirus are the ones where the international airports are located, which means passengers disembarking from the epicenters before March 20, 2020.

Table 3 compares three models estimated using the Ordinary Least Squares Method (OLS). There were few observations, only six Brazilian states, but the models showed results statistically significant.

Table 3.
Comparison of models using OLS

Type of model	Model 03		Model 04		Model 05	
	lin-lin		log-lin		log-log	
Variable dependent	COVID_ES		ln_COVID_ES		ln_COVID_ES	
	Coef	p-value	Coef	p-value	Coef	p-value
Const	14.6143	0.2597	3.00532	0.0059***	-5.0283	0.127
Pax_Epi	0.000446	0.0001***	0.00000385	0.0695*		
In_Pax_Epi					0.8032	0.027**
R ² adjusted	0.976388		0.50306		0.679119	

Font: Created by the authors.

In all models, the adjusted determination coefficients (R^2) present values ranging from 50 % to 98 %. Passengers disembarked from epicenter countries are positively related to cases of COVID-19 in the states of destination in Brazil within the confidence level of 0.01 to 7 %. That is, the greater the number of passengers coming from the epicenters, the greater the increase in the number of cases of COVID-19 in the assessed Brazilian states.

Thus, Model 06 was elaborated to investigate the real influence of the nine countries considered epicenters and associate them with the trigger of COVID-19 in Brazil, and also to analyze whether they all present the same percentages of virus spread. Furthermore, the model collaborates with the objective of validating the initial research hypothesis, in which it maintains a positive relationship between the international movement of air passengers and the first cases of COVID-19 in Brazil.

The estimation of Model 06 was made through OLS, as shown in Equation 3. The structure of this panel model is based on data from the five states with the largest number of cases in Brazil, up until March 20, 2020. It also included, the State of Bahia, where there is also an international airport with a high frequency of flights from Europe and the United States of America. Table 4 indicates the results of this model.

Table 4.
Model 6: Grouped OLS, using 666 observations, 6 cross-cutting units included. Time series length = 111. Dependent variable: New Cases

	Coefficient	Standard error	t-ratio	p-value	
Const	31.3899	3.51014	8.943	<0.0001	***
Pax_Germany	-0.00178739	0.00232573	-0.7685	0.4425	
Pax_China	0.0314637	0.0115597	2.722	0.0067	***
Pax_Spain	-0.00407064	0.00207678	-1.960	0.0504	*
Pax_USA	-0.00178106	0.00106776	-1.668	0.0958	*
Pax_France	0.00400711	0.00251358	1.594	0.1114	
Pax_Netherlands	-0.0128736	0.00356195	-3.614	0.0003	***
Pax_Italy	-0.0508459	0.00513997	-9.892	<0.0001	***
Pax_UK	0.0279609	0.00319712	8.746	<0.0001	***
Pax_Switzerland	0.00847840	0.00442319	1.917	0.0557	*

Continues

	Coefficient	Standard error	t-ratio	p-value	
Pax_Other	-0.00112601	0.00110774	-1.016	0.3098	
du_1	-31.3990	3.30657	-9.496	<0.0001	***
du_2	-32.1331	3.38475	-9.494	<0.0001	***
du_3	-30.3955	3.19540	-9.512	<0.0001	***
du_4	-31.3104	3.25638	-9.615	<0.0001	***
du_5	-25.4810	2.85404	-8.928	<0.0001	***
Time	0.0180875	0.00670906	2.696	0.0072	***
Dependent var. average	0.939940	S.D. dependent var.	6.778737		
Sum of square residues	18018.27	E.P. of regression	5.269073		
R-squared	0.410351	R-adjusted square	0.395814		
F (16, 649)	28.22837	P-value (F)	5.98e-64		
Log likelihood	-2043.198	Akaike Criterion	4120.395		
Schwarz Criterion	4196.917	Hannan-Quinn Criterion	4150.044		
Rô	0.060410	Durbin-Watson	1.235243		

Font: Created by the authors.

Model 06 constitutes as a dependent variable the new cases of COVID-19 in the six analyzed states. As independent variables were used, passengers disembarked from countries that were considered significant in Model 2 (China, Italy, Spain, the United States, Germany, France, Switzerland, the United Kingdom, and the Netherlands) and passengers from other countries. In addition, categorical variables (du_1 to du_6) were included in order to represent the states, namely: 1 = Bahia, 2 = Amazonas, 3 = Ceará, 4 = Pernambuco, 5 = Rio de Janeiro and 6 = São Paulo. Finally, it was included a time trend variable in the relationship among the variables.

The model results in a coefficient of determination R^2 of 0.41. This could be considered a low value for prediction. In searching for causality, it is more relevant to analyze its significance by the p-value. When analyzing the coefficient of the variables, it seems that passengers from China, the United Kingdom, and Switzerland contributed positively and significantly (p -value ≤ 0.05) to the increase in cases of COVID-19 in the Brazilian States. It is important to highlight that the only states that received passengers disembarked from these countries were Rio de Janeiro and São Paulo.

From this data, Spain, the United States, the Netherlands, and Italy showed a significant (p -value ≤ 0.05) but negative correlation. Thus, it is not possible to support the relationship between new coronavirus cases and passengers landing from these countries. Finally, Germany, France and other countries the parameters were insignificant in the performed analysis.

The variables of interest are the level changes within the categories (du_1 to du_6). The other variables are the effects control of the countries. Regarding the categorical variables representing the states, we observed that all showed a negative sign, except for the State of São Paulo. It points out that São Paulo presents a more intense influence in new COVID-19 cases, associated with the arrival of passengers from other countries, while the State of Amazonas reveals the lowest.

Discussions

The results of this research indicate that the number of COVID-19 cases in the world has negatively influenced the number of passengers who disembarked from international flights in Brazil. This fact was already expected, as the explosion of COVID-19 cases in countries with more connections to Brazil caused air travel to decrease. In addition, not only air transport from Brazil but also worldwide had to be repressed, either with reduced routes or flight cancellations. These measures were supported by regulatory agencies, as well as by federal and state governments.

The results of Model 01 infer that there was a positive relationship between the number of international passengers landed in Brazil and the number of COVID-19 cases in the respective countries, which corroborates with the measures articulated by government officials, regulatory bodies, and health agencies to restrict air transport during epidemic periods. However, according to Nikolaou & Dimitriou (2020), the response time of these decisions is fundamental to visa control. In the case of Brazil, these actions did not take place in due time. For example, while European

countries were experiencing a gradual return of the air mode with some necessary health restrictions, Brazil had suffered a drop of 98 % in international passengers, compared April 2019 with April 2020, and for domestic passengers, 94.5 % (SAC, 2020).

Model 02 was processed to test the robustness of model 01 and ascertain the relationship between international passengers landed, and the number of COVID-19 cases in the countries analyzed. In the model, categorical variables were also used, representing the countries considered as epicenters in this study, with more than 240 thousand cases of the coronavirus before March 20, 2020.

Thus, countries like China, Italy, Spain, the United States, Germany, France, Switzerland, the United Kingdom, and the Netherlands are positively associated with the total passengers who disembarked in Brazil. It is worth mentioning that most of these countries constitute direct routes to the airports of the states that have registered the highest number of COVID-19 cases in Brazil, which are Ceará, Pernambuco, São Paulo, and Rio de Janeiro.

The model also showed that the number of COVID-19 cases in the countries previously mentioned had a significant, and negative correlation with the number of international passengers disembarked in Brazil. It suggests that as the cases increased, air passenger numbers decreased. It demonstrated that people decided to travel less, reinforcing the measures taken by the regulatory agencies to stop air transport.

With these first results showing a strong correlation with passengers originating from the most affected countries, new tests were carried out to find a causal correlation among passengers disembarked from these countries with the states with the highest number of COVID-19 cases in Brazil, before March 20, 2020, and which airports have international air routes. According to Sokadjo and Atchadé (2020), we can assume that when passenger air traffic increases, the number of COVID-19 cases may also increase.

Besides the states of Amazonas, Ceará, Pernambuco, Rio de Janeiro, and São Paulo, the state of Bahia was included on the list, which, despite not registering many cases, received more international passengers

than the state of Amazonas, for example. The models 03, 04, and 05 showed that passengers disembarked from epicenter countries are positively related to COVID-19 cases in the states of arrival, that is, the greater the number of passengers, the higher the number of cases in the states. As a result, there is a significant relationship between the movement of air passengers and the number of confirmed cases in these states.

However, passengers from countries considered epicenters might not have the same trigger intensities as the virus spread in Brazilian states. Thus, the last model comprised testing the casualties of international passengers with the number of COVID-19 cases in the Brazilian states previously mentioned. In addition, this model seeks to answer the critical study objective. So, is it possible that international air transport was the trigger for the spread of COVID-19 in Brazil?

Model 06 includes daily data on the new COVID-19 cases and passengers disembarked from the most critical countries as well as passengers coming from the other countries. The results show that passengers from China, the United Kingdom, and Switzerland contributed positively to the increase in COVID-19 cases. These results corroborate the studies by Lau *et al.* (2020), which suggest a strong relationship between COVID-19 infections and the movement of international air passengers.

However, when comparing states, São Paulo revealed a more significant influence on international passengers with increasing COVID-19 cases. The other states demonstrated less influence compared to São Paulo, being the state of Amazonas the one to exert the lowest influence.

The results indicate that the gateway for the virus, through air transport, was the State of São Paulo. São Paulo presents the International Airport of São Paulo/ Guarulhos as the international airport with the highest number of passengers, having passengers disembarked from all countries that were epicenters of COVID-19 before Brazil, in addition to being the main international hub airport. In 2019, the airport had a demand of almost 43 million passengers, both international and national.

Due to the large territorial extension of Brazil, most people travel not only by air transport, but also by

road. Thus, it is possible that the coronavirus cases spread to other states through the movement of domestic passengers and by other transport means. Brazil comprises 26 states and one federal district (IBGE, 2020). The airports of the State of São Paulo, São Paulo International Airport/Guarulhos and Campinas International Airport/Viracopos present regular domestic routes to all Brazilian states.

It is convenient to point out, that due to the vast territorial extension of Brazil, a diversity of both climate and temperature, as well as cultural and economic differences, the State of Amazonas presents the least influence of new cases of COVID-19 associated to the arrival of international passengers, followed by Bahia, Pernambuco, Ceará and Rio de Janeiro.

It is worth noting that, due to Brazil's vast territorial extent, a diversity of climate and temperature, as well as cultural and economic differences, the State of Amazonas has the least influence on new COVID-19 cases associated with the arrival of international passengers, followed by Bahia, Pernambuco, Ceará, and Rio de Janeiro.

In the State of Amazonas, up to May 24, 2020, there were 29,867 coronavirus cases and 1,758 deaths (Ministério da Saúde, 2020b). According to the National Institute of Meteorology-INMET (2020), this state presented the highest national rainfall index, with an average of 3,000 mm in 2019.

Therefore, in addition to rainfall factors influencing the spread of COVID-19 in the State of Amazonas, which is in line with the study of Sobral *et al.* (2020), social and economic factors are fundamental for the spread of the disease through community transmission.

This article also confronts the results obtained by Sajadi *et al.* (2020), as the case of Brazil revealed that a hot and tropical climate also enables the spread of the virus. The number of confirmed COVID-19 cases in Brazil, until May 25, 2020, was the second worldwide, being behind the United States only.

Regarding the northeastern states, Pernambuco, Ceará, and Bahia, all of them had high numbers of confirmed cases of the virus and a high number of deaths, except for Bahia, which until May 24, 2020, had 460 deaths.

The southeastern states of Rio de Janeiro and São Paulo also show a significant number of confirmed cases and deaths. Rio de Janeiro presents this number of cases as it is considered a highly touristic state. In addition, many international flights to Rio have connections in São Paulo. And São Paulo, as an economic business hub, attracts many foreigners as well as Brazilians from all over the country.

According to Suau *et al.* (2020) the larger airports like the ones considered in this study will be the first to attract new airlines to provide safe traffic and stay on the market. Then these conclusions on the problem of the spread of COVID-19 among countries on different continents can help governments and their technical and managerial bodies plan new action strategies, or in more precise terms, plan actions to combat and mitigate the spread of diseases like COVID-19.

Conclusion

A few studies associating air transport and the spread of respiratory viral diseases were reviewed in the literature. Concerning Brazil, only one work was related to this theme. Large parts of the studies are in the medical field. Therefore, this article pointed out a gap in studies on viral diseases related to air transport, in addition to represent a current theme in the global context and of importance to several agencies, airport operators, concessionaires, and users of the system.

The main result of this work identified that the initial trigger of the disease was the virus's arrival in Brazil, through international air passengers from China, the United Kingdom, and Switzerland, disembarking at airports in Sao Paulo. For future research, it is suggested: (i) the application of spatial statistics in order to verify the spatial pattern of the virus spread in Brazil; (ii) individual analysis of each international airport in order to find the air routes responsible for the main disseminators of the virus; (iii) the evaluation of the spread of the virus in Brazil due to regular domestic air routes; (iv) the analysis of the contribution of other means of transport in Brazil to the spread of the disease, mainly

on road and sea transport; and (v) an investigation in more detail of the relationship between COVID-19 cases and social and economic factors.

Conflicts of interest : We declare that we have no conflicts of interest.

References

- ANAC. (2020). *Assuntos dados e estatísticas*. Agência Nacional de Aviação Civil. <https://www.anac.gov.br/assuntos/dados-e-estatisticas/mercado-de-transporte-aereo/consulta-interativa/demanda-e-oferta-ranking-de-aeroportos>
- Baker, M. G., Thornley, C. N., Mills, C., Roberts, S., Perera, S., Peters, J., Kelso, A., Barr, I. & Wilson, N. (2010). Transmission of pandemic A/H1N1 2009 influenza on passenger aircraft: Retrospective cohort study. *The British Medical Journal*, 21: 1-7. <https://doi.org/10.1136/bmj.c2424>
- Balcan, D., Gonçalves, B., Hu, H., Ramasco, J. J., Colizz, V. & Vespignani, A. (2010). Modeling the spatial spread of infectious diseases: The Global Epidemic and Mobility Computational Model. *Journal of Computational Science*, 1, 132-145. <https://doi.org/10.1016/j.jocs.2010.07.002>
- Benvenuto, D., Giovanetti, M., Ciccozzi, A., Spoto, S., Angeletti, S. & Ciccozzi, M. (2020). The 2019-new coronavirus epidemic: evidence for virus evolution. *Journal of Medical Virology*, 92, 455-459. <https://doi.org/10.1002/jmv.25688>
- Bogoch, I. I., Watts, A., Thomas, A., Huber, C., Kraemer, U. G. & Khan, K. (2020). Potential for global spread of a novel coronavirus from China. *Journal of Travel Medicine*, 2, 1-3. <https://doi.org/10.1093/jtm/taaa011>
- Budd, L. & Ison, S. (2020). Responsible Transport: A post-COVID agenda for transport policy and practice. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 6. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2020.100151>
- Candido, D. S., Faria, N. R., Watts, A., Abade, L., Kraemer, U. G., Pybus, O. G., Croda, J., Oliveira, W., Khan, K. & Sabino, E. C. (2020). Routes for COVID-19 importation in Brazil. *Journal of Travel Medicine*, 27(3). <https://doi.org/10.1093/jtm/taaa042>
- Ceylan, Z. (2020). Estimation of COVID-19 prevalence in Italy, Spain, and France. *Science of The Total Environment*, 729. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138817>
- Couto, G. S., Silva, P. C., Ruiz, L. B. & Benevenuto, F. (2015). Structural Properties of the Brazilian Air Transportation Network. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*; 87, 1653-1674. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201520140155>
- Gautreau, A., Barrat, A. & Barthelemy, M. (2008). Global disease spread: Statistics and estimation of arrival times. *Journal of Theoretical Biology*, 251 509-522. <https://doi.org/10.1016/j.jtbi.2007.12.001>
- Gretl. (2017). *GNU Regression, econometric and time-series library (Gretl)*. Software. <http://gretl.sourceforge.net/>
- Grout, A., Howard, N., Coker, R. & Speakman, E. M. (2017). Guidelines, law, and governance: disconnects in the global control of airline-associated infectious diseases. *The Lancet Infectious Diseases*, 17, 118-122. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(16\)30476-5](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(16)30476-5)
- IBGE. (2020). *Cidades e estados*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados.html?view=municipio>
- ICAO. (2018). *Annual report 2018*. International Civil Organization. Available in: https://www.icao.int/annual-report-2018/Documents/Annual.Report.2018_Air%20Transport%20Statistics.pdf
- INMET. (2020). *Análise do tempo e do clima*. Instituto Nacional de Meteorologia. <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/page&page=desvioChuvaAnual>
- International Air Transport Association (IATA). Montreal. <https://www.iata.org/>
- Koenker, R. (2015). Quantile Regression. *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences (Second Edition)*, Elsevier, 712-718. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-097086-8.42074-X>
- Kramer, A. M., Pulliam, J. T., Alexander, L. W., Park, A. W., Rohani, P. & Drake, J. M. (2016). Spatial spread of the West Africa Ebola epidemic. *Royal Society Open Science*, 3(8).
- Lau, H., Khosrawipour, V., Kocbach, P., Mikolajczyk, A., Ichii, H., Zacharski, M., Bania, J. & Khosrawipour, T. (2020). The association between international and domestic air traffic and the coronavirus (COVID-19) outbreak. *Journal of Microbiology, Immunology and Infection*, 53(3), 467-472. <https://doi.org/10.1016/j.jmii.2020.03.026>
- Mangili, A., Vindenes, T. & Gendreau, M. (2015). Infectious risks of air travel. *Microbiology Spectrum*, 3, 1-10. <https://doi.org/10.1128/microbiolspec.IOL5-0009-2015>
- Ministério da Saúde. (2020a). *Painel de casos de doença pelo coronavírus 2019 (COVID-19) no Brasil pelo Ministério da Saúde*. <https://covid.saude.gov.br/>

- Ministério da Saúde. (2020b). <https://www.gov.br/saude/pt-br/coronavirus/informes-diarios-covid-19>
- Monmousseau, P., Marzuoli, A., Feron, E. & Delahaye, D. (2020). Impact of Covid-19 on passengers and airlines from passenger measurements: Managing customer satisfaction while putting the US Air Transportation System to sleep. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 7, 100179. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2020.100179>
- Nikolaou, P. & Dimitriou, L. (2020). Identification of critical airports for controlling global infectious disease outbreaks: Stress-tests focusing in Europe. *Journal of Air Transport Management*, 85, 101819. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2020.101819>
- Olsen, S. J., Chang, H. L., Cheung, Y. Y., Tang, F. Y., Fisk, T. L., Ooi, P. L., Kuo, H. W., Jiang, D. S., Chen, K. T., Lando, J., Hsu, K. H. & Chen, T. J. (2003). Transmission of the severe acute respiratory syndrome on aircraft. *The New England Journal of Medicine*, 349, 2416-2422. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa031349>
- Paital, B., Kabita D., and Sarat K. P. (2020). "Inter nation social lockdown versus medical care against COVID-19, a mild environmental insight with special reference to India." *Science of the total environment* 728, 138914. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138914>
- SAC. (2020). *Secretaria de Aviação Civil. Website Hórus. Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil.* <https://horus.labtrans.ufsc.br/gerencial/#Movimentacao/Ranking>
- Sajadi, M. M., Habibzadeh, P., Vintzileos, A., Shokouhi, S., Miralles, F. & Amoroso A. (2020). *Temperature, humidity, and latitude analysis to predict potential spread and seasonality for COVID-19.*
- Sobral, F. F., Duarte, G. B., Sobral, G. P., Marinho, L. M. & Melo A. S. (2020). Association between climate variables and global transmission of SARS-CoV-2. *Science of the Total Environment* 729, 138997. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138997>
- Sohrabia, C., Alsafi, Z., O'neilla, N., Khan, M., Kerwan, A., Al-Jabir, A., Iosifidis, C. & Aghad, R. (2020). World Health Organization declares global emergency: A review of the 2019 novel coronavirus (COVID-19). *International Journal of Surgery*, 76, 71-76. <https://doi.org/10.1016/j.ijisu.2020.02.034>
- Sokadjo, Y. M. & Atchadé, M. N. (2020). The influence of passenger air traffic on the spread of COVID-19 in the world. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 8, 100213. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2020.100213>
- Suau, P., Voltés, A. & Cugueró, N. (2020). An early assessment of the impact of COVID-19 on air transport: just another crisis or the end of aviation as we know it? *J. Transport Geogr.*, (86), 102749. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2020.102749>
- Wilder, A., GOH, K. T. & Paton, N. I. (2003). Experience of severe acute respiratory syndrome in Singapore: importation of cases, and defense strategies at the airport. *Journal of Travel Medicine*, 10(5), 259-262.
- World Health Organization. *Coronavirus disease (COVID-19) outbreak.* Geneva: WHO; 2020. Available in <https://www.who.int/emergencies/diseases/novelcoronavirus-2019>. Accessed on: March 14, 2022.

Evaluación computacional del compartimiento de carga de una aeronave liviana, usando *software* libre

| Fecha de recibido: 24 de abril 2022 | Fecha de aprobación: 18 de junio 2022 |

Héctor Enrique Jaramillo Suárez

Doctor en Ingeniería: Área Mecánica de Sólidos
Docente e Investigador. Universidad
Autónoma de Occidente
Colombia
Rol del investigador: teórico, experimental, escritura
Grupo de investigación: Ciencia e
Ingeniería de Materiales
<https://orcid.org/0000-0002-7324-9478>
✉ hjsuarez@uao.edu.co

Brian Quintero Jiménez Cuero

Magíster en Ingeniería
Investigador. Centro Red Tecnológico
Metalmeccánico del Pacífico (CRTM)
Colombia
Rol del investigador: teórico, experimental, escritura
Grupo de investigación: Ciencia e
Ingeniería de Materiales
<https://orcid.org/0000-0002-8843-6639>
✉ cies.co@gmail.com

Iván Orlando Ortega Cabrera

Especialista en Energías Renovables
Investigador. Centro Red Tecnológico
Metalmeccánico del Pacífico (CRTM)
Colombia
Rol del investigador: teórico, experimental, escritura
<https://orcid.org/0000-0003-3774-7020>
✉ ivortega.c@gmail.com

Carlos Enrique Ríos Chaparro

Ingeniero Industrial
Investigador. Centro Red Tecnológico
Metalmeccánico del Pacífico (CRTM)
Colombia
Rol del investigador: teórico, experimental, escritura
<https://orcid.org/0000-0001-6532-7045>
✉ crtmcali@crtmdelpacifico.org.co

Gustavo Adolfo Zambrano Romero

Ph.D en Física
Docente e Investigador. Universidad del Valle
Colombia
Rol del investigador: teórico, experimental, escritura
Grupo de investigación: Grupo de Películas Delgadas
<https://orcid.org/0000-0002-0858-6013>
✉ gustavo.zambrano@correounivalle.edu.co

Cómo citar este artículo: Jaramillo Suárez, H. E., Jiménez Cuero, B. Q., Ríos Chaparro, C. E., Ortega Cabrera, I. O., y Zambrano Romero, G. A. (2022). Evaluación computacional del compartimiento de carga de una aeronave liviana, usando software libre. *Ciencia y Poder Aéreo*, 17(2), 36-51. <https://doi.org/10.18667/cienciaypoderaereo.749>



Evaluación computacional del compartimento de carga de una aeronave liviana, usando *software* libre

Computational evaluation of the cargo compartment of a light aircraft, using free *software*

Avaliação computacional do compartimento de carga de uma aeronave leve, utilizando *software* gratuito

Resumen: Este documento presenta la evaluación estructural del cuerpo de una aeronave ligera de categoría VLA (masa máxima al despegue inferior o igual a 1200 kg), usando *software* de dinámica computacional de fluidos (CFD) para evaluar el comportamiento aerodinámico de la aeronave y el método de elementos finitos para evaluar su comportamiento estructural. Para su evaluación estructural la aeronave se dividió en cabina, cuerpo y superficies de vuelo (alas y empenaje). Los modelos completos de la aeronave fueron extraídos del modelo CAD, elaborado con el *software SolidWorks®* para cada uno de los subcomponentes de la cabina, el cuerpo y las alas y el empenaje. A partir de los cálculos y simulaciones hechas, se concluyó que la estructura central de la aeronave soporta las fuerzas y momentos aerodinámicos, con valores de esfuerzos por debajo de los valores de fluencia del material y factores de seguridad entre 1.58 y 2.60. Sin embargo, se necesita reforzar la unión del ala al fuselaje para que disminuya el esfuerzo localizado que se produce en esa zona. A diferencia de otros métodos reportados en la literatura que utilizan programas muy especializados y de altos costos, el procedimiento para evaluar la aerodinámica y la estructura central de una aeronave liviana categoría VLA que se desarrolló en este estudio, hizo uso de programas de dominio público, en alrededor de 80 % en el proceso de análisis.

Palabras clave: cálculo estructural; dinámica computacional de fluidos (CFD); elementos finitos; *software* de código abierto; ultraliviano.

Abstract: This paper shows the structural evaluation of a VLA category light aircraft (maximum take-off mass less than or equal to 1200 kg), using computational fluid dynamics (CFD) *software* to evaluate the aerodynamic behavior of the aircraft and the finite element method to evaluate its structural behavior. For its structural evaluation, the aircraft has been divided into cabin, body, and flight surfaces (wings and empennage). The complete models of the aircraft were extracted from the CAD model made using SolidWorks® Software for each of the sub-components of the cockpit, body and wings, and the empennage. From the calculations and simulations performed, it was concluded that the central structure of the aircraft supports the aerodynamic forces and moments adequately, having values below the yield values of the material. However, it is necessary to reinforce the attachment of the wing to the fuselage to reduce the effort produced in that area. Unlike other methods reported in the literature that use very specialized and high-cost programs, the procedure to evaluate the aerodynamics and central structure of a VLA category light aircraft that was developed in this study made use of public domain programs, at around 80 % of the analysis process.

Keywords: structural evaluation; computational fluid dynamics; finite element method; open-source *software*; light aircraft.

Resumo: Este documento apresenta a avaliação estrutural do corpo de uma aeronave leve categoria VLA (massa máxima de decolagem menor ou igual a 1200 kg), utilizando *software* de dinâmica de fluidos computacional (CFD) para avaliar o comportamento aerodinâmico da aeronave e o método de elementos finitos avaliar seu comportamento estrutural. Para sua avaliação estrutural, a aeronave foi dividida em cabine, corpo e superfícies de voo (asas e empenagem). Os modelos completos da aeronave foram extraídos do modelo CAD elaborado com o *software SolidWorks* para cada um dos subcomponentes do cockpit, o corpo e as asas e a empenagem. Com base nos cálculos e simulações realizados, concluiu-se que a estrutura central da aeronave suporta as forças e momentos aerodinâmicos, com valores de tensão abaixo dos valores de escoamento do material e fatores de segurança entre 1,58 e 2,60. No entanto, é necessário reforçar a união da asa à fuselagem para reduzir o estresse localizado produzido nessa área. Diferentemente de outros métodos relatados na literatura que utilizam programas muito especializados e de alto custo, o procedimento de avaliação da aerodinâmica e da estrutura central de uma aeronave leve da categoria VLA que foi desenvolvido neste estudo, fez uso de programas de domínio público, em cerca de 80 % processo de análise.

Palavras-chave: cálculo estrutural; fluidodinâmica computacional (CFD); elementos finitos; *software* livre; ultraleve.

Introducción

Los métodos numéricos (análisis por elementos finitos «FEA», dinámica de fluidos computacional «CFD») se han convertido en una herramienta fundamental en los procesos de diseño de la ingeniería actual. Estas herramientas, permiten predecir el estado de esfuerzos y deformaciones de estructuras (Jaramillo y Areiza, 2000), análisis de fluido, análisis de transferencia de calor, análisis biomecánico (Jaramillo *et al.*, 2012), etc.

Uno de los primeros pasos para realizar un análisis de ingeniería es desarrollar una malla que represente adecuadamente la geometría de la estructura. Es por esto que el proceso de la generación de las mallas tridimensionales, a partir del modelo CAD¹, es una de las tareas de mayor importancia. Este paso se considera uno de los cuellos de botella del procedimiento (Kallemeyn *et al.*, 2009; Kumaresan *et al.*, 1999; Tyndyka *et al.*, 2007), ya que la precisión de los resultados y la velocidad de cálculo dependen de la calidad de la malla usada. Si bien en el mercado se encuentran opciones para generar las mallas huérfanas de elementos finitos en un solo módulo (MIMICS Financial Software, 2022), estos programas especializados, como por ejemplo Abaqus (Park *et al.*, 2009; Qiu *et al.*, 2021) y Ansys (Al-hadi *et al.*, 2016; Triet *et al.*, 2015), tienen costos muy elevados que hacen difícil su uso en pequeñas empresas y en grupos de investigación con presupuesto limitado.

Debido al costo del *software* en algunas aplicaciones específicas, surgió en los años 80 el movimiento licencia pública general (General Public License «GPL» 2020), creado como un mecanismo para impulsar el uso de *software* libre. La licencia GPL obliga al desarrollador a hacer públicos los códigos fuente del *software*, con el fin de permitir a sus usuarios hacer modificaciones, adaptaciones o mejoras al programa. El usuario tiene como obligación licenciar bajo el esquema GPL cualquier producto resultante de la modificación, adaptación o mejora a un *software* con dicha licencia.

Esta estrategia ha permitido el crecimiento acelerado del número de usuarios y el desarrollo del *software* de este tipo. En este sentido, el desarrollo de *software* para el análisis de ingeniería por elementos finitos no ha sido indiferente a este movimiento.

Tres módulos conforman un *software* de ingeniería de análisis: preprocesamiento, procesamiento y posprocesamiento. En el módulo de preprocesamiento se introduce la información del modelo por analizar (geometría, cargas, restricciones, modelo de material, etc.), este se compone de un paquete CAD, de un algoritmo de mallado de geometrías y de librerías con modelos de materiales. El módulo de procesamiento transforma toda la información en un sistema de ecuaciones, que soluciona usando solucionadores o *solvers* para determinar las variables desconocidas del sistema de ecuaciones que pueden ser desplazamientos, velocidad, temperaturas, presión, etc. El módulo de posprocesamiento convierte toda la información numérica en gráficos, curvas y animaciones, que le permiten al usuario realizar un análisis de los resultados.

En esta dirección se encuentran varios tipos de *software* GPL que permiten hacer análisis de ingeniería como: *Elmer* (Elmer, 2022; Elmer csc, 2022), *CalculiX* (2022), *OpenFOAM* (2022) y *Salome-Meca* (Salome-Meca - Code_Aster, 2022). En los últimos años, el número de trabajos reportados usando este tipo de *software* se ha incrementado.

Para el caso del *software* *Elmer*, Gagliardini *et al.* (2013) muestran sus potencialidades para resolver las ecuaciones de *Navier-Stokes*, lo usaron para analizar problemas de reología del hielo isotrópico, pero también anisotrópico, y la dinámica de la línea de puesta a tierra como un problema de contacto. Safinowski *et al.* (2017) presentan las capacidades de *Elmer* FEM en el modelado de la turbulencia de un medidor de flujo de grafeno, las mallas se generaron con el *software* GMSH (Geuzaine y Remacle, 2009) y la visualización de los resultados se hizo con *ParaView* (2022). Takala *et al.* (2016) simularon modelos de pilas laminadas, modelos de bobinado masivo, inductores y acoplamiento a circuitos con el objeto de proponer mejoras en los modelos de componentes inductivos con pérdidas cuasiestática.

1 Es la forma abreviada del inglés *Computer Aided Design* (CAD).

Para el caso del *software CalculiX*, Nammi *et al.* (2017) analizaron las tensiones inducidas en láminas metálicas compuestas debido a las diferencias en la expansión térmica de los sujetadores de acero. En los análisis se usó el módulo no-lineal de *CalculiX*. Ye *et al.* (2019) investigaron la deformación aerotermoe-lástica del ala hipersónica de un avión, se investigó el proceso de calentamiento aerodinámico y sus efectos sobre la deformación y el rendimiento aerodinámico del ala. Seo *et al.* (2017) propusieron unos algoritmos para analizar diferentes tipos de datos utilizando solucionadores de código abierto (*CalculiX*, *Code_Aster*) para extraer y generar información precisa de modelos 3D, mallas y condiciones de simulación. Albadr *et al.* (2019) presentaron la optimización paramétrica de un panel tipo sándwich simplemente apoyado en una estructura compuesta. Se minimizó la relación entre peso y rigidez a la flexión mediante el uso de la función no lineal (*fmincon*) de MATLAB y utilizando el *software* de código abierto *CalculiX* y *Salome Platform* para el preprocesamiento. Yapor (2018) presenta un marco de análisis unificado que pone a disposición el análisis multiescala de estructuras compuestas utilizando el *CalculiX CrunchiX* (ccx). Esta implementación permite realizar la simulación de micromecánica no lineal, utilizando el Método Generalizado de Celdas (GMC) en cada punto de integración del modelo FEA, y recibir la respuesta del material homogeneizado proporcionado en cada incremento de la simulación. Galeano *et al.* (2019) hacen una revisión de diferentes *software* GPL, buscando una caracterización completa de estos. Para ello, desarrollaron tres casos de estudio en diferentes campos (estructural, térmico y de dinámica de fluidos), comparando los resultados de estos *software* frente a uno comercial (ANSYS, 2022). Deák (2018) presenta un análisis estructural, nodal y por pandeo de un estabilizador vertical de un avión agrícola polaco (PZL-106BT), siguiendo el proceso multidisciplinario para el análisis estructural. El modelo y los cálculos aerodinámicos se realizaron utilizando el *software Panukl* (Panukl / Software / Teaching / ADD / Strona Główna - ADD, 2022) y en el posprocesamiento se utilizó *CalculiX*. Por otro lado, Kiani *et al.* (2015) realizaron análisis aerodinámicos estacionarios y simulaciones aeroelásticas estáticas de

un ala transónica utilizando un código de CFD desarrollado de flujo híbrido no estructurado *Navier-Stokes* (HUNS3D) y se combinó con el *Solver CalculiX*. Los resultados se compararon con datos experimentales, mostrando una buena concordancia entre estos.

Finalmente, en relación con el *software Salome-Meca*, Nemchinov y Khristenko (2018) realizaron un análisis de esfuerzo-deformación de un acople flexible neumático usado en un eje que acopla con un molino de bolas. El estudio permitió optimizar la geometría y reducir la masa del disco del acople, con un ligero cambio en las tensiones y deformaciones. Camara *et al.* (2018) simularon un perno sometido a una fuerza de precarga con un estudio paramétrico, con el objeto de analizar la influencia de la ubicación del tornillo y el espesor del ala de la columna sobre la carga del tornillo. Se analizó también, el efecto de la concentración de tensiones generada por la transición cabeza-vástago del tornillo. Bojita *et al.* (2017) simularon el comportamiento termomecánico en una estructura simple de metal-semiconductor, con el objeto de evaluar la acumulación de esfuerzo termomecánico en los dispositivos de circuito integrado electrónico de potencia (PIC), y cómo influye esto en su vida útil y confiabilidad.

Debido a las limitaciones presupuestales, la facilidad de acceso y la familiaridad con la plataforma, se decidió usar *software* de uso libre o GPL en el diseño y análisis de ingeniería (análisis CFD y FEA) del cuerpo de una aeronave ligera de categoría VLA, con una masa máxima al despegue de 1200 kg, una envergadura de 12 m, largo de 8 m y altura de 3.5 m. Los modelos CAD de la aeronave fueron realizados con el *software SolidWorks*, debido a que se poseía una licencia disponible. Después se realizó un análisis por CFD para caracterizar completamente la aerodinámica de la aeronave, usando el *software Salome-Meca* (Salome-Meca - Code_Aster, 2022). Del análisis CFD se obtuvo las cargas que se generan en el cuerpo de la aeronave durante una operación de vuelo a velocidad de crucero, para lo cual se usó el *software OpenFOAM* (2022). Seguido, se usó el *software CalculiX* (2022) para obtener un modelo de elementos finitos, y con las cargas obtenidas se realizó un análisis estructural del cuerpo de la aeronave. Finalmente, se usó el *software ParaView* (2022.) para visualizar los

resultados, tanto del análisis FEA como del análisis por CFD. Todo lo anterior, con el objeto de evaluar la aerodinámica y la estructura central de una aeronave liviana categoría VLA, al igual que mostrar las potencialidades del uso de *software* GPL en los análisis de ingeniería.

En esta dirección, una explicación de la metodología, los materiales usados, la geometría en la que se trabajó, la definición de las cargas, las condiciones de frontera y, las características de las mallas usadas se definen en la sección de métodos y materiales; los resultados obtenidos de los análisis por CFD y FEA, al igual que su análisis, se definen en la sección de resultados y discusión; y en una sección final se detallan las conclusiones de todo este proceso.

Métodos y materiales

En la metodología propuesta (figura 1), primero se crearon los modelos CAD de la aeronave en el *software SolidWorks*, aquí se tuvo en cuenta si los modelos se requerían para un análisis CFD o para un análisis FEA. Después se realizó un análisis por CFD para caracterizar completamente la aerodinámica de la aeronave, para lo cual se usó el *software Salome-Meca* (Salome-Meca - Code_Aster, 2022). Del análisis CFD se extrajeron las cargas que se generan en el cuerpo de la aeronave durante una operación de vuelo a velocidad de crucero, usando el *software OpenFOAM* (2022) para integrar las presiones en las superficies de vuelo. Estas cargas fueron aplicadas a un modelo de elementos finitos creado en el *software CalculiX* (2022), donde se evaluó estructuralmente el comportamiento de la aeronave. Finalmente y por facilidad, se usó el *software ParaView* (2022) para visualizar los resultados tanto del análisis FEA como del análisis por CFD. No se usó un *software* libre para el modelado CAD, debido a que se disponía del *software SolidWorks* y, por tanto, no había la necesidad de realizar una inversión en este. Igualmente, en este documento solo se presenta el análisis de la sección central de la aeronave, a manera de ejemplo para mostrar el proceso realizado; esto debido a que por espacio es muy difícil mostrar todos los análisis realizados.



Figura 1. Metodología

Fuente: elaboración propia.

Materiales

Para todas las partes de la aeronave se usó un aluminio 6061-T6, que tiene una resistencia a la fluencia (S_y) de 285 MPa, una resistencia última a la tracción (S_{ut}) de 310 MPa, un módulo de elasticidad (E) de 69 GPa, una densidad de 2700 kg/m³ y un coeficiente de Poisson de 0.33 (ASM Material Data Sheet, 2022).

Geometría

Para su evaluación estructural la aeronave (tabla 1) se dividió en tres sectores: cabina, cuerpo y superficies de vuelo (alas y empenaje) (figura 2).

Tabla 1.
Características geométricas de la aeronave

Característica	Valor	Unidades
Longitud del fuselaje (incluido <i>Tail Boom</i>).	7	m
Envergadura.	12	m
Altura.	3	m
Relación de aspecto (AR).	8	
Perfil aerodinámico del ala.	Goe 367	
Cuerda del ala (C).	1	m
Superficie alar.	18	m ²
Perfil aerodinámico estabilizador vertical.	Naca 0012	
Altura del estabilizador vertical.	1	m
Perfil aerodinámico estabilizador horizontal.	Naca 0012	
Envergadura del estabilizador horizontal.	3.4	m
Ángulo de incidencia.	3	grados
Hélice.	70 x 2	

Fuente: elaboración propia.

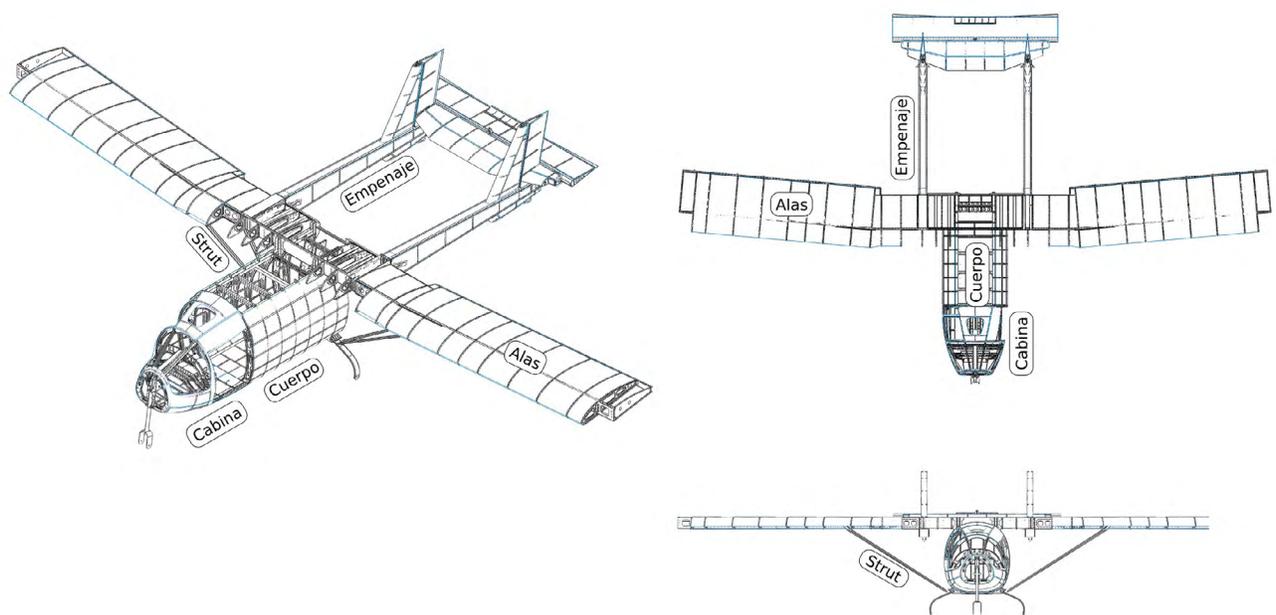


Figura 2. Sectores de la aeronave

Fuente: elaboración propia.

El modelo CAD del cuerpo (figura 3) está compuesto por 156 partes, con un volumen de 1600 m³ y un peso total de 44 kg. La estructura de la sección central la conforman 2 vigas y 8 costillas (figura 2) encastradas con una lámina que los bordea formando una estructura semimonococa. Las vigas son canales en “C” con una altura de 220 mm y 110 mm con espesores de 2.2 mm y 1.5 mm. Las vigas fueron reforzadas con una lámina para soportar las fuerzas y momentos aerodinámicos, para sujetarlas se utilizaron 4 soportes fabricados con una lámina de 2.2 mm.

La cabina tiene 4 cuadernas, 1 viga *Keel* y 4 vigas principales que se unen a los largueros del cuerpo, 6 longuerillos espaciados circunferencialmente se utilizaron para prevenir el pandeo de la piel del fuselaje. Estructuralmente las cuadernas son canales de 100 mm x 20 mm x 0.5 mm de espesor. La viga *Keel* es un cajón de 100 mm x 100 mm x 1.0 mm de espesor y los longuerillos son de 20 mm x 200 mm x 0.5 mm de espesor. Estructuralmente los perfiles fueron seleccionados por la capacidad de soportar las fuerzas que experimenta y por criterios constructivos. La aeronave utiliza como método de manufactura el proceso de *estampado*. Para formar una sola estructura, la cabina se une por medio

de placas de 200 mm x 100 mm x 3 mm de espesor al cuerpo del fuselaje, de esta manera se transfiere la carga de la cabina a los largueros del cuerpo.

El diseño de la estructura del ala es importante para maximizar la eficiencia de la aeronave. Para esta aeronave se utilizó una configuración estándar con dos vigas, una principal y otra secundaria, una subestructura nombrada CU-1 para unir el *Tail Boom* a las Alas, 2 placas para sujetar los *Strut* y 34 costillas. Las vigas son canales en 20 mm x 220 mm con espesor variable según la longitud desde su base. Las vigas están espaciadas a 25 % del borde de ataque y 20 % del borde de fuga. Esta configuración fue elegida por ser estándar de vigas para este tipo de aeronaves y por maximizar el espacio entre las vigas (Grote y Antonsson, 2009; Roskam, 2017; Roskam y Roskam, 2015). La subestructura CU-1 es una caja rectangular con uniones/partes que permiten unir el *Tail Boom* al ala y asegurar dos tramos de esta, uno que la une al fuselaje y otro de aproximadamente 4.5 m. Las costillas fueron espaciadas 1 m para evitar el pandeo del alma de las vigas, esta distancia se obtuvo de análisis por pandeo realizado de forma separada, que no se incluye en este documento por efecto de espacio.

Los *flaps* y alerones están conformados por costillas, vigas en C y la piel. La estructura del empenaje consistente del *Tail Boom* y los estabilizadores horizontal y vertical montados sobre las alas en la caja CU-1 donde es transferida toda la carga de los estabilizadores a las alas y el fuselaje. El *Tail Boom* está compuesto de 4 largueros, 2 placas, 7 marcos y 4 fijadores/uniones. Los largueros y las 2 placas junto con la piel forman una estructura semimonoca donde los estabilizadores horizontal y vertical transfieren su carga a 2 uniones cada uno, asegurando que la fuerza sea transferida al ala y esta, a su vez, las transfiera al fuselaje. Los estabilizadores tienen 2 vigas, una principal y la otra secundaria, y las costillas.

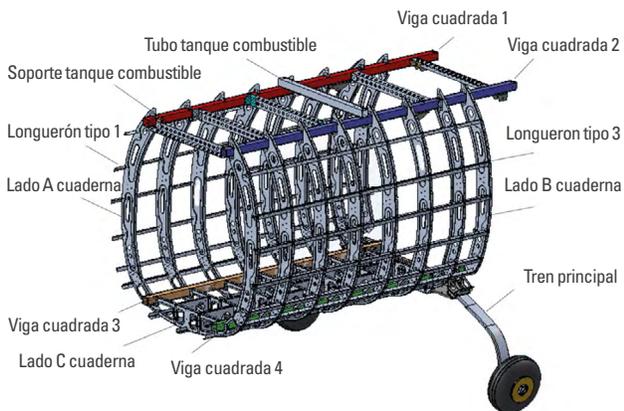


Figura 3. Partes del cuerpo de la aeronave
Fuente: elaboración propia.

El análisis estructural se realizó a toda la aeronave, sin embargo, por motivos de espacio en este documento solo se presenta el análisis del cuerpo.

Cargas

Las cargas se extrajeron del análisis de dinámica computacional de fluidos (CFD)², con ayuda del software *OpenFOAM* (2022). De la definición del volumen de

control, se determinó los efectos de carga producidos por el área de transición y del *Strut* sobre la sección central (figura 4), a partir de la simulación de la condición de vuelo recto y nivelado a velocidad de crucero ($U_{\infty} = 70$ m/s), y de acuerdo con los parámetros de operación de vuelo definidos en la tabla 2. Para determinar las fuerzas sobre la sección central (sc) se fuerza el equilibrio estático del avión (incluyendo los *Strut*). Se calculó las áreas del ala de avión, extremo del ala (ST) y área de transición (TR) y se multiplicaron por la presión obtenida en el análisis CFD. Se utilizaron los puntos A, B, C y D, en la estimación de las fuerzas en la sección central (figura 4).

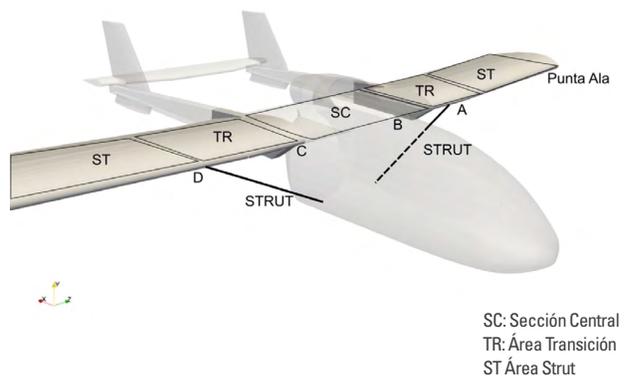


Figura 4. Áreas y puntos definidos para estimar las fuerzas que experimenta la sección central de la aeronave
Fuente: elaboración propia.

Haciendo equilibrio de fuerzas en el área sombreada derecha (figura 5a), la fuerza aerodinámica entre la punta del ala y el punto A (superficie sombreada), debe ser igual a la componente vertical de la fuerza en el *Strut*. Siendo conservativos la fuerza vertical se toma igual a la fuerza en el *Strut*, F_{st} . La fuerza vertical se estimó a partir de la integración de las presiones del aire en esta región. La fuerza en la sección central (F_{sc}) se calculó de forma similar, pero integrando las presiones entre la punta del ala (PA) hasta el punto B (área sombreada, figura 5b).

² Computational Fluid Dynamics (CFD).

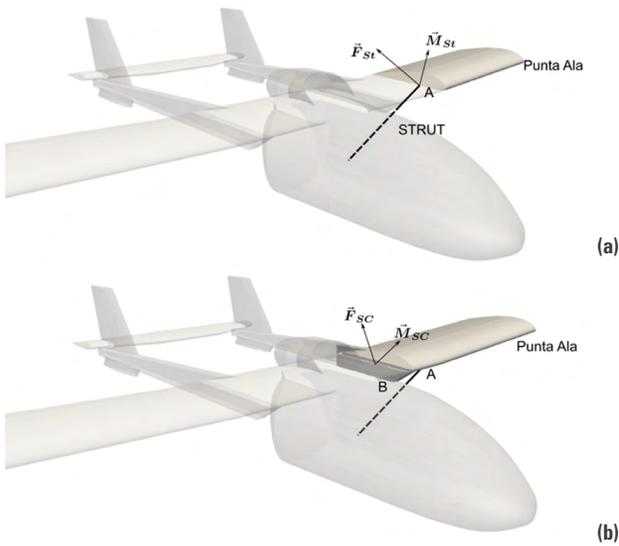


Figura 5. Efectos de carga por las fuerzas aerodinámicas:
a. En el *Strut*, b. En la sección central
Fuente: elaboración propia.

Haciendo sumatoria de momentos con respecto al punto de unión entre el ala y el cuerpo (punto B) (figura 6): el momento reacción en la unión (\vec{M}_{St}), más el momento producido por las fuerzas de presión en el ala ($\vec{M}_{PA,B}$), más el momento de la componente vertical de la fuerza en el *Strut* (\vec{M}_{St}) deben ser iguales a cero (ecuación (1)):

$$\sum \vec{M}_B = \vec{M}_{St} + \vec{M}_{PA,B} + \vec{M}_{strut} = 0 \quad (1)$$

Por tanto:

$$\vec{M}_{St} = -\vec{M}_{PA,B} - \vec{M}_{strut} \quad (2)$$

El momento con respecto a B por la carga en el *Strut* (M_{strut}) es (figura 5):

$$\vec{M}_{strut} = \vec{r}_{AB} \times \vec{F}_{ST} \quad (3)$$

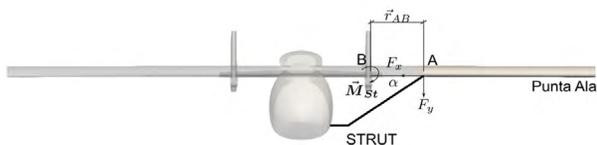


Figura 6. Diagrama de cargas sobre la sección central de la aeronave
Fuente: elaboración propia.

Calculadas las fuerzas sobre la sección, estas se ubican sobre la sección central (cuerpo) de la aeronave (figura 7d), para su posterior análisis por elementos finitos.

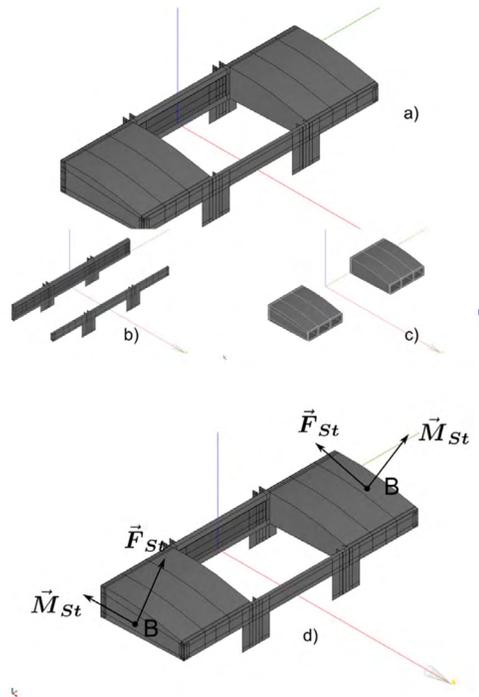


Figura 7. Cargas de la sección central: a) vista general; b) vigas; c) caja de torsión y; d) fuerzas sobre la estructura
Fuente: elaboración propia.

Condiciones de frontera

El diseño y la evaluación estructural de la sección central se basó en aproximar las fuerzas aerodinámicas que experimenta la estructura del avión a partir de la interacción Fluido-Estructura, entre el aire y la aeronave, bajo sus condiciones de operación (tabla 2). Este método se basa en extraer las fuerzas de los análisis aerodinámicos y trasladarlos a la estructura para calcular los esfuerzos que esta experimenta. Las fuerzas aerodinámicas fueron estimadas utilizando *OpenFOAM* (2022), donde se usó un modelo k-omega para modelar la turbulencia (Menter, 1992). La evaluación estructural fue realizada mediante *CalculiX* (2022). Las fuerzas fueron calculadas mediante un análisis CFD y los esfuerzos mediante un análisis FEA.

Tabla 2.
Parámetros de operación de la aeronave

P_{atm}	1 atm
T	293 °K
ρ	1.20 kg/m ³
μ	1.82 x 10 ⁻⁵ Pa s
v	1.5 x 10 ⁻⁵ m ² /s
Re	5.8 x 10 ⁶
M_{vuelo}	0.21

Fuente: elaboración propia.

La aerodinámica fue modelada creando un volumen alrededor de la aeronave con dimensiones de 7 veces la envergadura en la dirección de la corriente de aire y 4 veces en la dirección perpendicular a esta corriente (figura 8), estos valores son basados en las recomendaciones de la literatura disponible (Johnson *et al.*, 2005). El volumen está encerrado por 6 paredes, nombradas como: *Front*, *Back*, *Sides*, *Top* y *Bottom* (figura 8), donde se aplicaron las condiciones de frontera aerodinámicas (tabla 3).

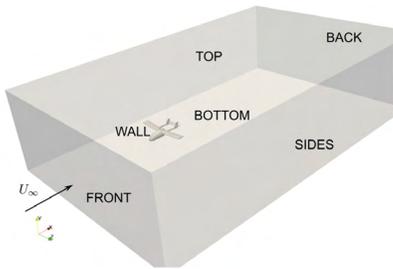


Figura 8. Modelo 3D de la aeronave en *OpenFOAM*

Fuente: elaboración propia.

Tabla 3.
Condiciones de frontera aerodinámicas

Pared	Condición
Front	Velocidad: 70 m/s; turbulencia: intensidad media.
Back	Presión: 0 Pa.
Wall	Velocidad: 0.
Bottom/Sides/Top	Velocidad: pared con deslizamiento.

Fuente: elaboración propia.

Para el análisis FEA, los momentos en la sección central (M_{sc}), fueron trasladados a las vigas de la sección central del cuerpo de la aeronave, distribuidos en 8 nodos y en función de las distancias h_p , h_1 y l_o ,

correspondientes a la altura del canal delantero, la altura del canal trasero y la cuerda, c , respectivamente. Se colocó una conexión rígida en el extremo derecho, ABCDE (figura 9).

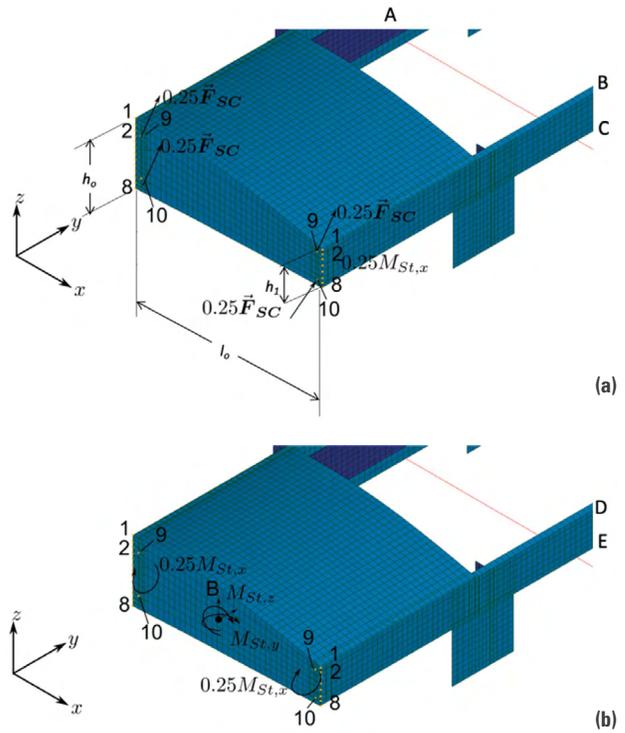
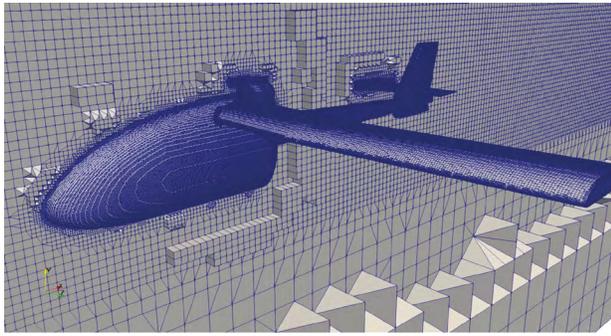


Figura 9. Aplicación de las condiciones de frontera y cargas en la sección central: a. Fuerzas, b. Momentos

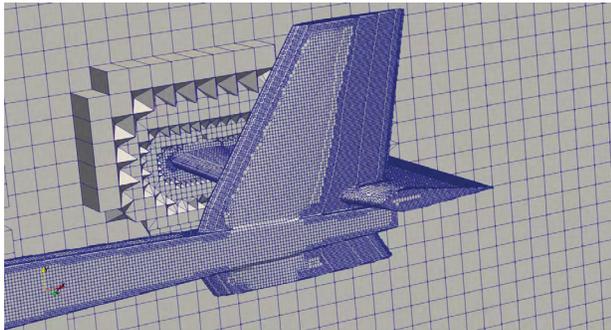
Fuente: elaboración propia.

Características de la malla

Para la simulación aerodinámica, la malla creada para el volumen (figura 10) fue realizada con la aplicación *Snappy HexaMesh* de *OpenFOAM* (2022). La selección de este *software* se debió a que no presenta ninguna limitación para la realización de la malla en forma y tamaño. El tamaño de malla está dentro de un volumen mínimo de 7.8 mm de lado y un máximo de 1 m de lado. La máxima razón de aspecto fue 12, no-ortogonalidad máxima de 64 y oblicuidad (*Skewness*) de 5.0. El número de elementos creados fue de 1 400 000. En la simulación se modeló el 100 % del flujo cerca a la pared de la aeronave, por lo cual la capa límite es modelada y no resuelta (Carmo, 2012; Růžička, 2018).



(a)



(b)

Figura 10. Mallado del volumen de control: a. Mallado general, b. Detalle en la parte trasera

Fuente: elaboración propia.

Para el análisis estructural de la sección central se creó una malla de elementos tipo placa con un tamaño máximo de 17 mm para sus elementos cuadriláteros, y con una razón máxima de aspecto de 2.5. El número máximo de nodos fue de 19 000 y de elementos fue 18 000 (figura 11).

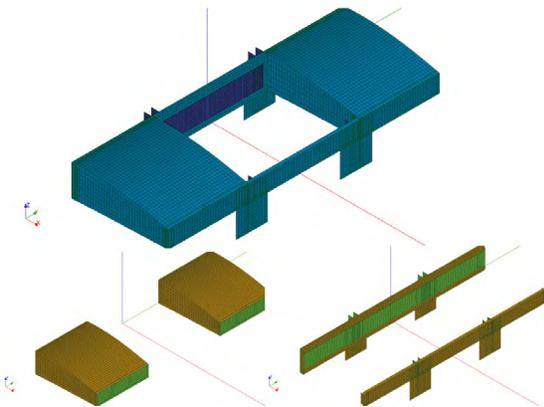


Figura 11. Mallado de las partes de la sección central

Fuente: elaboración propia.

Resultados y discusión

Análisis aerodinámico

Antes de entrar al análisis de los resultados en detalle se discute la estructura del flujo alrededor de la aeronave. La figura 12 muestra las velocidades del aire y la estela producida en el vuelo recto y nivelado. En la figura 12a puede observarse velocidades cercanas a 0 m/s justo detrás del fuselaje y el estabilizador horizontal, lo cuales originan un vórtice en el fuselaje el cual viaja “agua-abajo” de la aeronave, y un vórtice en el borde de ataque del estabilizador horizontal, que se unen a los vórtices originados en las puntas de las alas y de los estabilizadores (figura 12b). En general, se observa que el flujo está adherido a las alas excepto en la parte posterior del fuselaje. Se encontró que el aire alcanza velocidades de circulación de hasta 50 m/s (figura 12).

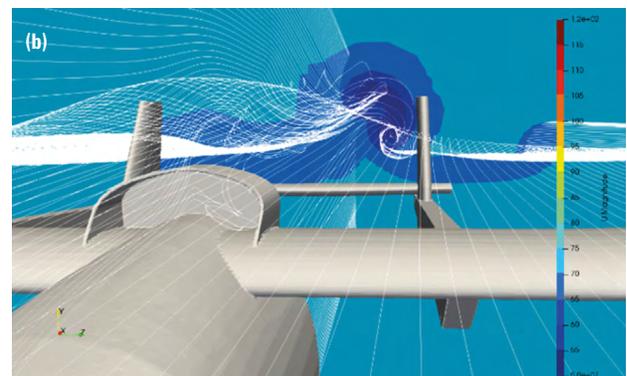
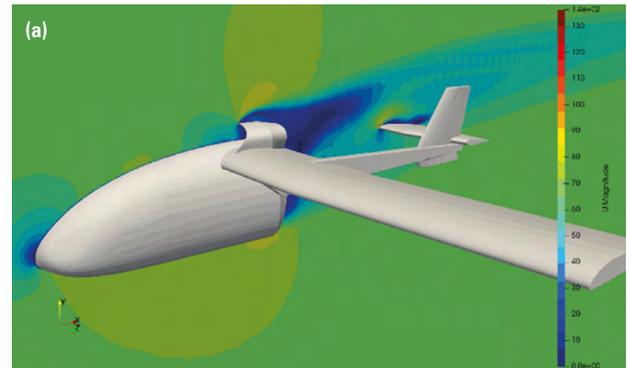


Figura 12. Perfil de velocidades en: a. plano medio, b. estela de aire sobre la aeronave a velocidad de crucero

Fuente: elaboración propia.

La distribución de presiones alrededor de la aeronave oscilan entre 3 kPa y -12 kPa (figura 13), lo cual se encuentra en los rangos de presiones características para este tipo de aeronave (Kundu, 2010). Con estas presiones se determinaron los efectos de carga sobre la sección central y las cargas de sustentación y arrastre de la aeronave (tabla 4).



Figura 13. Distribución de presiones sobre la aeronave
Fuente: elaboración propia.

Tabla 4.
Fuerzas resultantes de la aeronave

Fuerza	Valor (N)
Sustentación (Lift)	9290
Arrastre (Drag)	5219

Fuente: elaboración propia.

A partir de los análisis CFD se obtuvo los coeficientes aerodinámicos (C_D , C_L y C_L/C_D) del avión, a 3 ángulos de ataque (α): 0, 10 y 14 grados (figura 14). Se compararon los coeficientes obtenidos del modelo

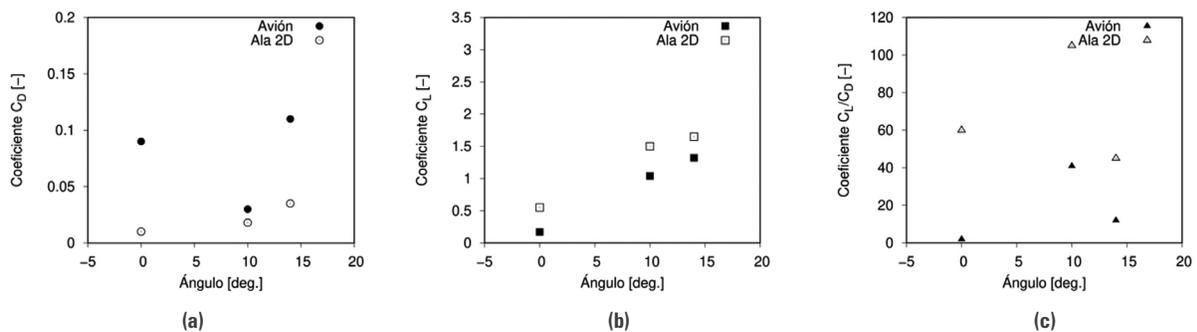


Figura 14. Coeficientes aerodinámicos en la aeronave
Fuente: elaboración propia.

tridimensional con los de un modelo 2D del ala, creado como un modelo de control de los resultados. Los detalles del modelo 2D no se incluyen por consideraciones de espacio. En general, los coeficientes del modelo 2D fueron superiores a los obtenidos del modelo tridimensional del avión obtenido por CFD. Sin embargo, debido a que las fuerzas obtenidas a partir de los coeficientes son mayores a la carga máxima de la aeronave, aseguran que se eleve el avión y que el empuje requerido no supera las capacidades del empuje del motor (tabla 5).

De los cálculos numéricos se observó que para la velocidades y ángulos de ataque de hasta 14° , el efecto de la viscosidad en las fuerzas aerodinámicas es despreciable (tabla 5), por lo cual este efecto puede despreciarse en el aporte al arrastre total producido (Wu *et al.*, 2019). Sin embargo, para aproximar las fuerzas viscosas fue utilizado el modelo de turbulencia kOmegaSST (Menter, 1992) con el objeto de capturar los efectos de curvatura derivados de la circulación del aire alrededor del avión. La tabla 5 muestra las fuerzas de presión y viscosas para la aeronave a diferentes ángulos de ataque.

Tabla 5.
Fuerzas de presión y viscosas para la aeronave a diferentes ángulos de ataque

α [deg.]	Fuerzas de presión			Fuerzas viscosas		
	F_x [N]	F_y [N]	F_z [N]	F_x [N]	F_y [N]	F_z [N]
0	4830.7	9297.3	-611.6	388.8	-8.7	3.6
10	4278.9	28297.1	-243.3	190.3	-18.8	-0.9
14	3579.6	22064.7	-15.0	115.9	-16.0	-0.7

Fuente: elaboración propia.

Análisis estructural

En el diseño de la estructura de la sección central del avión fueron integradas las presiones desde la punta del ala hasta el punto A, para el *Strut* (figura 15a) y desde la punta del ala hasta el punto B (figura 15b).

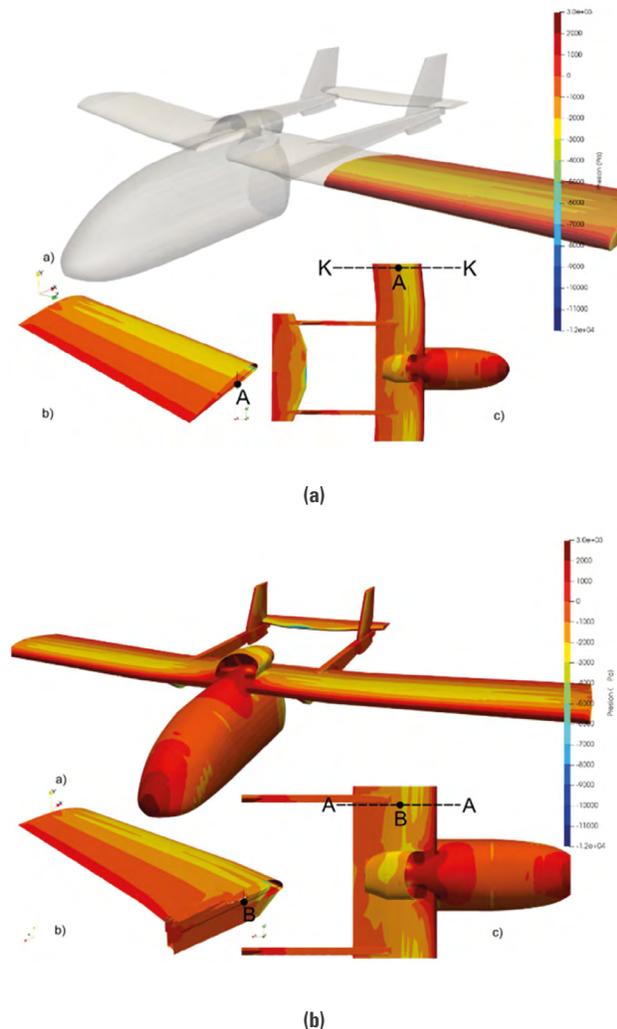


Figura 15. Presiones en el ala base para la determinación de las fuerzas en la sección central

Fuente: elaboración propia.

Con las presiones del aire sobre las alas, se obtuvieron las fuerzas en la sección central que oscilan entre 0 y 10009 N (tabla 6), las cuales fueron utilizadas para evaluar estructuralmente la sección.

Tabla 6.

Fuerzas obtenidas para la evaluación estructural

Estado	Fuerzas (N)			Torque (N-m)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
B (sin <i>Strut</i>)	393	4872	51	-10009	668	3808
<i>Strut</i>	0	-3800	-5851	4560	0	0
B (con <i>Strut</i>)	393	1072	-5800	-5440	668	3808

Fuente: elaboración propia.

Al aplicar estas fuerzas y momentos en la estructura de la sección central se obtuvo un desplazamiento máximo de 4 mm (figura 16), producto de las fuerzas y momentos aerodinámicos cuando alcanza la velocidad de crucero.

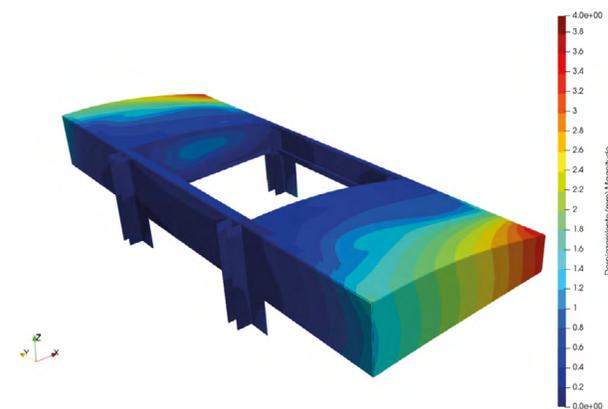


Figura 16. Desplazamiento de la sección central resultado de las fuerzas y momentos aerodinámicos

Fuente: elaboración propia.

Los esfuerzos en la sección central alcanzan localmente valores de 180 MPa (figura 17). Estos valores de esfuerzos se alcanzan en las vigas, principalmente por el momento aerodinámico en la dirección X, el cual flexiona estas vigas durante la aplicación de la carga. Comparado este esfuerzo con el de fluencia del material ($S_y=285$ MPa) la sección se encuentra con un factor de seguridad a la fluencia de 1.58.

El nivel de esfuerzo de 180 MPa también se alcanza en las uniones de la viga posterior al soporte en el centro de la aeronave. Allí los esfuerzos localmente superan este valor (180 MPa), por lo cual debe reforzarse localmente.

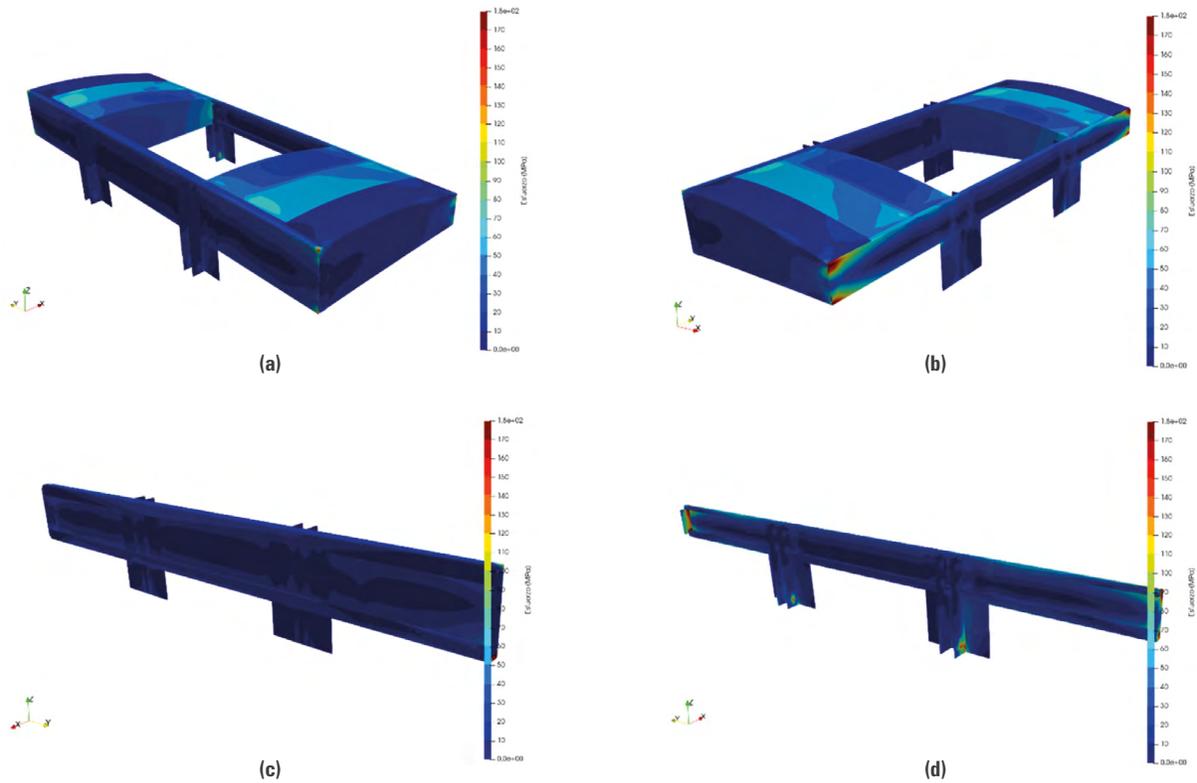


Figura 17. Esfuerzos experimentados por la sección central resultado de las fuerzas y momentos aerodinámicas

Fuente: elaboración propia.

La caja de torsión (figura 18) alcanza un esfuerzo máximo de 110 MPa, para lo cual se obtiene un factor de seguridad a la fluencia de 2.60, factor que garantiza la seguridad estructural de la aeronave.

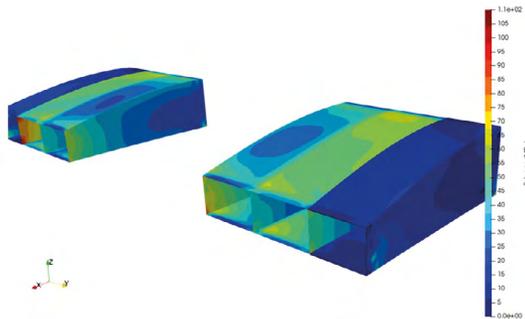


Figura 18. Esfuerzos en la caja de torsión

Fuente: elaboración propia.

Entre los retos encontrados en los análisis se tiene la dificultad de simular los radios de curvatura usando elementos tipo placa, esto genera esquinas

que concentran los esfuerzos en los análisis FEA. Por tanto, se debe tener cuidado con la lectura de los resultados de esfuerzos debido a que estos no representan el estado real de esfuerzos del componente, debido a que en la realidad poseen algún radio de curvatura o unión soldada que los suaviza.

Otro reto encontrado radicó en el paso de las condiciones de carga del análisis CFA al FEA, este se hizo de forma manual, lo cual tomó bastante tiempo y se pudo incurrir en errores.

Conclusiones

Se analizó la sección central (cuerpo) de una aeronave liviana utilizando métodos computacionales que permitieron establecer los estados de esfuerzos y la aerodinámica de la aeronave cuando vuela a velocidad de

crucero. La estructura central, el cuerpo, soporta las fuerzas y momentos aerodinámicos adecuadamente, teniendo valores por debajo de los de fluencia del material y factores de seguridad entre 1.58 y 2.6. Sin embargo, se encontró que es necesario reforzar la unión del ala al fuselaje en busca de disminuir el esfuerzo localizado que se produce en esa zona.

Se utilizó un método que aproxima la interacción Fluido-Estructura que no necesita acoplar el *software* de modelado y computacional, labor que se realizó de forma manual. Sin embargo, se está trabajando en desarrollar rutinas que permitan acoplar el *software* libre de dinámica computacional de fluidos (CFD) y el estructural de elementos finitos (FEA), de manera que los procedimientos sean más automáticos y, por tanto, obtener resultados de forma más ágil y con mayor precisión.

A diferencia de otros métodos reportados en la literatura que utilizan programas muy especializados y de altos costos, este estudio evaluó la aerodinámica y posteriormente la estructura central de una aeronave liviana categoría VLA con programas de dominio público. Este procedimiento puede ser replicado en otro tipo de estructuras mecánicas, y demostró que los programas de libre acceso son confiables para ser usados en la pequeña y mediana industria en la solución de problemas de ingeniería, sin la necesidad de hacer grandes inversiones en *software* de análisis y simulación.

Finalmente, es importante resaltar que durante todo el proceso de la aeronave se usó intensivamente las herramientas computacionales para realizar diferentes tipos de análisis, esto permitió disminuciones sustanciales en el tiempo del proceso de diseño. Igualmente, el uso de *software* de código abierto o GPL permitió el acceso a este tipo de herramientas, con una gran disminución en el presupuesto destinado a la compra de *software* comercial, presupuesto que fue utilizado en otros desarrollos del proyecto.

Agradecimientos

Este artículo hace parte de los entregables correspondientes al proyecto de investigación aplicada

titulado “Investigación y desarrollo en el sector aeronáutico del Valle del Cauca”, identificado con ficha BPIN: 20170010043, aprobado por el SGR de CTel. Como parte de la actividad n.º 4 que hace parte del objetivo n.º 2 del proyecto. El proyecto contó con la financiación del Sistema General de Regalías de Ciencia Tecnología e Innovación del Valle del Cauca; la Corporación CRTM del Pacífico (Centro de Desarrollo Tecnológico Metalmecánico); la Fundación Universidad del Valle (FUV); la Academia Internacional de Aviación; el Clúster Aeroespacial del Valle del Cauca (CVAC).

Se agradece a la Corporación CRTM del Pacífico, como entidad responsable del prototipo aeronáutico y propietaria de la información técnica utilizada para la realización de este artículo, a la Fundación Universidad del Valle y a su equipo de supervisión y coordinación del proyecto. A la dirección de Planeación Departamental del Valle del Cauca, dependencia desde donde se lideran los procesos de CTel, al Ministerio de Ciencia y Tecnología, y al Departamento Nacional de Planeación.

Se da un reconocimiento especial al equipo de investigadores, ingenieros, técnicos, empresarios y personal administrativo del CRTM del Pacífico, quienes han hecho posible la realización de este artículo científico.

Referencias

- Aircraft Design: A Conceptual Approach. (n.d.). *AIAA Education Series*. <https://arc.aiaa.org/doi/abs/10.2514/4.104909>
- Albadr, A., Hedaya, M., McCrory, J. & Holford, K. (2019). *Parametric study of honeycomb composite structure using open source finite element software*. https://www.researchgate.net/publication/332383984_Parametric_Study_of_Honeycomb_Composite_Structure_Using_Open_Source_Finite_Element_Software
- Al-hadi, F. A. M., Ahmed, M. A. & Supervisor, R. M. (2016). *Fluid Structure Interaction for Light Aircraft Wing (SAFAT 03)*. [Thesis, Sudan University of Science and Technology]. <http://repository.sustech.edu//handle/123456789/15461>
- ASM Material Data Sheet. (2022). *Specific Material*. <http://asm.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=ma6061t6>

- Bojita, A., Avram, A., Purcar, M., Munteanu, C. & Topa, V. (2017). Thermo-mechanical simulation of the metal-semiconductor structures of power integrated circuits. *2017 International Conference on Modern Power Systems (MPS)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/MPS.2017.7974450>
- CalculiX. (2022). *A Three-Dimensional Structural Finite Element Program*. <http://www.calculix.de/>
- Camara, A. B., Pennec, F., Durif, S., Robert, J. L. & Bouchaïr, A. (2018). Fatigue life assessment of bolted connections. *MATEC Web of Conferences*, 165, 10009. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201816510009>
- Carmo, J. S. (2012). *Turbulent Boundary Layer Models: Theory and Applications*. *Advanced Fluid Dynamics*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/26808>
- Deák, P. (2018). Vertical tail FEA with a CAD/CAE based multidisciplinary process. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, 90(4), 652–658. <https://doi.org/10.1108/AEAT-11-2016-0212>
- Elmer. (2022). *FEM – open source multiphysical simulation software*. <http://www.elmerfem.org/blog/>
- Elmer csc. (2022). *Company Site*. <https://www.csc.fi/web/elmer>
- Gagliardini, O., Zwinger, T., Gillet-Chaulet, F., Durand, G., Favier, L., de Fleurian, B., Greve, R., Malinen, M., Martín, C., Råback, P., Ruokolainen, J., Sacchetti, M., Schäfer, M., Seddik, H. & Thies, J. (2013). Capabilities and performance of Elmer/Ice, a new-generation ice sheet model. *Geoscientific Model Development*, 6(4), 1299–1318. <https://doi.org/10.5194/gmd-6-1299-2013>
- Galeano, C. H., Mantilla, J. M., Duque, C. A. & Mejía, M. F. (2019). *Herramientas de software con licencia pública general para el modelado por elementos finitos*. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/22434>
- Geuzaine, C. & Remacle, J. F. (2009). *GMSH: A three-dimensional finite element mesh generator with built-in pre- and post-processing facilities*. <https://gmsh.info/>
- General Public License «GPL». (2020). *Término General Public License*. Wikipedia, la enciclopedia libre. https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=GNU_General_Public_License&oldid=129620200
- Grote, K. H. & Antonsson, E. K. (2009). *Springer Handbook of Mechanical Engineering*. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-540-30738-9>
- Jaramillo, H. E. & Areiza, G. (2000). Algunas generalidades sobre el modelado de secciones compuestas usando elementos finitos. *Revista Scientia et Technica, Edición*, 13.
- Jaramillo, H. E., García, A., Gómez, L., Escobar, W. & García, J. J. (2012). Procedimiento para generar mallas de elementos finitos de la columna vertebral humana a partir de imágenes médicas. *Revista el Hombre y la Máquina*, 40, 79–86.
- Johnson, F., Tinoco, E. & Yu, N. (2005). Thirty Years of Development and Application of CFD at Boeing Commercial Airplanes, Seattle. *Computers & Fluids*, 34, 1115–1151. <https://doi.org/10.1016/j.compfluid.2004.06.005>
- Kallemeyn, N. A., Tadepalli, S. C., Shivanna, K. H. & Grosland, N. M. (2009). An interactive multiblock approach to meshing the spine. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 95(3), 227–235. <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2009.03.005>
- Kiani, M., Wang, G., Ye, Z. & Mian, H. H. (2015). *Aerodynamic and Static Aeroelastic Analysis of a Transonic Wing using Hybrid Unstructured Flow Solver*. <https://doi.org/10.15242/iie.e1214053>
- Kumaresan, S., Yoganandan, N., Pintar, F. A. & Maiman, D. J. (1999). Finite element modeling of the cervical spine: Role of intervertebral disc under axial and eccentric loads. *Medical Engineering & Physics*, 21(10), 689–700. [https://doi.org/10.1016/S1350-4533\(00\)00002-3](https://doi.org/10.1016/S1350-4533(00)00002-3)
- Kundu, A. K. (2010). *Aircraft Design*.
- Menter, F. R. (1992). Influence of freestream values on k-omega turbulence model predictions. *AIAA Journal*, 30(6), 1657–1659. <https://doi.org/10.2514/3.11115>
- MIMICS Financial Software. (2022). *Web site official*. <https://www.mimics.com/>
- Nammi, S. K., Butt, J., Mauricette, J. L. & Shirvani, H. (2017). Numerical Analysis of Thermal Stresses around Fasteners in Composite Metal Foils. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 280, 012016. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/280/1/012016>
- Nemchinov, S. & Khristenko, A. (2018). Stress-strain state of pneumatic flexible shaft coupling for ball mill drives. *Zeszyty Naukowe. Transport / Politechnika Śląska*, 99. <https://doi.org/10.20858/sjsutst.2018.99.12>
- OpenFOAM. (2022). *Web site official*. <https://www.openfoam.com/>
- Panukl / Software / Teaching / ADD / Strona główna - ADD. (2022). *Package to compute the aerodynamic characteristics of an aircraft using low order panel method*. <https://www.meil.pw.edu.pl/add/ADD/Teaching/Software/PANUKL>
- Park, C., Joh, C. Y. & Kim, Y. S. (2009). Multidisciplinary design optimization of a structurally nonlinear aircraft wing via parametric modeling. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 10(2), 87–96. <https://doi.org/10.1007/s12541-009-0032-1>

- Qiu, J., Fan, Y., Wei, H. & Zhang, P. (2021). Lightweight design of aircraft truss based on topology and size optimization. *Journal of Physics: Conference Series*, 1986(1), 012094. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1986/1/012094>
- Roskam, J. (2017). *Airplane Design Part III: Layout Design of Cockpit, Fuselage, Wing and Empennage: Cutaways and Inboard Profiles*.
- Roskam, J. & Roskam, J. (2015). *Airplane Design Part I: Preliminary Sizing of Airplanes*.
- Růžička, P. (2018). Modeling of boundary layer and the influence on heat transfer with help of CFD. *AIP Conference Proceedings*, 2047(1), 020021. <https://doi.org/10.1063/1.5081654>
- Safinowski, M., Szudarek, M., Szewczyk, R. & Winiarski, W. (2017). Capabilities of an Open-Source Software, Elmer FEM, in Finite Element Analysis of Fluid Flow. In R. Szewczyk & M. Kaliczyńska (Eds.), *Recent Advances in Systems, Control and Information Technology* (pp. 118–126). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-48923-0_16
- Salome-Meca - Code_Aster. (2022). *LGPL binary packages*. <https://www.code-aster.org/V2/spip.php?article303>
- Seo, D. W., Kim, J. S., & Kim, M. I. (2017). Pre/Post processor for structural analysis simulation integration with open source solver (Calculix, Code_Aster). *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, 18(9), 425–435. <https://doi.org/10.5762/KAIS.2017.18.9.425>
- Takala, E., Yurtesen, E., Westerholm, J., Ruokolainen, J. & Råback, P. (2016). Parallel Simulations of Inductive Components with Elmer Finite-Element Software in Cluster Environments. *Electromagnetics*, 36(3), 167–185. <https://doi.org/10.1080/02726343.2016.1151616>
- Triet, N. M., Viet, N. N. & Thang, P. M. (2015). Aerodynamic Analysis of Aircraft Wing. *VNU Journal of Science: Mathematics - Physics*, 31(2), Article 2. <https://js.vnu.edu.vn/MaP/article/view/111>
- Tyndyka, M. A., Barron, V., McHugh, P. E. & O'Mahoney, D. (2007). Generation of a finite element model of the thoracolumbar spine. *Acta of Bioengineering and Biomechanics*, 9(1), 35–46.
- Wu, Z., Li, S., Liu, M., Wang, S., Yang, H. & Liang, X. (2019). Numerical research on the turbulent drag reduction mechanism of a transverse groove structure on an airfoil blade. *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*, 13(1), 1024–1035. <https://doi.org/10.1080/19942060.2019.1665101>
- Yapor, G. (2018). Multi-Scale Analysis of Composite Materials Using Calculix and the Method of Cells: An Open Source Implementation. *Master's Theses*. https://scholarworks.wmich.edu/masters_theses/3795
- Ye, K., Ye, Z., Feng, Z., Pan, Y. & Wang, G. (2019). Numerical investigation on the aerothermoelastic deformation of the hypersonic wing. *Acta Astronautica*, 160, 76–89. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2019.04.028>

Fuerza Aérea Ecuatoriana: En camino al multidominio. Un análisis transdisciplinario en complejidad

| Fecha de recibido: 28 de febrero 2022 | Fecha de aprobación: 27 de mayo 2022 |

Iván Preslav Bolaños Ramírez

Magíster en Liderazgo y Dirección
de Centros Educativos

Investigador. Instituto de Altos
Estudios Nacionales (IAEN)
Ecuador

Rol del investigador: experimental y escritura
Grupo de investigación:
<https://orcid.org/0000-0003-3251-2548>
✉ ivanb1979@gmail.com

Alex Fernando Jiménez Vélez

PhD en Proyectos y Sistemas

Investigador. Centro de Investigación y
Desarrollo Fuerzas Armadas Ecuatorianas
Ecuador

Rol del investigador: experimental y escritura
Grupo de investigación: CELSO
<https://orcid.org/0000-0003-4667-0838>
✉ ajimenez@fae.mil.ec

María Fernanda Noboa González

PhD. Estudios Internacionales

Investigadora. Instituto de Altos
Estudios Nacionales – IAEN
Ecuador

Rol del investigador: experimental y escritura
Grupo de investigación:
<https://orcid.org/0000-0002-4922-4692>
✉ mafer_noboa_63@hotmail.com

Cómo citar este artículo: Bolaños Ramírez, I. P., Jiménez Vélez, A. F., y Noboa González, M. F. (2022). Fuerza Aérea Ecuatoriana: En camino al multidominio. Un análisis transdisciplinario en complejidad. *Ciencia y Poder Aéreo*, 17(2), 52-64. <https://doi.org/10.18667/cienciaypoderaereo.755>



Fuerza Aérea Ecuatoriana: En camino al multidominio. Un análisis transdisciplinario en complejidad

Ecuadorian Air Force: On the way to multidomain. A transdisciplinary analysis in complexity

Força Aérea Equatoriana: A caminho do multidomínio. Uma análise transdisciplinar na complexidade

Resumen: Las reflexiones en torno a la seguridad durante la última década han mutado considerablemente y de manera multiescalar (global, regional, local); el concepto de seguridad, en cuanto a su categoría analítica, ha evolucionado desde posiciones epistémicas y metodológicas dogmáticas estadocéntricas a otras más abiertas e integrales, lo que ha legitimado una mirada sociocéntrica de los estudios críticos de seguridad. Es así como las concepciones tradicionales de la amenaza estrictamente militar dan paso a otras dimensiones, y muchos Estados justifican la asignación de tareas extraconstitucionales a las Fuerzas Armadas, sin ser el Ecuador una excepción. A partir de ello, el presente artículo académico propone, desde un diseño metodológico cualitativo arraigado en una propuesta transdisciplinaria en complejidad, construir el lineamiento interoperacional que servirá como base para que la Fuerza Aérea Ecuatoriana (FAE) avance en su camino hacia el cumplimiento de operaciones multidominio. Para su desarrollo, en primer lugar, se construyó un análisis situacional transdisciplinario de la Fuerza Aérea Ecuatoriana; como siguiente paso, se definieron las megatendencias proyectadas al 2040, centrados en la evolución de las amenazas híbridas con ejes en geopolítica y guerra, sociedad y entorno digital; y finalmente, se elaboró un acercamiento doctrinario al multidominio; el propósito concluye con una narrativa donde se exponen el rediseño del diagrama de Nettis, con el cual los planificadores y decisores podrán analizar multidimensional y multiangularmente la amenaza, con los cuales se podrá desarrollar estrategias y tácticas efectivas e integrales, especialmente para enfrentar amenazas híbridas y emergentes cuya complejidad y éxito radica en el uso de zonas grises operacionales existentes en el Estado.

Palabras clave: amenazas híbridas; amenazas emergentes; interoperabilidad; interagencialidad; cooperativo.

Abstract: Reflections on security, during the last decade, have mutated considerably and in a multiscalar way (global, regional, local); and, the concept of security, in terms of its analytical category, has evolved from state-centric dogmatic epistemic and methodological positions to more open and comprehensive ones, which has legitimized a sociocentric view of critical security studies. Thus, the traditional conceptions of the strictly military threat give way to other dimensions, and many States justify the assignment of extra-constitutional tasks to the Armed Forces, without Ecuador being an exception. Based on this, this academic article proposes, from a qualitative methodological design rooted in a transdisciplinary proposal in complexity, to build the interoperational guideline that will serve as a basis for the Ecuadorian Air Force (FAE) to advance on its path towards the fulfillment of operations. multidomain. For its development, first, a transdisciplinary situational analysis of the Ecuadorian Air Force was built; As a next step, the megatrends projected for 2040 were defined, focused on the evolution of hybrid threats with axes in geopolitics and war, society and the digital environment; and finally, a doctrinal approach to multidomain was elaborated; The purpose concludes with a narrative where the redesign of the Nettis diagram is exposed, with which planners and decision makers will be able to analyze the threat multidimensionally and multiangularly, with which effective and comprehensive strategies and tactics can be developed, especially to face hybrid threats. and emerging whose complexity and success lies in the use of existing operational gray areas in the State.

Keywords: hybrid threats; emerging threats; interoperability; interagency; cooperative.

Resumo: As reflexões sobre segurança, durante a última década, sofreram mutações consideráveis e de forma multiescalar (global, regional, local); e, o conceito de segurança, em termos de sua categoria analítica, evoluiu de posições epistêmicas e metodológicas dogmáticas estatais para posições mais abertas e abrangentes, o que legitimou uma visão sociocêntrica dos estudos críticos de segurança. Assim, as concepções tradicionais da ameaça estritamente militar dão lugar a outras dimensões, e muitos Estados justificam a atribuição de tarefas extraconstitucionais às Forças Armadas, sem que o Equador seja uma exceção. Com base nisso, este artigo acadêmico propõe, a partir de um desenho metodológico qualitativo enraizado em uma proposta transdisciplinar em complexidade, construir a diretriz interoperacional que servirá de base para que a Força Aérea Equatoriana (FAE) avance em seu caminho para o cumprimento de operações. multidomínio. Para seu desenvolvimento, em primeiro lugar, foi construída uma análise situacional transdisciplinar da Força Aérea Equatoriana; Como próximo passo, foram definidas as megatendências projetadas para 2040, focadas na evolução das ameaças híbridas com eixos em geopolítica e guerra, sociedade e ambiente digital; e, por fim, elaborou-se uma abordagem doutrinária sobre multidomínio; O objetivo conclui com uma narrativa onde é exposto o redesenho do diagrama de Nettis, com o qual planejadores e tomadores de decisão poderão analisar a ameaça multidimensional e multiangular, com o qual podem ser desenvolvidas estratégias e táticas eficazes e abrangentes, especialmente para enfrentar ameaças híbridas e emergentes cuja complexidade e sucesso reside na utilização das áreas cinzentas operacionais existentes no Estado.

Palavras-chave: ameaças híbridas; ameaças emergentes; interoperabilidade; interações; cooperativo.

Introducción

De acuerdo con Bauman (2000), nuestra sociedad está sumergida en un entorno líquido donde se han deconstruido conceptos clave como la delimitación del espacio-tiempo, los valores sociales y comunitarios; así como también se han fortalecido concepciones socioexcluyentes como la individualidad, la emancipación y el materialismo. Es así como al referirnos al ámbito específico de la seguridad y defensa, se puede vislumbrar que el impacto de la liquidez del entorno, impulsada por el desarrollo tecnológico, se encuentra en la difuminación de las fronteras conceptuales existentes entre estas dos estructuras, que generan en el Estado aquellas zonas grises operacionales que son aprovechadas por el crimen transnacional para cumplir sus acciones multidimensionales.

Las amenazas híbridas transnacionales que Bartolomé (2019) las denomina como organizaciones que operan en “redes flexibles y descentralizadas, muy adaptables y con un manejo optimizado de la información en los procesos de tomas de decisiones” (p. 16), han sabido explotar de manera efectiva esta deformación del entorno, generando grandes dilemas que ha impactado a la región y al mundo.

Hoy en día los ecosistemas criminales utilizan las mismas líneas conceptuales y operativas que emplea el mercado en la globalización; conceptos de una estructura accionaria delictiva, la cual Álvarez y Zambrano (2018) la denominan como globalización desviada, argumentando que: “esta dinámica parece haber beneficiado también a grupos criminales, que adaptándose a este proceso, han aprovechado nuevas oportunidades al explotar los espacios vacíos físicos, jurídicos o virtuales dejados sin vigilancia por parte de los Estados” (p. 273).

Es así como los Estados, conscientes de que han sido sobrepasados en sus capacidades, ahora se han visto obligados a despojarse de aquellas cárceles cognitivas, ampliando su percepción ontológica y orientación analítica, llevándolos a diseñar estrategias interagenciales e interestatales para combatir de manera efectiva las amenazas incorpóreas que atentan de

manera paralela a la seguridad integral y a los núcleos de la sociedad.

De ahí que el desarrollo de operaciones multidominio es preponderante para la construcción de estrategias que permitan al Estado combatir de manera efectiva a estas amenazas; la procrastinación podría hacer que el crimen transnacional contamine multidimensionalmente a las estructuras estatales, convirtiéndolo tempranamente en un Estado Criminal (Naim, citado en Bartolomé, 2019). Aquí radica la relevancia para que la FAE, por su naturaleza y capacidades, promueva a través del uso del espacio y ciberespacio la construcción del camino al multidominio, es por ello que en este artículo se pretende construir el lineamiento interoperacional que servirá como base para que la FAE avance en su camino hacia el cumplimiento de operaciones multidominio.

Antecedentes

En Ecuador, la misión de las Fuerzas Armadas (FF. AA.) están amparadas en lo que estipula el Art. 158 de la Constitución de la República del Ecuador (2008), en el cual se le asigna de manera fundamental la defensa de la soberanía e integridad territorial; asimismo, la FAE suscribe en el Plan de Gestión Institucional FAE 2021-2025 y 2021-2033 (2022) su misión, la cual es:

Desarrollar las capacidades para la protección y defensa del espacio aéreo, el aeroespacio y el ciberespacio, a fin de contribuir a la defensa de la soberanía e integridad territorial y apoyar a la seguridad integral del estado (sic) y al desarrollo nacional. (p. 14)

Aquí, de manera explícita, se involucra a la institución en el compromiso de contribuir con la seguridad pública del Estado, por tanto, está obligada a evolucionar y prepararse para enfrentar las amenazas que hoy acechan al país.

Las amenazas híbridas transnacionales han hecho que muchos Estados en la región asignen tareas extraconstitucionales a sus FF. AA., desviándolas de sus

operaciones convencionales para hacerles partícipes en temas de seguridad estatal, sin existir un amparo legal en el ámbito operacional. A pesar de ello, el sentir patrio de la institución militar ha hecho que no se nieguen a este tipo de tareas; y por el contrario han sabido utilizar de manera efectiva sus capacidades para contribuir a la seguridad integral.

La FAE es la responsable del control del espacio aéreo nacional; y por sus características y capacidades específicas, hoy busca iniciar el uso y la explotación del espacio y ciberespacio, desde donde se pretende generar interacciones cooperativas efectivas internacionales e intergubernales, para desarrollar estrategias efectivas en contra de la amenaza regional. Por esta razón se estudian las teorías y praxis en el ámbito del multidominio de países como EE. UU. y Colombia, para agilizar el paso en esta necesidad imperiosa que beneficia no solo al país, sino también a la región.

Estado del arte

Construcción teórica transdisciplinaria

La construcción del objeto de estudio se derivó de un cruce transdisciplinario entre las siguientes unidades teórico-analíticas: toma de decisiones, planificación de las operaciones aeroespaciales y, finalmente, la prospectiva, con las cuales se entrelazará una red cognitiva manteniendo una estructura sinérgica, coherente y consistente entre sus cruces teóricos y empíricos.

En la figura 1 se muestra de manera diagramática la causalidad del objeto de estudio transdisciplinario. En este artículo académico se vislumbra la necesidad de proponer lineamientos de transformación doctrinaria que brinden soporte al proceso decisional, enfocado en el concepto de interoperabilidad de la FAE al 2033.



Figura 1. Locus de investigación

Fuente: Iván Bolaños Ramírez, con la orientación de la Dra. María Fernanda Noboa.

La imagen muestra tres ámbitos que se abordan para el estudio, y son: el militar, que involucra a la toma de decisiones en las operaciones aéreas; el operacional, el cual aborda los niveles estratégico y operacional, enmarcado en las operaciones aeroespaciales; y en seguridad y defensa, donde se encuentran descritos los estudios de futuro, que a través de una metodología crítico-constructivista permitieron generar la narrativa para alcanzar el propósito del presente estudio.

Bases teóricas de conocimiento

El punto de partida es la comprensión de las operaciones multidominio, de acuerdo con Iturraga (2020), son complejas, debiendo los Estados desarrollar capacidades que les permita ser exitosos en todos los dominios, y de esta manera evitar durante los enfrentamientos aquellos puntos muertos *stand-off* codiciados por los adversarios para obtener ventajas y alcanzar la victoria. Bajo este argumento, el us Army (2017), visualiza cómo las amenazas han desplegado sus capacidades para desafiar a las fuerzas del Estado, empleando para ello un sinnúmero de recursos, con el fin de desgastarlas y minimizar el impacto en su contra.

Por lo expuesto, es indispensable que las Fuerzas Armadas de cualquier Estado desarrollen capacidades estratégicas colaborativas, las cuales son “necesarias para hacer frente a las amenazas, riesgos y desafíos a la seguridad y defensa, considerando la necesidad de mantener la interrelación institucional, así como precisar las competencias específicas de las instituciones” (Ministerio de Defensa Nacional del Ecuador, 2018, p. 94). Al final, lo que se pretende es que las fuerzas del Estado logren ser interoperables, lo cual hará efectivo su empleo ante las nuevas amenazas.

Es preciso aclarar conceptualmente que en la hermenéutica existen dos conceptos clave dentro de las operaciones multidominio, los cuales deben ser bien comprendidos para su adecuado uso, estos son: la interoperabilidad, que según Naser (2021), “es la capacidad de que las organizaciones interactúen con vistas a alcanzar objetivos comunes que sean mutuamente beneficiosos y que hayan sido acordados de manera previa y conjunta” (p. 25); e interoperatividad, que representa tener un nivel de estandarización

(Mills, 2010); adicionalmente, Villalobos (2003) expone que existen tres perspectivas en este concepto, que son: i) “interoperatividad combinada” «entre fuerzas similares», ii) “interoperatividad interestatal”; e iii) “interoperatividad conjunta”.

Con esto en mente, y claros que las acciones de las fuerzas del Estado derivan de complejos procesos de toma de decisiones, es pertinente traer a colación el argumento planteado por Van Den-Bosch y Bronkhorst (2018) con respecto a este tema, en el cual mencionan que el criterio y la toma de decisiones del ser humano son el resultado de una interacción simultánea de varios factores que se complejiza con la incertidumbre, característica común en las acciones militares; esto debido a que el proceso de toma de decisiones militares es cíclico, con retroalimentación permanente del entorno, y su complejidad depende de tres factores, que son: el nivel de mando en que se encuentra el decisor, la complejidad del ambiente y la misión a cumplir.

Como se indicó anteriormente, una base metodológica de este artículo académico es la transdisciplina, la cual para Max (2005), corresponde a un desafío a la tradicional lógica binaria y lineal aristotélica; y se encuentra sustentado en tres pilares fundamentales: a) niveles de realidad (comprensión pragmática de los diferentes modos de pensamiento); b) el principio del “tercero incluido” (fusión o fundición de conceptos dicotómicos), y c) la complejidad (los supuestos no pueden ser descritos, analizados y controlados en términos simples, correlativos con la lógica lineal tradicional); mientras que para Nicolescu, citado en Rubio (2016) comprende:

Como el prefijo ‘trans’ lo indica, lo que está, a la vez, entre las disciplinas, a través de las diferentes disciplinas y más allá de toda disciplina, [...] su finalidad es la comprensión del mundo presente, y uno de sus imperativos es la unidad del conocimiento. (p. 95)

Metodología

El presente artículo académico ha sido realizado bajo un diseño metodológico cualitativo arraigado en una propuesta transdisciplinaria en complejidad. Con ello se alcanza el objetivo general de la investigación, que

corresponde a la construcción del lineamiento inter-operacional que servirá como base para que la FAE avance en su camino hacia el cumplimiento de operaciones multidominio; los dos objetivos secundarios que apuntalarán a la propuesta corresponden a: i) análisis de las megatendencias de futuro; y ii) correlación de modelos doctrinarios teóricos de EE. UU. y Colombia, con el conocimiento empírico ecuatoriano.

El enfoque metodológico para el desarrollo de la propuesta es cualitativo, con la cual se podrá llegar al logro del objetivo planteado, considerando que en Ecuador aún no existen debates académicos o experiencias operacionales en el ámbito aeroespacial multidimensional que lleve a cuantificar información; por tal razón, la presente investigación está enmarcada en la dimensión teórica del ámbito doctrinario de las operaciones multidominio como concepto operacional.

Es así que de manera coherente se desprende el diseño de investigación narrativo y las técnicas de: i) panel de expertos —entrevistas a expertos en teoría militar con enfoque aeroespacial, con el fin de generar un marco conceptual empírico—; ii) hermenéutica —recopilando e interpretando la documentación que permita comprender las operaciones multidominio en todo su contexto, con lo que se podrá desarrollar lineamientos para reconstruir los procesos de planificación actuales que nos permitan ser efectivos ante las amenazas híbridas; y iii) plataformas de análisis de

futuros —determinando cuáles son las megatendencias proyectadas al 2040, centrados en la evolución de las amenazas híbridas con ejes en geopolítica y guerra, sociedad y entorno digital—.

Resultados

Análisis de las megatendencias del entorno operacional al 2040

Las megatendencias son direcciones que toma la sociedad, que están estructuradas por la interacción de distintas variables en términos específicos, y cuyo impacto será percibido a nivel global por más de una década (Grupo de Desarrollo Regional del Tecnológico de Monterrey, 2009). Entonces, resulta indispensable iniciar haciendo un levantamiento utilizando la *big data* para crear una base esquemática, donde las ideas y discusiones del objeto de estudio tengan campo de acción y pertinencia en la creación de futuribles; concepto que, de acuerdo con Jouvenel, citado en Mojica (2006), corresponde a “los diferentes futuros posibles” (p. 124).

La figura 2 proporciona una mirada compleja desde aristas correspondientes al entorno digital, la sociedad y la geopolítica y guerra, con el cual se puede crear una lectura al entorno operacional de la seguridad y defensa al 2040.

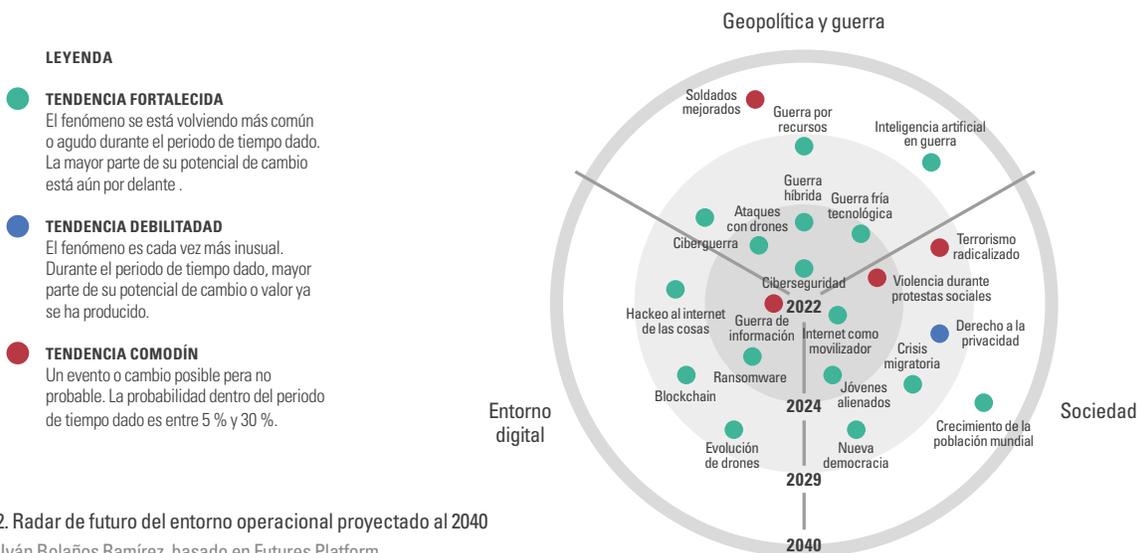


Figura 2. Radar de futuro del entorno operacional proyectado al 2040
Fuente: Iván Bolaños Ramírez, basado en Futures Platform.

La sociedad como núcleo de la humanidad, enfrenta dilemas complejos ahondados por el exponencial desarrollo digital, el cual ha generado cambios disruptivos en los paradigmas económicos, ambientales, sociales, políticos, culturales y legales de los Estados. De esta manera, el mundo se enfrenta a megatendencias que traen consigo movimientos sociales violentos, impulsados por los desplazamientos migratorios, la alienación juvenil, las nuevas capacidades de obtener y generar información; así como también, a una readaptación de los ecosistemas criminales que aprovechan los espacios ambiguos para el desarrollo de sus operaciones delictivas sin fronteras y sin espacios físicos (Futures Platform, 2021).

El entorno digital mantendrá la exponencialidad de su crecimiento y en un futuro próximo, se avizora el desarrollo de computadoras cuánticas, donde un solo hardware tendrá la capacidad actual que poseen todas las computadoras del mundo (World Economic Forum, 2022a). Es natural que a la par evolucionen las redes de conectividad que permitirán procesar tales cantidades de información disponibles, así como los equipos personales y portátiles con los cuales la humanidad podrá vivir, en toda su magnitud, la actual propuesta idílica del metaverso (World Economic Forum, 2022b). Pero, parte de la cotidianidad del ser humano son los conflictos sociales, y la exposición en este nuevo entorno generará problemas complejos insoslayables que involucren el ataque a los sistemas digitalizados en todas sus formas.

De la misma manera, la geopolítica y la nueva tipología de los conflictos armados obligarán a las fuerzas estatales a migrar hacia nuevos conceptos doctrinarios, donde el espacio y el ciberespacio jugarán papeles preponderantes, porque los controles de estos dominios les permitirán enfrentar conflictos donde su complejidad se ve abocada a la hiperconexión, volatilidad, complejidad, ambigüedad. Es importante, en el ámbito de las relaciones internacionales, recordar la vigencia que tienen las ideas de Der Derian (1990), quien expone que la expansión tecnológica puede distorsionar las doctrinas de manera inmediata, por tal razón, es indispensable mantener modelos vigentes y congruentes con la realidad.

Finalmente, en una interacción de estos tres ámbitos expuestos, se advierte una rápida evolución de los ecosistemas criminales transnacionales, los cuales emplearán tácticas híbridas generando grandes dilemas en la seguridad y defensa de las naciones, para buscar su propósito de deslegitimación de los Estados; es por ello que, los países buscarán integrar los esfuerzos y capacidades de hombres y máquinas para continuar luchando por espacios y poderes, tal y como se ha hecho desde el inicio de la historia de la humanidad.

Países de estudio en procesos de evolución y transformación doctrinaria

En la presente investigación, se considera a Colombia y Estados Unidos como países referentes en la evolución doctrinaria de las operaciones multidominio. El primero (Colombia), es valorado por su proximidad física, características socioculturales y geográficas, las cuales tienen similitud con la ecuatoriana. El segundo (Estados Unidos), a pesar de tener grandes diferencias holísticas con el Ecuador, permite entender los mayores conflictos conceptuales y las barreras iniciales a las que se enfrentaron para transicionar hacia esta doctrina, que en la actualidad está siendo adaptada en varios países de la región.

La Fuerza Aérea Colombiana, de acuerdo con su Plan de Desarrollo, pretende alcanzar las siguientes metas en el tema de operaciones multidominio: al 2022, desarrollar sus capacidades defensivas y de operaciones multidominio; al 2030, alcanzar las capacidades para disuadir y enfrentar las amenazas multidominio; y, al 2042, contar con capacidades disuasivas, reales, permanentes y sostenibles para enfrentar las amenazas multidominio (Fuerza Aérea Colombiana, 2019).

Asimismo, la concepción de empleo futuro de la Fuerza Aérea de Estados Unidos concibe a las operaciones multidominio mucho más allá del soporte a las operaciones aéreas, empleando las capacidades espaciales o ciberespaciales. Al 2035, esta fuerza armada pretende en las operaciones multidominio generar una interoperabilidad entre las capacidades adquiridas en el aire, espacio y ciberespacio, considerando que el efecto combinado es mayor que la suma de la

contribución individual de sus partes (United States Air Force, 2015).

La Fuerza Aérea Ecuatoriana, en el Plan de Gestión Institucional FAE 2021-2025 y 2021-2033 (2022) muestra conceptos clave, donde se identifica la existencia de una conciencia referente a la complejidad del entorno, y asimismo se puede concebir la necesidad que tiene la institución por la edificación de alianzas estatales estratégicas para enfrentar las amenazas emergentes. Sobre esta base perceptiva, la institución se ha planteado retos convertidos en tres fases temporales, que son: i) al 2025, pretende consolidar el objetivo del fortalecimiento de la operabilidad y operatividad de la Fuerza; ii) al 2029, la modernización es la meta temporal, enfocándose en la consolidación de una organización inteligente apalancada en la evolución digital, interoperabilidad y conectividad en tiempo real; y iii) al 2033, la consolidación en la obtención de capacidades polivalentes y disuasivas que permitan aportar a los desafíos de la seguridad integral apalancándose en la innovación, automatización, robotización, uso de la inteligencia artificial en los procesos analíticos y decisionales, sistemas de almacenamiento de energía eficientes y nanociencia; todo esto enmarcado de un marco jurídico acorde con los escenarios que se presentan.

De lo expuesto anteriormente y, sin lugar a duda, se deduce que la Fuerza Aérea, por su naturaleza, es un arma multidimensional; y que el aire, el espacio y el ciberespacio son sus dominios naturales. Por ello, es un deber inherente para estas instituciones, dominar estas dimensiones y contribuir de esta manera con la seguridad integral del Estado. No es posible aferrarse a visiones ortodoxas estadocéntricas propias de la guerra fría, cuando la sociedad se encuentra sumergida en un entorno VICA (volátil, incierto, complejo y ambiguo), enfrentando amenazas que han sabido adaptarse para crear dilemas operacionales complejos a las fuerzas estatales. La ecuación seguridad sólida frente a la seguridad líquida resuelta en un entorno VICA debe ser planteada para dar solución al siguiente interrogante: ¿Cuál es el lineamiento interoperacional base que soportará al proceso de toma de decisiones de la FAE para avanzar en el camino hacia las operaciones multidominio?

3. Bases de conocimiento empírico ecuatoriano

En función de las evaluaciones e insumos obtenidos de las entrevistas en profundidad aplicadas a expertos ecuatorianos, se puede definir que:

- a. La conceptualización genérica de las operaciones multidominio son coherentes con las expuestas en el ámbito doctrinario de Colombia y EE. UU.
- b. Las amenazas híbridas y emergentes emplean diversidad de escenarios y tácticas, las cuales al final buscan un fin común —la deslegitimación del Estado, con el fin de tener territorios o zonas de poder—.
- c. La tecnología les ha permitido a las organizaciones criminales transnacionalizarse, complejizando las operaciones en el ámbito de la seguridad y defensa.
- d. Las amenazas híbridas y emergentes requieren de acciones cooperativas a nivel regional, ya no es posible pensar que los problemas son exclusivos de cada país.
- e. El pensamiento operacional multidominio les ha permitido ser efectivos en su lucha contra las amenazas híbridas y emergentes a aquellos países que lo aplican.
- f. En la Fuerza Aérea Ecuatoriana el concepto operacional multidominio se encuentra en un proceso inicial formativo, generándose aún debates sobre ello.
- g. Las amenazas híbridas en el Ecuador son enfrentadas empleando conceptos doctrinarios tradicionales.
- h. El marco jurídico ecuatoriano genera zonas grises en los ámbitos de la seguridad y defensa.
- i. Despertar la conciencia del Estado para promover una interagencialidad efectiva es necesaria para reducir las zonas grises actuales.
- j. En la discusión del tema multidominio, los expertos generalmente mantienen un sesgo relacional exclusivo hacia el ámbito de la defensa.
- k. La interoperabilidad representa para Ecuador una transformación de su estructura organizacional en

la defensa, la cual debe ser impulsada desde las bases hasta el nivel estratégico del Estado.

- l. La visión institucional al 2033 avizora una Fuerza Aérea con capacidades aeroespaciales que permitirá contribuir de manera efectiva y multidimensional al desarrollo, seguridad y defensa del Estado.
- m. Los actores institucionales que deben impulsar la transformación institucional son: el comandante general de la Fuerza Aérea Ecuatoriana —líder del proceso—, consejo de generales de la Fuerza Aérea —órgano asesor—; comandos de operaciones aéreas y de educación y doctrina —ejecutores—, directorías —ejecutores—.

Discusión

Debate sustantivo transdisciplinario

En un contexto global, cabe señalar que la innovación ontoepistémica y teórica —con el acento en las categorías señaladas—, ha superado la lógica de los sistemas tradicionales de pensamiento, descartando los modelos lineales positivistas para adoptar posiciones cognitivas más amplias (Bauman, 2000); esta condición, de elevada complejidad, también obliga a que los

planificadores institucionales tengan una percepción multidimensional y tomen decisiones fundamentadas en las miradas de múltiples actores.

El crecimiento exponencial de la tecnologización, de acuerdo con Virilio, citado en Kellner (1999), ha creado en Ecuador las denominadas zonas grises conceptuales (entre seguridad y defensa) configurándose dilemas sensibles para las operaciones de las fuerzas estatales. Es así que, en países donde aún no se encuentran consolidadas doctrinas, teorías, normas y estrategias para combatir en este entorno, estos espacios son empleados para el desarrollo de la maniobra de las amenazas híbridas que proyectan desgastar a los Estados y su gobernabilidad.

La causalidad operacional compleja propia del entorno VICA, con una mirada dimensional de futuro, obliga a que la FAE proponga lineamientos de transformación doctrinaria que brinden soporte al proceso decisonal, enfocadas en el concepto de interoperabilidad al 2033. Es indispensable incluir en el desarrollo de esta nueva doctrina el desarrollo tecnológico, el cual facilitará y agilizará el proceso de toma de decisiones militares; asimismo, se debe sumar a este entorno complejo la participación de actores estatales externos para combatir efectivamente a las amenazas híbridas que nos agobian. Una explicación diagramática interpretativa se puede visualizar en la siguiente figura.

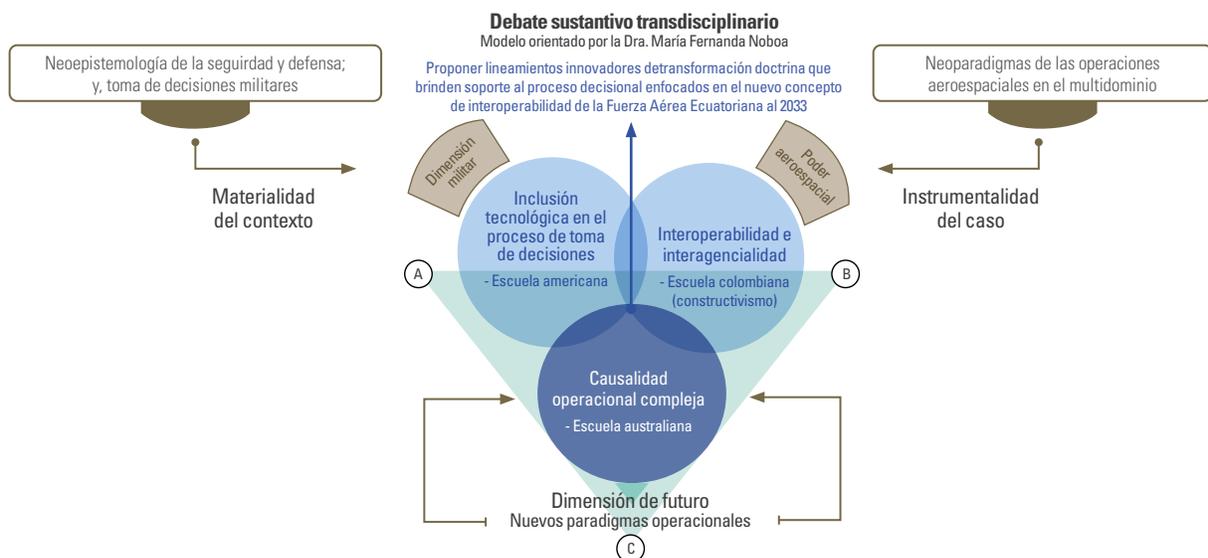


Figura 3. Debate sustantivo transdisciplinario

Fuente: Iván Bolaños Ramírez, con la orientación de la Dra. María Fernanda Noboa (Dis. David Arboleda).

Debate teórico analítico

Como lo menciona Bauman (2000), es inminente que vivimos en una modernidad líquida, la cual impulsada por el desarrollo tecnológico ha distorsionado el espacio y tiempo, complejizando la dinámica regional y global. Se puede decir entonces que, en el ámbito de la seguridad y defensa, el cual no está exento de esta transformación, los Estados se han visto obligados de manera permanentemente a adaptar sus normas, doctrina, tácticas y estrategias interagenciales e interoperables para enfrentar amenazas que actúan en aquellos espacios grises operacionales donde pretenden lograr sus cometidos.

Empleando una percepción ontológica del contexto ecuatoriano, se puede identificar cómo la desviación de los fenómenos de la globalización ha expuesto la debilidad del pensamiento ortodoxo en la estructura integral de la defensa y seguridad del Estado. Es así que utilizando el ordenamiento del diagrama de Nettis (2020), correspondiente a los cruces entre dominios y sectores transversales que lo afectan, se ha realizado la figura 4, para explicar sucintamente cómo el Estado ecuatoriano de manera integral y empleando los diversos dominios, debería participar en la lucha contra estas amenazas emergentes que emplean la hibridez operacional para construir dilemas dinámicos y complejos para las fuerzas estatales.

Incluir en la discusión militar perspectivas sociales representa un dilema que desordena el positivismo de los argumentos operacionales. Hoy en día es impensable en el pensamiento militar alienar conceptos sociales que están inmersos intrínsecamente dentro del entorno actual. Por ende, para mejorar los procesos decisionales en todos los ámbitos de las organizaciones militares, se debe trabajar con visiones inclusivas que permitan tridimensionalizar la problemática, y para hacerlo, se deben emplear varios actores que desde la multidimensionalidad y multiangularidad permitan diseñar un objeto de estudio sobre el cual se pueden desarrollar planes de acción pertinentes e integradores, logrando al final y de manera sistémica que las partes de un todo se complementen para lograr resultados efectivos. Ello es producto de un

pensamiento consiliente que permite una producción de conocimiento experto de alto valor agregado, flexible y aplicable

Para ello, es imprescindible la ejecución de un correcto análisis estructural, que para Godet (2003) constituye una herramienta fundamental que involucra la reflexión colectiva, la cual de manera sistémica incluye a sus elementos constituyentes. Es así como, lo que se pretende al final, es reducir la incertidumbre que se genera de manera natural por la diversidad de dilemas que se desarrollan al participar en varios dominios o espacios de manera simultánea.

En complemento teórico a la complejidad propia de las operaciones multidominio, es ineludible que los pensadores militares desarrollen acciones estratégicas que les permitan, como lo menciona Volgel, citado en el Manual Militar de Planificación Estratégica del Comando Conjunto de las Fuerzas Armadas (2020), enfocarse en “resultados sobre temas considerados prioritarios por quienes tienen responsabilidades en la visualización y puesta en marcha de la estrategia de una organización” (p. 1); asimismo, y de acuerdo con Moreno *et al.* (2017), “estas acciones estratégicas están vinculadas al emprendimiento, donde se accionan las ideas y propósitos” (p. 3) que les permitirán alcanzar un éxito en escenarios de alta incertidumbre.

Diagrama de Nettis

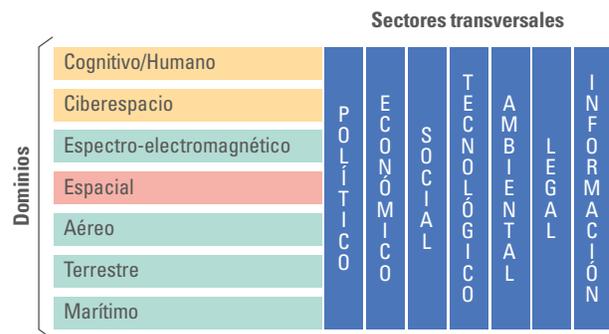


Figura 4. Diagrama de cruces entre dominios y sectores transversales
Fuente: Iván Bolaños Ramírez, basado en el diagrama de Nettis (2020).

Esta estructura diagramática les permite a los planificadores y tomadores de decisiones, marcar los

espacios donde se encuentra operando la amenaza. Entonces, desde ahí, se podría edificar un escenario inicial, donde se exponga quiénes son los actores que deben incluirse y los recursos que se deban disponer para cumplir con estrategias interagenciales que proporcionen resultados efectivos.

Los dominios (barras horizontales del diagrama) se encuentran diagramados empleando el código de colores de semaforización, siendo los de color verde aquellos que en la actualidad las Fuerzas Armadas del Ecuador los ha operacionalizado; en lo concerniente a los rectángulos de color amarillo, se los identifica como los espacios donde existe materia doctrinaria en desarrollo y su funcionalidad es creciente; y por último, el color rojo representa el dominio que se encuentra en un temprano desarrollo, donde aún su norma, doctrina, estrategias y tácticas están en proceso de elaboración. Las barras verticales, representan los sectores transversales que contextualizan al Estado.

Por ejemplo, para configurar un escenario inmediato de los problemas de ingreso de aeronaves consideradas como vuelos ilícitos al Ecuador las cuales traen consigo sustancias sujetas a fiscalización, en el diagrama se puede describir lo siguiente:

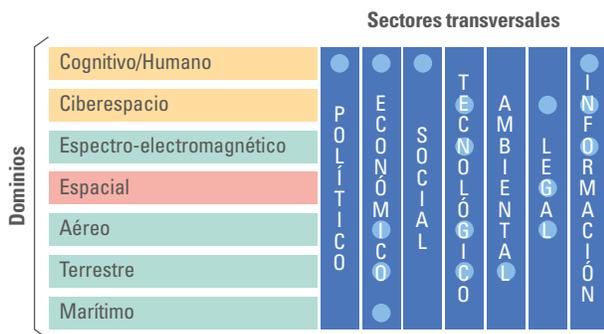


Figura 5. Diagrama de cruces entre dominios y sectores transversales para elaborar un escenario referente a la problemática de ingreso de aeronaves ilícitas al Ecuador

Fuente. Iván Bolaños Ramírez, basado en el diagrama de Nettis (2020)

El diagrama facilita el levantamiento de una estructura analítica, que permite identificar que en Ecuador, las divergencias existentes en el ámbito político han impedido la sinergia en su accionar para combatir a las amenazas híbridas y emergentes. Asimismo,

en lo económico, la corrupción institucionalizada en los distintos niveles de varias organizaciones del Estado constituye un serio obstáculo para efectivizar las estrategias estatales en contra de ellas. De la misma manera, otro factor que debe considerarse es lo referente a que las organizaciones criminales están colocando una gran cantidad de recursos ilícitos en el país, disponiendo de tecnología de alto nivel para ejecutar operaciones aéreas, terrestres y navales con altos índices de éxito.

Al referirse al ámbito social, se puede afirmar que el incremento del tránsito y tráfico de drogas en el país ha elevado los índices de criminalidad por la lucha de espacios para su negociación, todo esto ha hecho que la sociedad perciba esta inseguridad como una falta de capacidad del Estado para combatirla, deteriorando los problemas de gobernabilidad en ciertos territorios. En el análisis de impacto ambiental, se puede mencionar que el incremento de los delitos como la minería ilegal y deforestación en el país han permitido identificar estructuras relacionadas al lavado de dinero.

De otra parte, la falta de una norma legal consistente que permita actuar de manera efectiva a las fuerzas del Estado, en coordinación con los órganos de justicia, es un factor dirimente en la voluntad del personal militar y policial. Y finalmente, la hiperconectividad permite a las organizaciones criminales utilizar los medios digitales para debilitar o destruir a quienes se contraponen a sus operaciones.

Una vez esquematizada la problemática pueden erguirse estrategias integrales que involucren a uno o varios organismos y actores de los sectores públicos y privados, con los cuales se pueden trabajar para el desarrollo de acciones tácticas que permitan luchar de manera efectiva contra estas amenazas híbridas y emergentes.

Conclusiones

Cumpliendo con el objetivo de la investigación que corresponde a la construcción del lineamiento interoperacional que servirá como base para que la FAE avance

en su camino hacia el cumplimiento de operaciones multidominio, se puede mencionar que la reestructuración planteada al diagrama de Nettis, donde se involucran a sectores estatales transversales sobre los cuales se debe analizar multidimensional y multiangularmente la amenaza, permitirá a los planificadores institucionales y del Estado mejorar sus procesos decisionales para desarrollar estrategias y tácticas efectivas e integrales, especialmente para enfrentar a amenazas híbridas y emergentes cuya complejidad y éxito radica en el uso de zonas grises operacionales existentes en el Estado.

La planificación de las organizaciones militares hoy en día no puede estar supeditada a conceptos doctrinarios ortodoxos. Por tal razón, el redimensionamiento del pensamiento estratégico es fundamental para deconstruir los paradigmas de la seguridad y defensa, los cuales deben estar afianzados en los estudios de futuro que permitan diagramar la proyección del entorno, así como el accionar de las amenazas.

El nuevo aparatage teórico-conceptual, derivado de una coevolución sistémica —no lineal y generada por la interrelación del entorno y la teoría— procedentes del nuevo entorno cooperacional, hacen que los actores estatales se vean obligados a transformar sus doctrinas, aplicando nuevas estrategias y herramientas con el objetivo de lograr su misión; procrastinar en este ámbito haría que las fuerzas del Estado no puedan enfrentar a estas amenazas híbridas que operan de manera coordinada en múltiples dominios. Asimismo, bajo la premisa donde se estipula que la seguridad es un concepto derivativo de la conducción del Estado (Booth, 2005), se puede decir que, si esta necesidad evolutiva no es comprendida y las organizaciones estatales se estancan en doctrinas ortodoxas, se estaría abriendo un ventanal por donde las amenazas lograrían su objetivo de desgaste y deslegitimación del Estado.

En definitiva, cuando la seguridad integral está bajo amenaza, el Estado requiere de una gran cantidad de recursos humanos y materiales, por lo que resulta inminente aprovechar todas las capacidades disponibles en las distintas dimensiones y escalas estatales de manera interagencial. Sería absurdo, en un país en desarrollo, desaprovechar o utilizar mal aquellas

existentes en sus instituciones en pos de lograr objetivos comunes.

Por tal razón, es imprescindible desafiar la mirada ortodoxa y las acciones derivadas de ella; es así que, aludiendo a una perspectiva crítica de base hermenéutica, se puede vislumbrar cómo los países de la región están adoptando nuevas directrices en sus miradas de futuro, transformando sus estrategias para operar interagencialmente con las fuerzas del Estado y de esta manera ser efectivos en la lucha contra estos ecosistemas criminales.

Es así que, la visión de la Fuerza Aérea al 2033, de acuerdo con el Plan de Gestión Institucional FAE 2021-2025 y 2021-2033 (2022), involucra alcanzar la capacidad de ser una fuerza polivalente, disuasiva, interoperable con capacidad para disputar el control del espacio aéreo y la exploración y explotación del aeroespacio y ciberespacio, asentados en una organización inteligente e interoperable, con activa capacidad para trabajar de manera efectiva interagencial y cooperativamente nacional, regional y mundial.

Finalmente, desde una perspectiva general, la conciencia de estar inmersos en una modernidad vica, donde la evolución de las amenazas va de la mano del desarrollo tecnológico, se puede decir que el éxito de la seguridad integral de un Estado depende de: i) la comprensión holística que este tenga acerca de las amenazas actuales; ii) la definición pertinente de estas; y iii) la estructuración de sus organizaciones para trabajar de manera cooperativa a nivel interno, regional y mundial; esto significa, dejar de lado aquellas concepciones ortodoxas y positivistas de la planificación en ámbitos de seguridad y defensa, para aprovechar las capacidades específicas de cada una de las organizaciones del sistema integral de seguridad estatal y lograr al final resultados efectivos que beneficien a nuestras sociedades.

Referencias

Álvarez, C. y Zambrano, J. (Abril, 2018). *Globalización desviada: plataforma de convergencia criminal. Desafíos y Nuevos*

- Escenarios de la Seguridad Multidimensional en el Contexto Nacional, Regional y Hemisférico en el Decenio 2015-2025*. <https://doi.org/10.25062/9789585652835.04>
- Bauman, Z. (2000). *Modernidad líquida*. Fondo de Cultura Económica.
- Bartolomé, M. (2019). Amenazas y conflictos híbridos: características distintivas, evolución en el tiempo y manifestaciones preponderantes. *URVIO. Revista Latinoamericana de Estudios de Seguridad*, 4299(25), 8-23. <https://doi.org/10.17141/urvio.25.2019.4249>
- Booth, K. (2005). *Critical Security Studies and World Politics*.
- Constitución de la República del Ecuador. (2008). *Registro Oficial N.º 449, 20 de octubre*.
- Comando Conjunto de las Fuerzas Armadas. (2020). *Manual militar de planificación estratégica de las FF. AA.* (1.ª ed.).
- Der Derian, J. (1990). The (S)pace of International Relations: Simulation, Surveillance, and Speed. *International Studies Quarterly*, 34(3), 295-310.
- Fuerza Aérea Colombiana. (2019). Estrategia para el desarrollo aéreo y espacial de la Fuerza Aérea Colombiana - 2042. *Fuerza Aérea Colombiana*, 53(9), 1689-1699. https://d2r89ls1uje5rg.cloudfront.net/sites/default/files/estrategia_para_el_desarrollo_aereo_y_espacial_fuerza_aerea_colombiana_2042.pdf
- Futures Platform. (2021). *Plataforma de futuros. Plataforma de prospectiva colaborativa para tomadores de decisiones*. <https://www.futuresplatform.com/>
- Godet, M. (2003). *La caja de herramientas de la prospectiva estratégica* (4.ª ed.). Centro Lindavista.
- Grupo de Desarrollo Regional del Tecnológico de Monterrey. (2009). *Las megatendencias sociales actuales y su impacto en la identificación de oportunidades estratégicas de negocios* (1.ª ed.). Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. https://portaldoc.itesm.mx/pls/portaldoc/docs/PORA3_1_20012012143549.pdf
- Iturriga, S. (2020). Las operaciones multidominio para el us Army. *Centro de Estudios Estratégicos de la Academia de Guerra de Chile*, 23, 7. <https://www.ceeag.cl/wp-content/uploads/2020/11/Estudio-CEEEAG-Nº-23.pdf>
- Kellner, D. (1999). *Virilio, War, and Technology: Some Critical Reflections*. <https://pages.gseis.ucla.edu/faculty/kellner/essays/viriliowartechology.pdf>
- Max, M. (2005). Fundamentos de la transdisciplinariedad. *Ecological Economics*, 53, 5-16.
- Mills, D. (2010). Coalition Interoperability: An International Adventure. *Air University*. <https://www.airuniversity.af.edu/Portals/10/ASPJ/journals/Chronicles/mills.pdf>
- Ministerio de Defensa Nacional. (2018). *Política de la Defensa Nacional del Ecuador*.
- Mojica, F. (2006). Concepto y aplicación de la prospectiva estratégica. *Revista Med.*, 14(1), 122-131.
- Moreno, Z., Villasmil, M., Duran, S., Parra, M. y Hernández, B. (2017). Importancia del pensamiento estratégico y acciones estratégicas para impulsar el emprendimiento social en las universidades venezolanas. *Espacios*, 38(45), 4. <https://www.revistaespacios.com/a17v38n45/a17v38n45p04.pdf>
- Naser, A. (2021). *Gobernanza digital e interoperabilidad gubernamental. Una guía para su implementación*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (Cepal). Documentos de Proyectos (LC/TS.2021/80). https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/47018/1/S2100258_es.pdf
- Nettis, K. (2020). Multi-Domain Operations: Bridging the Gaps for Dominance. *Sixteenth Air Force (Air Forces Cyber)*, 1-16. <https://www.16af.af.mil/News/Article/2112873/multi-domain-operations-bridging-the-gaps-for-dominance/>
- Rubio, M. A. (2016). *La transdisciplina en la investigación del diseño*. Universidad de Guanajuato. <https://bit.ly/33Z5pC4>
- United States Air Force. (2015). *Future Operating Concept - A view of the Air Force in 2035*. USAF. <https://bit.ly/3larKmx>
- us Army. (Octubre, 2017). Multi-Domain Battle: Evolution of Combined Arms for the 21st Century (2025-2040). *TRADOC*, 79. https://www.tradoc.army.mil/wp-content/uploads/2020/10/MDB_Evolutionfor21st.pdf
- Van Den Bosch, K. & Bronkhorst, A. (June, 2018). Human-AI Cooperation to Benefit Military Decision Making. *Nato Science & Technology Organization*, 1-12. <https://www.sto.nato.int/Pages/default.aspx>
- Villalobos, A. V. (2003). Aceptación ampliada de la interoperatividad. *Revista de Marina*, 26. <https://revistamarina.cl/revistas/2003/1/Vergara.pdf1>
- World Economic Forum. (2022a). *Quantum Computing*. <https://www.weforum.org/communities/gfc-on-quantum-computing>
- World Economic Forum. (2022b). *The Metaverse*. <https://www.weforum.org/topics/the-metaverse>

Desempeño psicofísico en un vuelo espacial corto. Revisión narrativa de la literatura*

| Fecha de recibido: 24 de abril 2022 | Fecha de aprobación: 03 de junio 2022 |

Nindre Pico Quintero

Psicóloga, magíster en Trastornos
Cognitivos y del Aprendizaje

Dirección de Medicina Aeroespacial.
Fuerza Aérea Colombiana
Colombia

Rol del investigador: teórico y escritura
Grupo de investigación: Ciencia
y Poder Aéreo CIPAER

<https://orcid.org/0000-0002-6311-9274>
✉ nindre.pico@fac.mil.co

Diego Leonel Malpica Hincapie

Especialista en Medicina Aeroespacial
Docente de Fisiología de Vuelo. Escuela de
Posgrados Fuerza Aérea Colombiana
Colombia

Rol del investigador: teórico y escritura
Grupo de investigación: Ciencia
y Poder Aéreo CIPAER

✉ dimalpicah@unal.edu.co,
diego.malpica@epfac.edu.co

* Revisión sistemática de la literatura, grupo CIPAER, Financiación en especie de la DIMAE.

Cómo citar este artículo: Pico Quintero, N., y Malpica Hincapie, D. L. (2022). Desempeño psicofísico en un vuelo espacial corto. Revisión narrativa de la literatura. *Ciencia y Poder Aéreo*, 17(2), 65-81. <https://doi.org/10.18667/cienciaypoderaaereo.752>



Desempeño psicofísico en un vuelo espacial corto. Revisión narrativa de la literatura

Resumen: Desarrollar actividades en el espacio presenta retos psicofisiológicos que dificultan el desempeño humano, por lo que su entendimiento es fundamental para la planeación de misiones suborbitales, orbitales y de exploración. El ambiente de microgravedad, sumado a la exposición a las condiciones habitacionales en naves espaciales, exige una integración holística de los campos del conocimiento que estudian el rendimiento humano para llevar a cabo diversas actividades de investigación en ciencias espaciales para beneficio de las personas en la Tierra, además de tareas de mantenimiento de equipos, navegación y supervivencia, pero sobre todo, para el diseño de programas que conserven la salud y preparen a los astronautas para la reentrada a la atmósfera, con el fin de disminuir la morbilidad y facilitar la aclimatación a la superficie terrestre. Se realiza, por tanto, una revisión de la literatura publicada en el periodo 1969-2020 mediante la búsqueda en bases de datos como ProQuest, Ebsco, Ovid, arXiv.org, Sage, BioMed, ClinicalKey, SciELO, ScienceDirect, Scopus, SpringerLink, Web of Science, Wiley, PubMed y Google Scholar, y se escogen los artículos que describan los cambios fisiológicos más relevantes en una secuencia de lanzamiento, vuelo orbital y reentrada en los sistemas nervioso central, cardiovascular, respiratorio, musculoesquelético y hematológico, inducidos por la microgravedad y la dinámica de una operación espacial corta.

Palabras clave: vuelo espacial; astronautas; fisiología; medicina aeroespacial; Colombia.

Psychophysical performance in a short space flight. Narrative literature review

Abstract: Human activities in space impose several psychophysiological challenges that impact human performance, and its understanding is pivotal for the planning phase of suborbital, orbital and exploration type missions. The holistic integration of different knowledge fields in human performance influenced by microgravity and the spacecraft environment is necessary to carry out activities in space science, research, equipment maintenance, navigation and survival for the benefit of people on earth, continuation of space endeavors, to decrease the likelihood of morbidity and facilitate physiological adaptation of astronauts during re-entry and postlanding activities. A review of literature was performed from 1969 to 2020 using ProQuest, Ebsco, Ovid, arXiv.org, Sage, BioMed, ClinicalKey, SciELO, ScienceDirect, Scopus, SpringerLink, Web of Science, Wiley, PubMed and Google Scholar choosing the best available description of central nervous system, cardiovascular, respiratory, musculoskeletal, and hematologic changes induced by microgravity during a short space flight mission.

Keywords: spaceflight; astronauts; physiology; aerospace medicine; Colombia.

Desempenho psicofísico em um voo espacial de curta duração. Revisão narrativa da literatura

Resumo: O desenvolvimento de atividades no espaço apresenta desafios psicofisiológicos que dificultam o desempenho humano, por isso sua compreensão é fundamental para o planejamento de missões suborbitárias, orbitais e de exploração. O ambiente de microgravidade, aliado à exposição às condições de habitação em naves espaciais, requer uma integração holística de campos de conhecimento que estudam o desempenho humano para realizar várias atividades de pesquisa em ciência espacial em benefício das pessoas na Terra, além das tarefas de manutenção, navegação e sobrevivência de equipamentos, mas sobretudo para o projeto de programas que preservem a saúde e preparem astronautas para a reentrada na atmosfera, a fim de reduzir a morbilidade e facilitar a aclimação à superfície da Terra. Portanto, é realizada uma revisão da literatura publicada no período 1969-2020 por meio de bancos de dados de pesquisa como ProQuest, Ebsco, Ovidio, arXiv.org, Sage, BioMed, ClinicalKey, SciELO, ScienceDirect, Scopus, SpringerLink, Web of Science, Wiley, PubMed e Google Scholar, e os artigos que descrevem as mudanças fisiológicas mais relevantes em uma sequência de lançamento, voo orbital e reentrada nos sistemas nervoso central, cardiovascular, respiratório, musculoesquelético e hematológico, induzidos pela microgravidade e dinâmica de uma pequena operação espacial.

Palavras-chave: voo espacial; astronautas; fisiologia; medicina aeroespacial; Colômbia.

Introducción

Se han cumplido veinte años de presencia permanente en la Estación Espacial Internacional (EEI), ubicada a 400 km de altitud, la cual reúne el esfuerzo de 15 naciones que, con su persistente contribución, han realizado más de 2700 estudios científicos para el entendimiento de enfermedades como el Alzheimer, Parkinson, asma, cáncer y la enfermedad cardiovascular, así como avances en estudios de microbiología, agricultura, física cuántica y de fluidos, astrofísica, desarrollo tecnológico e incluso para la ayuda en toma de decisiones en gestión de desastres por eventos naturales en la Tierra. El esfuerzo para vivir y trabajar en el espacio depende de la capacidad del ser humano para aclimatarse biológica, psicológica y socialmente en un ambiente extremo, además del mantenimiento de la salud, dado que la microgravedad induce cambios importantes en la fisiología mientras que la exposición a radiación pone en riesgo la salud de los astronautas (Barratt *et al.*, 2020).

El soporte tecnológico y logístico hizo posible el vuelo de Dennis Tito como turista a la EEI a bordo del Soyuz-TM32 en el 2001, y la evolución del vuelo espacial privado ha hecho posible disminuir los costos en un 30 % para ingresar a una órbita baja terrestre (Greason y Bennet, 2019). Pronto se ampliará con vuelos suborbitales el número de personas que han volado al espacio, sin dejar de lado el concepto de una adecuada aptitud psicofísica para la salida y la reentrada atmosférica (Chang, 2020).

La planeación del vuelo espacial demanda un amplio conocimiento aplicado en ciencias espaciales y la comprensión holística del desempeño humano en operaciones en condiciones nominales y de emergencias, por medio del soporte de especialistas en medicina aeroespacial que se encargan de analizar y gestionar los riesgos desde la selección del personal, el entrenamiento, el soporte al lanzamiento, el vuelo, la recuperación de la nave, la vigilancia por telemedicina y el mantenimiento del desempeño psicofisiológico durante y posterior al regreso (Stepanek *et al.*, 2019).

Los cambios psicofísicos dependen de la duración y el destino del vuelo, así como de las demandas de las actividades de trabajo programadas con anticipación; sin embargo, el ambiente de microgravedad crea ciertas condiciones físicas, responsables de los cambios fisiológicos, como se muestra en la figura 1. Por ejemplo, las operaciones suborbitales duran unos minutos a una altitud que supera los 100 km y los retos psicofisiológicos se relacionan con la exposición a aceleraciones, ruido, vibración, confinamiento y microgravedad, lo que puede generar cinetosis, hipocapnia y ansiedad (Blue *et al.*, 2012; Campbell y Garbino, 2011; Jennings *et al.*, 2006).

El entendimiento de los cambios fisiológicos esperados en un vuelo espacial no son materia de revisión frecuente en las facultades de Medicina en Colombia y, por lo general, son discutidos a nivel de especialidad médica y maestría, por lo cual es necesario proveer una breve descripción para los profesionales de la salud que tienen interés por las ciencias espaciales.

Métodos

Se realizó una revisión narrativa de la literatura mediante metabuscadores y bases de datos como ProQuest, Ebsco, Ovid, arXiv.org, Sage, BioMed, ClinicalKey, SciELO, ScienceDirect, Scopus, SpringerLink, Web of Science, Wiley, PubMed y Google Scholar para el periodo 1969-2020. Se emplearon las palabras clave *short-duration space flight and cardiovascular physiology, short-duration space flight and neurophysiology, short-duration space flight and musculoskeletal physiology, short-duration space flight and Skylab, short-duration space flight and Apollo, short-duration space flight and respiratory physiology, short-duration space flight and gastrointestinal physiology, short-duration space flight and endocrine physiology, short-duration space flight and neuropsychology, short-duration space flight and neurocognitive, short-duration space flight and biomedical, short-duration space flight and orthostatic*

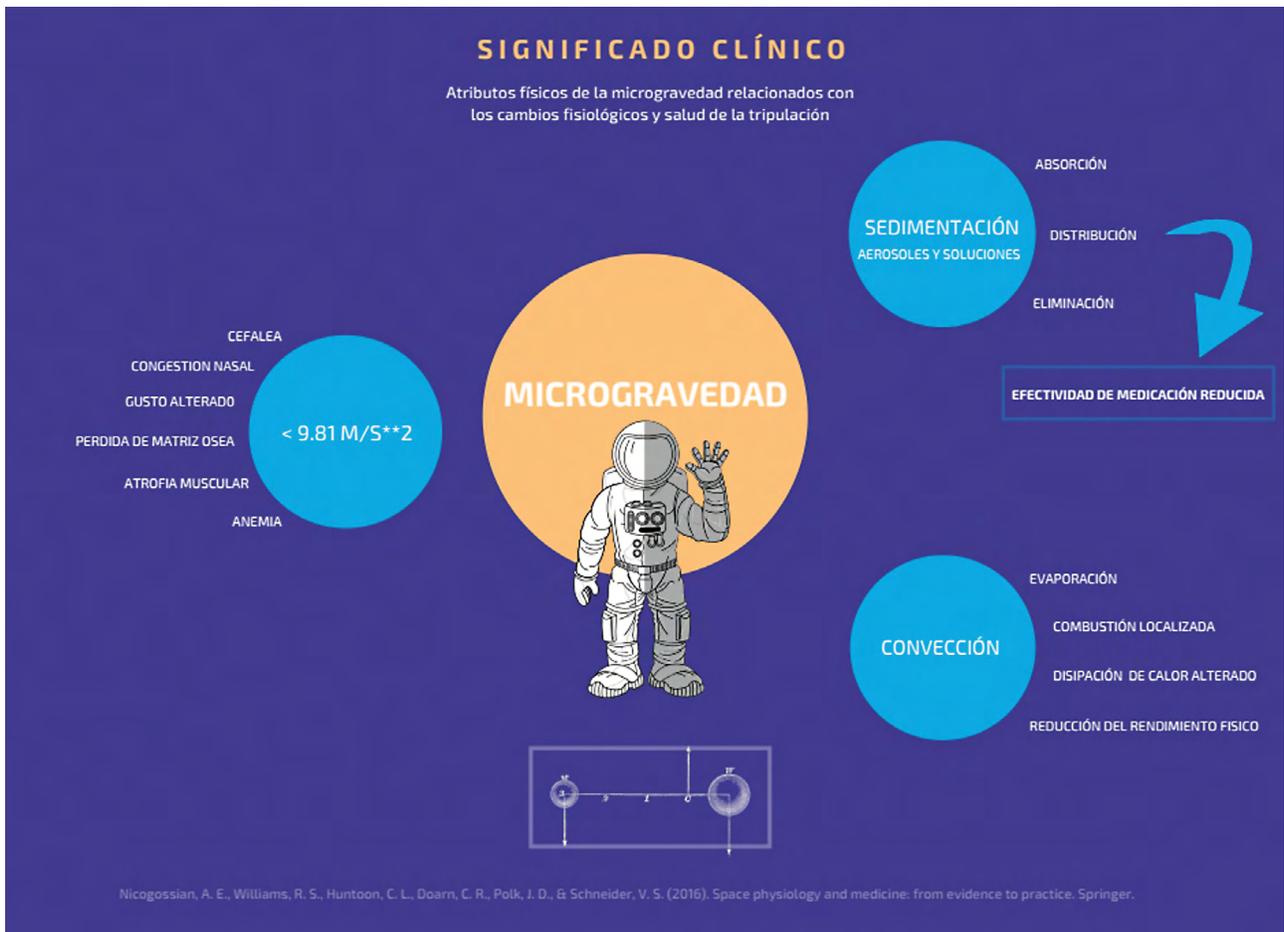


Figura 1. Atributos físicos en microgravedad y significado clínico

Fuente: elaboración propia, con base en Nicogossian *et al.* (2016).

intolerance, short-duration space flight and International Space Station, short-duration space flight and human performance, short-duration space flight and bone, se hizo la búsqueda con la estrategia descrita en la tabla 1, de acuerdo con Richter *et al.* (2017), se restringió la búsqueda de los artículos al idioma inglés y posteriormente se llevó a cabo la lectura independiente de aquellos que describen los cambios fisiológicos más importantes en una secuencia de vuelo espacial de corta duración en las fases de despegue, entrada a vuelo orbital, entrada a la atmósfera y posaterizaje. Se excluyeron los estudios que no cumplieron los criterios de inclusión, que describen cambios de adaptación a microgravedad en exposiciones mayores a

treinta días, los análogos espaciales, aquellos que describen el efecto de la exposición diferente a humanos y aquellas publicaciones que hayan salido de órbita terrestre baja, como aquellas en las misiones de Apollo que incluyeron actividad extravehicular en la superficie de la Luna. Las publicaciones en medicina del espacio presentan retos que han limitado la generación de metaanálisis dado que existen pocos ensayos clínicos controlados, diversos métodos de investigación no estandarizados y como se describe en algunas publicaciones, pobre reporte de datos de estudio (Winnard *et al.*, 2022). Por esta razón, se realiza una descripción narrativa de la literatura relevante a un vuelo espacial de corta duración.

Tabla 1.
Ejemplo de la estrategia de búsqueda

Número de búsqueda	Término	Palabras clave en formato de búsqueda	Filtro de búsqueda
1	Short-duration space flight.	"Short-duration space flight" OR "short space flight" OR "space flight less than 30 days".	Título/Resumen.
2	Partial gravity.	"microgravity" OR "partial gravity" OR "reduced gravity" OR "low gravity" OR "hypogravity".	Todos los campos.
3	Cardiopulmonary physiology.	Cardio OR cardiac OR cardiopulmonary OR heart OR blood OR myocardial OR arterial OR venous OR orthostatic OR cardiovascular system (mesh) OR Circulatory and Respiratory physiological phenomena"	Todos los campos.
4	Neurophysiology.	Neurology OR neurological OR neuro-ocular OR neurocognitive OR central nervous system OR neurological physiological phenomena (mesh) OR neuropsychology OR neurosensory.	Todos los campos.
5	Musculoskeletal.	Muscle OR bone OR body composition OR osteo OR neuromusculoskeletal OR musculoskeletal system (mesh).	Todos los campos.
6	Human performance.	Cognition OR emotional OR visuospatial OR memory OR attention OR sensory.	Todos los campos.
7	Gastrointestinal.	Intestine OR gastric OR bowel OR liver OR pancreatic OR hepatic OR gastrointestinal physiological phenomena (mesh).	Todos los campos.
8	Mechanics.	Biomechanics OR locomotion OR run OR jump OR impact OR acceleration OR electromyography OR mechanical work OR kinetics OR pressure suit OR positive pressure OR movement (mesh) OR mechanics OR workload OR mechanical phenomena (mesh)	Todos los campos.
9	Búsqueda combinada.	1 AND (2 OR 3 OR 4 OR 5 OR 6 OR 7 OR 8).	

Nota. Las palabras clave fueron combinadas usando descriptores booleanos agrupados por palabras clave. Los titulares de tópicos médicos, del inglés Medical Subject Headings (MeSH) fueron incluidos además de los filtros de búsqueda avanzada en las bases de datos descritas.

Fuente: elaboración propia.

Resultados

Se recolectaron 4889 referencias de vuelo espacial que hacen una descripción de cambios psicofísicos en humanos durante el periodo 1969-2020, los cuales incluyen los siguientes sistemas: cardiovascular (832), nervioso central (674), osteomuscular (955), gastrointestinal (476), endocrinológico (299), respiratorio (738), y referencias con la descripción neuropsicológica (44), los cuales incluyen aspectos emocionales (498) y rendimiento cognitivo (373). Se descartaron aquellos títulos cuyo acceso electrónico no fue posible (561) y los registros de referencias repetidas (1419), vuelo espacial de más de 30 días (2129) y se excluyen los títulos de análogos espaciales (643), dado que no tienen la capacidad de simular todas las variables de exposición. Se recopilaron 137 artículos publicados que

hacen referencia a los criterios anteriores, finalmente se seleccionaron 69 referencias que describen los cambios en las fases tempranas del vuelo espacial, vuelo orbital, reentrada y aterrizaje y posvuelo, que además incluye lo que se ha publicado en libros de referencia de medicina, psicología y fisiología espacial, donde se consigna la experiencia que no se ha publicado en literatura científica. Se relatan los hallazgos para que el lector acceda a una revisión rápida y pueda entender con mayor facilidad la dinámica fisiológica en microgravedad en una temporalidad menor a 30 días.

Fases tempranas del vuelo espacial

Desde el despegue hasta el momento de apagado de los motores de propulsión química responsables del ascenso, hay un lapso de 9 minutos, aproximadamente; la aceleración pico está en promedio entre 3-4 G

que con la vibración y el ruido hace difícil las tareas de interacción con interruptores, pantallas, listas de chequeo y comunicaciones, por lo que el lanzamiento es automatizado; sin embargo, se monitorizan los parámetros del lanzamiento en el potencial escenario de ejecución de procedimientos para abortar o asumir el control manual (Barratt *et al.*, 2020; Clément, 2011).

Como se describe en la figura 2, los cambios fisiológicos inmediatos posteriores a la pérdida del vector de aceleración de la propulsión vienen de la perturbación del gradiente de la presión hidrostática, que desplaza en dirección cefálica aproximadamente 2 L de volumen desde las piernas a la circulación central con edema y eritema facial, lo que desencadena síntomas de congestión nasal, frontal, maxilar y retroocular, mejorando de horas a días con la actividad física por las contramedidas adoptadas desde la experiencia de Skylab (NASA, 1977).

El síndrome de adaptación espacial (SAS) describe los síntomas más prevalentes en los astronautas durante la primera semana de entrada en órbita, e incluyen náuseas, emesis, ilusiones de movimiento y pérdida de apetito, por lo cual las tareas de actividades extravehiculares (EVA) se inician a las 72 h de entrada en órbita (Nicogossian *et al.*, 2016).

Por otra parte, pasados minutos u horas de la entrada en órbita se produce un alargamiento axial de la columna vertebral (Chang *et al.*, 2016), se reduce la cifosis torácica y comienza el proceso de atrofia osteomuscular en las regiones de soporte del peso corporal (Lang *et al.*, 2004).

En cuanto al sistema cardiovascular, este es altamente influenciado por el gradiente hidrostático debido al cambio de la entrada de señales en los barorreceptores en las carótidas, atrio, uniones atrioventriculares, aorta y vasculatura pulmonar, que detecta un incremento relativo de la presión hidrostática y amplifica la frecuencia de actividad parasimpática para producir vasodilatación y mantener la presión arterial normal (Morin, 1961; Nicogossian *et al.*, 2016).

En las fases tempranas de la salida a vuelo orbital, el gasto cardiaco se incrementa del 18 % al 26 % (Prisk *et al.*, 1993; Shykoff *et al.*, 1996), secundario al aumento del volumen del latido por el desplazamiento



Figura 2. Retos fisiológicos del vuelo espacial
Fuente: Barratt *et al.* (2020) y Liu *et al.* (2016).

cefálico de fluidos que, acompañado de la temprana pérdida del volumen plasmático del 10-15 % (Smith *et al.*, 1997), contribuye a la extravasación al compartimento extracelular y una pérdida de la masa eritrocitaria del 10 % en la primera semana, a causa de la disminución de la secreción de eritropoyetina y hemocitólisis selectiva (Heer *et al.*, 2001).

El sistema respiratorio en un astronauta generalmente no sufre cambios importantes que impacten la efectividad del desempeño físico durante el lanzamiento y el vuelo orbital; no obstante, el ambiente de la unidad presurizada contiene contaminantes como dióxido de carbono y partículas en suspensión que para una persona con predisposición a tener efectos adversos con la exposición sería intolerable (Barratt *et al.*, 2020).

Por su parte, el sistema musculoesquelético se ve afectado en relación con los cambios de actividad física en vuelo orbital, así como por el balance nutricional proteico y la predisposición individual. En estudios que comparan la fuerza relativa con el prevuelo se ha podido concluir que en las extremidades inferiores se pierde un 20 % de fuerza en músculos extensores y hasta del 17 % en flexores (Thorton y Rummel, 1975). Estudios posteriores de expediciones cortas de una semana en órbita demostraron, mediante resonancia magnética, que un día después del aterrizaje los astronautas habían disminuido el volumen del sóleo gastrocnemio en un 6,3 %, de cuádriceps en un 6 %, de músculos de la espalda en un 10,3 %, de muslo posterior en un 8,3 % (LeBlanc *et al.*, 1995), lo mismo para los grupos musculares de la rodilla (5-16 %) (Akima *et al.*, 2000).

La integridad del sistema óseo se ha visto comprometida en misiones de larga duración únicamente, con pérdida de la densidad mineral ósea (BMD), calcio y fosfato, con una disminución general de la absorción de calcio. Esta pérdida de densidad mineral ósea es preferente en la parte inferior del cuerpo en un ritmo calculado para la columna axial del 0,9 %/mes, del 1,5 %/mes en cadera y del 0,4 %/mes en calcáneo (Lang *et al.*, 2004); la pérdida de la masa y la densidad trabecular es del 14-16 % del fémur proximal, a un ritmo del 5 %/mes (Lang *et al.*, 2006).

El fenómeno que acompaña la pérdida se ve reflejado en la toma de biomarcadores incrementados como el calcio urinario y fecal, hidroxiprolina urinaria, N-telopéptido, desoxipirodinolina y reducción en los marcadores de formación ósea como la fosfatasa alcalina específica del hueso y osteocalcina, así como incremento en los niveles de parathormona (PTH), y disminución de los niveles de 1,25-dihidroxicolecalciferol, que tienden a normalizarse días después de la re-entrada (Caillot *et al.*, 1998; Morey *et al.*, 1988; Smith *et al.*, 2005; Whedon *et al.*, 1977).

Esta pérdida del calcio urinario no solo incrementa el riesgo de fracturas en misiones de larga duración, sino también el riesgo de nefrolitiasis y cólico renal, por lo que se establecen contramedidas para gestionar el riesgo a partir de la estimulación de la actividad física y el seguimiento nutricional de las tripulaciones (Nicogossian *et al.*, 2016).

Desempeño psicofísico en órbita

Estudios de rendimiento cardiovascular en astronautas en un vuelo de 15 días han mostrado que el consumo de oxígeno (VO₂) disminuye progresivamente del 8 % a un promedio de hasta el 12 % aproximadamente a los 60 días, y una recuperación del 6 % posterior a los dos meses a bordo de la EEI (Trappe *et al.*, 2006).

Las contramedidas establecidas para el desacomodamiento cardiovascular en el espacio comienzan a los 15 días de entrada en órbita, para permitir mejor equilibrio del cambio cefálico de fluidos y con esto preparar para la actividad física más demandante en las EVA, mediante el uso de banda trotadora y del dispositivo de ejercicio de resistencia avanzado (ARED), con el fin de que el astronauta logre mantener la fuerza muscular de brazos y hombros, factor crítico para mantener la aptitud física en misiones de mayor duración (Barratt *et al.*, 2020).

La termorregulación se ve afectada por la evaporación de agua de la piel durante actividades de ejercicio físico, dado que la adherencia del sudor a la piel tiene que ser removida por el mismo astronauta. Los sistemas de control ambiental mantienen la temperatura de la atmósfera entre los 18 °C y 27 °C durante

operaciones nominales, y excluyen operaciones con las unidades de movilidad extravehicular (EMU), ascenso, entrada, aterrizaje y postaterizaje (NASA, 2019). Las mediciones de temperatura central mediante telemetría han revelado un promedio de 37 °C con un incremento de 0,5 °C en las actividades de uso de EMU y en las del reingreso a la atmósfera, a pesar de que los trajes tengan mecanismos de disipación de calor mediante tubos con circulación de líquido (Rimmer *et al.*, 1999).

El sistema gastrointestinal, por su parte, presenta cambios por la disminución de la peristalsis, probablemente relacionada con la cinetosis en los primeros días, aunque algunos estudios han sugerido mediante mediciones de electrogastrografía (Harm *et al.*, 2002) la presencia de edema hepático y pancreático, que disminuye el vaciamiento gástrico, junto a la insuficiencia pancreática leve que contribuye también a este fenómeno (Smith *et al.*, 2020). No obstante lo anterior, el proceso digestivo no es clínicamente significativo, dado que la frecuencia de síntomas no es diferente a la reportada en la Tierra; de todas formas, hoy en día se requieren más estudios para ser concluyentes al respecto (Barratt *et al.*, 2020).

La filtración glomerular no se afecta significativamente, a pesar de la ligera disminución del aclaramiento de creatinina durante el primer día de entrada en órbita con normalización del segundo día en adelante; los niveles de hormona antidiurética (ADH) se incrementan cuatro veces con este mismo patrón, probablemente por el fenómeno de cinetosis (Eversmann *et al.*, 1978), y regresan a valores normales a medida que pasa el tiempo en órbita. En general, se ha visto que el eje renina-angiotensina-aldoesterona se estimula por encima de lo normal en comparación con los datos de los estudios terrestres (Drummer *et al.*, 2001; Eversmann *et al.*, 1978).

En relación con los cambios neurooftálmicos, estos incluyen alteraciones del nervio óptico que afectan la agudeza visual y con frecuencia requieren prescripción de lentes para la corrección visual cercana. En estudios de tomografía de coherencia óptica (OCT) y fundoscopia se ha documentado el aplanamiento posterior del globo, distensión de las fibras del nervio

óptico, edema, pliegues lineales en la coroides retiniana, exudados algodinosos compatibles con estasis axonal y cambios de hiperopía (Lee *et al.*, 2020), con una prevalencia del 60 % (Kramer *et al.*, 2012).

Se ha demostrado que los cambios neurológicos son sutiles y no degradan el desempeño funcional en las tareas ejecutadas en el vuelo orbital; se espera mayor impacto funcional en los días posteriores a la reentrada, a excepción del incremento de la respuesta catecolamínica durante la actividad física (Hyatt y West, 1977) y, a pesar de que la resistencia vascular periférica se ve disminuida, la actividad simpática se incrementa o no se afecta en algunos astronautas (Ertl *et al.*, 2002), lo que sugiere una discrepancia que debe estudiarse más a fondo. La actividad parasimpática se puede ver aminorada (Cox *et al.*, 2002), al igual que la variabilidad de la frecuencia cardíaca (Cooke *et al.*, 2000); sin embargo, la actividad física mantiene un balance de la sensibilidad del reflejo baroreceptor (Hughson *et al.*, 2012).

El trabajo habitual de astronautas incluye tareas como la operación de sistemas técnicos complejos, la experimentación científica, el mantenimiento de la EEI y la realización de EVA, que implican alta demanda sobre procesos cognitivos y de función psicomotora que se traducen en el éxito de la misión y en la seguridad de toda la tripulación (Van Vuuren, 1987).

A pesar de que las demandas sobre el ser humano sean altas en operaciones espaciales, esto no significa que la exposición al ambiente operacional en el espacio sea inocua. Desde los comienzos del vuelo humano espacial se conoce la afectación del desempeño cognitivo con la influencia de eventos fisiológicos como desorientación espacial, ilusiones visuales, alteración de la percepción de la temporalidad, afectación de la atención y la concentración, realización de tareas motoras y un enlentecimiento del desempeño de tareas (Christensen y Talbot, 1986; Kubis *et al.*, 1977).

En la microgravedad se observa una alteración del procesamiento de señales del sistema vestibular, visual y propioceptivo que afecta las funciones cognitivas superiores relacionadas con la percepción espacial y el reconocimiento de patrones y objetos (Leone *et al.*, 1998; McIntyre *et al.*, 2001), además de la afectación

del procesamiento de la programación y la ejecución de movimientos voluntarios, probablemente por la modificación de la percepción de la posición de extremidades que lleva a micro correcciones de la ejecución motora (Bock, 1994; Cruse *et al.*, 1990), también llamada “discordancia sensoriomotora” (Bock, 1998).

Los humanos son considerados como una de las especies más adaptables en este planeta, pues poseen la capacidad de vivir en entornos diferentes a los vistos en la Tierra. El espacio representa la última frontera y un gran desafío para las capacidades de adaptación humana. Los astronautas y cosmonautas son seleccionados por su capacidad para trabajar en entornos altamente peligrosos en el espacio, dando lo mejor de sí mismos. Ahora bien, las investigaciones realizadas en la Tierra han llegado a demostrar que el rendimiento cognitivo, perceptivo y motor humano se deteriora bajo estrés. Se esperaría, por tanto, observar dichos efectos en el espacio, ya que actualmente este entorno representa un ambiente excepcional para poner a prueba a los humanos. Por ello resulta imprescindible para los neurocientíficos y psicólogos comprender los parámetros neurocognitivos y neuropsicológicos que influyen en los vuelos espaciales. En este sentido, muchas de las características ambientales particulares de las misiones espaciales, las cuales también están presentes en las simulaciones de vuelos espaciales, pueden afectar el desempeño neurocognitivo (De la Torre, 2014).

Se pueden diferenciar cuatro tipos de factores estresantes durante vuelos espaciales (Crucian *et al.*, 2014):

1. Factores estresantes que surgen en el entorno espacial. El ejemplo más específico de este tipo es la microgravedad. Careciendo de la fuerza gravitacional habitual se inducen varios cambios fisiológicos (por ejemplo, cambios en la entrada vestibular; desplazamiento de los líquidos corporales hacia las partes superiores del cuerpo; cambios en el metabolismo óseo y mineral; alteraciones de los procesos propioceptivos).
2. Factores estresantes que surgen del hábitat espacial y su sistema de soporte vital. Esta clase de factores estresantes incluye factores como

confinamiento, niveles elevados de CO₂ en el aire ambiental y niveles elevados de ruido.

3. Factores estresantes relacionados con la carga de trabajo físico y mental de los astronautas para misiones específicas.
4. Factores estresantes relacionados con la situación social en el hábitat espacial (por ejemplo, falta de privacidad, aislamiento de familiares y amigos).

Considerando que se puede esperar que los efectos de la última clase de estresores emerjan solo después de algunas semanas en el espacio, todos los demás tipos de factores estresantes pueden afectar el rendimiento y el estado de ánimo de los astronautas durante los vuelos espaciales, tanto a corto como a largo plazo. A pesar de su relevancia operativa, la investigación relacionada con el desempeño humano durante los vuelos espaciales hasta ahora se ha limitado en gran medida a estudiar los efectos específicos de la microgravedad en funciones visuales y perceptivas, así como procesos psicomotores implicados en el control corporal (Manzey *et al.*, 1998). Solo en los últimos años se ha incrementado el interés científico para describir el curso temporal de diferentes aspectos de la eficiencia mental a lo largo de las misiones espaciales. Esto ha dado lugar a varios estudios de seguimiento del rendimiento durante los vuelos espaciales a corto plazo usando métodos de investigación en simulaciones análogas espaciales (Cromwell *et al.*, 2021; Stahn y Kühn, 2021).

Los efectos no especificados del estrés además pueden afectar la alerta situacional, sumando a la alta carga de trabajo, el aislamiento y el confinamiento que se han tratado de explicar mediante el modelamiento neurofisiológico de activación cortical (Hockey y Hamilton, 1983). Estudios han demostrado variaciones en el alertamiento general, la selectividad atencional, la velocidad de procesos cognitivos, la precisión de procesos cognitivos y la capacidad de memoria de trabajo (Rutherford, 1987), que por estrategias de adaptación a las demandas del trabajo evidencian algunos errores de ejecución, incremento del efecto de la fatiga y disminución de la eficiencia de las tareas (Robert y Hockey, 1997). De acuerdo con esta afirmación, los

signos tempranos de la disminución del desempeño secundario al estrés pueden ser encontrados en pruebas sensibles o en la afectación del desempeño en tareas específicas de la misión (Kanas y Manzey, 2008).

Estudios de monitoreo continuo de astronautas en el espacio han revelado que el desempeño de tareas dobles, que incluyen el cambio rápido de atención por la limitación primaria de la selectividad atencional y por la influencia de las demandas de la alta carga de trabajo y el estrés del ambiente operacional, reducen la eficiencia en la ejecución de las tareas (Fowler *et al.*, 2000a; Fowler *et al.*, 2000b; Kanas y Manzey, 2008). Un estudio de seguimiento a un cosmonauta en una misión de 20 días a bordo de Mir demostró que mediante una evaluación del desempeño del rastreo (incremento del tiempo entre el estímulo y la respuesta motora, errores de rastreo) evaluado prevuelo, en vuelo y posvuelo, es significativamente diferente en vuelo contrastado con el prevuelo y relativamente normalizado en posvuelo a partir del día 12 (Manzey *et al.*, 2000).

Los modelos experimentales de estudio del estrés agudo producen gran material de investigación para analizar e incluyen tareas de estrés psicológico (es decir, hablar en público, paracaidismo, creación de entornos similares inhóspitos a los que los tripulantes se expondrán, aislamiento, limitación de comunicaciones, entre otros), generando similitudes a las documentadas en las proximidades de lanzamiento y aterrizaje en un vehículo espacial. Los elementos estresores comienzan a acrecentarse a medida que las tripulaciones logran avanzar en sus diversas fases, y todo ello permite comprender que si las variables nacientes no se entrenan para generar una mayor adaptación, las consecuencias en el rendimiento cognitivo de las tripulaciones será evidente a corto plazo y puede afectar el desarrollo exitoso de la misión establecida (Crucian *et al.*, 2014). Un estudio que analiza el impacto de los estresores espaciales sobre los dominios neurocognitivos ha evidenciado un pobre nivel de evidencia del efecto de la radiación en la memoria de trabajo y sobre procesos emocionales, el impacto de la microgravedad sobre la flexibilidad cognitiva, control cognitivo y memoria de trabajo requiere más estudios, el efecto del aislamiento y confinamiento sobre

estos últimos tres dominios sumado a la vigilancia y atención requieren más escrutinio científico (Desai *et al.*, 2022), sin embargo, los efectos de estos procesos neuropsicológicos sobre la misión no han sido relacionados como precondiciones en eventos de seguridad operacional en órbita, probablemente por los efectivos programas de selección, entrenamiento y contramedidas establecidas en la fase prevuelo. (Jennings *et al.*, 2006; Liu *et al.*, 2016; Steimle y Norberg, 2013).

Reentrada y posaterrizaje

Desde el descenso del vuelo orbital hasta el inicio del contacto con la atmósfera terrestre se crea una resistencia aerodinámica que resulta en disminución de la velocidad y en un incremento de la temperatura, finalizando con una pérdida de altitud que expone a los astronautas a cambios dinámicos de aceleración por el uso de paracaídas y dependiendo del diseño de la cápsula, propulsión con cohetes hasta el aterrizaje (Ley *et al.*, 2009).

Todo este proceso ocurre rápidamente, desde el proceso de frenado con la propulsión que permite el descenso orbital a una velocidad de 8 km/s hasta 0, imponiendo sobre el humano un incremento del estrés fisiológico por el regreso a 1 G, y es en este momento que el desacondicionamiento se vuelve sintomático para la tripulación (Macdonald y Badescu, 2014).

Los procedimientos de reentrada requieren la monitoría del estado de los motores, las comunicaciones con el control de misión en tierra en una posición semirreclinada para la tecnología usada actualmente (Soyuz, Dragon y el CST-100 Starliner). Los sistemas de protección como el traje Kentavr y el traje intravehicular de SpaceX ofrecen refrigeración con gas (nitrógeno y oxígeno), protección anti-G controlada por el astronauta para las actividades posteriores al aterrizaje, y en el ya retirado transbordador espacial (STS) la exposición durante 1 h a 1,2 +Gx y el uso de traje anti-G con el sistema de refrigeración hidráulica (Clément, 2011; Ley *et al.*, 2009; Morin, 1961).

Los síntomas de origen cardiovascular son los primeros en presentarse, con una elevación de la frecuencia cardiaca, monitorizada desde los sistemas del

Soyuz a través de electrocardiografía y frecuencia respiratoria que, además de esto, muestran un incremento en la frecuencia de extrasístoles monomórficas de corta duración, sin repercusión hemodinámica, a pesar de todo el fenómeno ortostático controlado por el dispositivo anti-G y las contramedidas protocolarias previas a la reentrada (Kotovskaia *et al.*, 2001).

El regreso de la estimulación neurosensorial vestibular comienza con las cargas de aceleración en la entrada de la atmósfera, dado que la otoconia asume el vector gravitacional independiente de los movimientos de la cabeza al plano vertical al mismo tiempo que los propioceptores, generando ilusiones somatográficas y sensación vertiginosa, que es más frecuente y severa en la medida en que el tiempo en órbita sea mayor (Kotovskaia *et al.*, 2001; Small *et al.*, 2012).

La palabra “contacto” durante el aterrizaje marca el paso al periodo posaterizaje, que incluye apagado de algunos sistemas y de la configuración de los motores con sus fórmulas de enfriamiento para evitar la exposición del equipo de médicos especialistas en tierra que, en el lapso de media hora a hora y media, asistirán la salida de la cápsula. Los astronautas que han permanecido largos periodos de tiempo en el espacio (usualmente más de 30 días) presentan una sensación de aumento de peso con el movimiento de extremidades al desamarrarse y, a pesar de los mecanismos de enfriamiento del traje de reentrada, el vehículo influye en la presentación de estrés térmico que se suma al reacondicionamiento de los gradientes hidrostáticos sobre el sistema cardiovascular, y la exposición a 1 G que se impone sobre músculos, tendones, huesos y sistema neurovestibular desencadena la intolerancia ortostática, el desacondicionamiento musculoesquelético y los síntomas neurosensoriales (Clément, 2011; Morin, 1961; Nicogossian *et al.*, 2016).

Intolerancia ortostática

La hipovolemia relativa y la anemia, que combinada con la alteración de la sensibilidad de barorreceptores, la reducción del volumen latido dependiente de la precarga, la disminución de la masa muscular en miembros inferiores y de la eficiencia del retorno venoso

ocasiona un incremento en la frecuencia cardiaca que, al no ser suficiente, puede producir una hipoperfusión del sistema nervioso central en 1-3 de cada 10 astronautas en vuelos de menos de 15 días (Buckey *et al.*, 1996), observando además que aquellos con mejor respuesta de vasoconstricción y aumento de la resistencia vascular periférica (Meck *et al.*, 2004) se mantienen sin síntomas por más tiempo en bipedestación. La disminución de la hemoglobina y del hematocrito se exacerba con la expansión de volumen usada en las contramedidas y constituye el estímulo principal para incrementar la producción de eritropoyetina, regulando los valores de días a semanas (NASA, 1977), y una recuperación completa a los tres meses posvuelo. Es importante anotar que previo a la reentrada y una hora después del aterrizaje, los astronautas deben ingerir líquidos y electrolitos, mantener la posición reclinada, usar el traje intravehicular para mantener una normal termorregulación y disminuir la vasodilatación periférica por el incremento de la temperatura de la cabina, y continuar la vigilancia médica para evaluar la recuperación al estado euvolémico (Leach *et al.*, 1996).

Desacondicionamiento musculoesquelético

Se espera que la exposición al ambiente de microgravedad produzca síntomas de debilidad muscular que gracias a los programas actuales de la EEI son menores que en el pasado. La rehabilitación comienza el día del regreso con la medición de la fuerza muscular y la densidad ósea, terminando en la mayor parte de los casos al día 45 (Barratt *et al.*, 2020). Esta incluye además actividades que se enfocan en la deambulación, el fortalecimiento del sistema cardiovascular, el incremento de fuerza, flexibilidad, balance y propiocepción que se espera recuperen en las primeras semanas, siendo el sistema óseo el que tarda en recuperarse casi 2 a 3 veces más que la misma duración de la exposición a microgravedad (Sibonga *et al.*, 2007).

Desacondicionamiento neurosensorial

La degradación de la capacidad en la estabilidad postural ha sido observada en todas las tripulaciones,

a excepción de los astronautas de los programas Gemini y Mercury, que no permitieron la adaptación porque el espacio para moverse dentro de las cápsulas era mínimo en comparación con los de programas posteriores como Skylab (NASA, 1977) y Apollo (Johnston *et al.*, 1975). La observación de los astronautas evidencia un incremento en la utilización de orientación visual; además, muestran mayor grado de desorientación, ilusiones perceptuales y síntomas vertiginosos con movimientos de la cabeza que tienden a recuperarse entre 3 y 4 días después (Black *et al.*, 1995).

Los síntomas más frecuentes en los astronautas incluyen movimientos torpes (70 %), caminata difícil en línea recta (66 %) y continuación de la percepción de movimientos (60 %), en su mayoría leves, con una duración de 1 a 7 días (Bacal *et al.*, 2003), y hasta 15 días para tener una movilidad funcional restaurada (Mulavara *et al.*, 2010).

Actividades posvuelo

El equipo médico encargado de la salud y el seguimiento clínico de los astronautas realiza las actividades de investigación para astronautas que efectúan vuelos hasta de 15 días en órbita y, según el criterio médico, se hacen estudios adicionales. Sin embargo, en la mayoría de los casos, les dan salida a los astronautas para que inicien su proceso de readaptación a la vida terrestre enfocados en actividades de reposo, actividad física y cargas a 1 G según su propia tolerancia, con la repetición de exámenes de laboratorio al tercer día, además de continuar su trabajo como pilotos a su propia discreción (Barratt *et al.*, 2020).

Discusión

Los cambios fisiológicos del astronauta en microgravedad son detectables y, sin embargo, no son significativos para el desempeño humano por su gran capacidad de adaptación, demostrado en la amplia experiencia en el desarrollo de actividades de alta complejidad que demandan resistencia física y orientación

tridimensional sin las entradas sensoriales terrestres; las tripulaciones han mostrado una gran eficiencia en su trabajo con aceptables márgenes para el mantenimiento de la salud y la seguridad (Barratt *et al.*, 2020; Liu *et al.*, 2016; Mathieu *et al.*, 2009; Nicogossian *et al.*, 2016).

Es importante anotar que, a pesar de los evidentes efectos de la microgravedad y el ambiente operacional espacial, se ha visto que el monitoreo continuo, la selección del personal, el entrenamiento y las contramedidas establecidas son un eficiente mecanismo que mantiene la seguridad de la tripulación y que garantiza el cumplimiento de tareas asignadas (Barratt *et al.*, 2020; Kanas y Manzey, 2008).

En esta década hemos podido observar cómo SpaceX ha lanzado exitosamente misiones para la NASA con astronautas profesionales de la EEI, pero uno de los hitos más notorios es la participación del astronauta civil y ciudadano común, como lo demostró la misión “Inspiration 4” en el 2021, Axiom Space (Ax-1) en abril de 2022 y las próximas cuatro misiones de “Polaris Dawn”, a partir de 2022, quienes harán la primera actividad extravehicular civil con una iteración y adaptación del traje intravehicular para proteger al astronauta fuera de la nave espacial Crew Dragon, además de realizar la investigación necesaria para vuelos espaciales largos, específicamente en el síndrome neuroocular espacial (Iwasaki *et al.*, 2021; Khosravi y Hargens, 2021), embolismo gaseoso venoso (Kluis y Díaz, 2021), radiación ionizante (Antonsen *et al.*, 2022) y para recolectar muestras para análisis genético y molecular entre otros (Musk, 2022).

Conclusiones

A pesar de los retos fisiológicos encontrados durante las operaciones espaciales y del riesgo que representan para la salud, los programas para el mantenimiento de la integridad física de las tripulaciones gestionan el riesgo de reducción del desempeño psicofísico durante el vuelo orbital.

La investigación del rendimiento humano en astronautas necesita incluir aspectos neurocognitivos y

comportamentales en actividades críticas como las extravehiculares, en ambientes que incluyan la Luna y Marte ya que, en la actualidad, el aislamiento por periodos de tiempo mayores a quinientos días no se ha realizado, y la duración de una misión de ida y vuelta a Marte supera los mil días.

La selección de personal para actividades críticas es necesaria dentro de un programa de astronautas profesionales, donde se tamizan aspectos psicofísicos que se consideran puedan no solo deteriorarse con la exposición al ambiente espacial, sino que son necesarios para cumplir una misión específica, donde se incluye que la salud física se mantenga normal haciendo énfasis en el sistema cardiovascular, función osteomuscular y neurosensorial, sin embargo, estos procedimientos siguen evolucionando con el objetivo de ser menos estrictos como, en la década de los 70, e incluyen para el sector comercial, dado que se espera que personas con más avanzada edad sean astronautas no profesionales. El esfuerzo de las misiones privadas ha sido liderado en esta década por empresas como SpaceX y Axiom Space, quienes durante el 2022 han participado en misiones civiles en la EEI menores a 30 días, con miras a instalar en esta década cuatro módulos en esta estación para posteriormente independizarse y funcionar como estación espacial privada de órbita baja, abriendo el espacio a los países sin un programa espacial humano establecido y corporaciones con los recursos para realizar misiones espaciales en órbita baja.

Se espera que en las próximas décadas Colombia, con la firma de los acuerdos Artemisa celebrados con la NASA en el 2022, participe en operaciones de exploración espacial humana de manera conjunta con los países signatarios, que gracias a la reducción de costos por la intervención del sector privado en el lanzamiento, el vuelo y la recuperación de cohetes reutilizables y por el interés de los gobiernos en el beneficio económico de la aplicación de tecnologías espaciales en varios sectores productivos, se amplíe el campo de acción en investigación y desarrollo de tecnologías espaciales, por lo cual los profesionales dedicados a la medicina aeroespacial y áreas afines a las ciencias espaciales deben ampliar el esfuerzo investigativo, con

el fin de garantizar que el acceso al espacio sea cada vez más frecuente, incluya mayores rangos de edad, gestione el riesgo médico espacial y garantice el mantenimiento de la salud a pesar de la exposición.

Agradecimientos

Esta revisión fue motivada por el grupo de profesionales dedicados al proyecto “Astronauta colombiano” y a la Fuerza Aérea Colombiana (FAC). Las opiniones y argumentos expresados en este artículo son de los autores y no necesariamente de la FAC.

Referencias

- Akima, H., Kawakami, Y., Kubo, K., Sekiguchi, C., Ohshima, H., Miyamoto, A. & Fukunaga, T. (2000). Effect of short-duration spaceflight on thigh and leg muscle volume. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(10), 1743–1747. <https://doi.org/10.1097/00005768-200010000-00013>
- Antonsen, E. L., Myers, J. G., Boley, L., Arellano, J., Kerstman, E., Kadwa, B., Buckland, D. M. & Van Baalen, M. (2022). Estimating medical risk in human spaceflight. *Npj Microgravity*, 8(1), 8. <https://doi.org/10.1038/s41526-022-00193-9>
- Bacal, K., Billica, R. & Bishop, S. (2003). Neurovestibular symptoms following space flight. *Journal of Vestibular Research: Equilibrium and Orientation*, 13(2–3), 93–102.
- Barratt, M. R., Baker, E. S. & Pool, S. L. (2020). *Principles of Clinical Medicine for Space Flight*. Springer Nature. <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-9889-0>
- Black, F. O., Paloski, W. H., Doxey-Gasway, D. D. & Reschke, M. F. (1995). Vestibular plasticity following orbital spaceflight: Recovery from postflight postural instability. *Acta Oto-Laryngologica*, 115(S520), 450–454. <https://doi.org/10.3109/00016489509125296>
- Blue, R. S., Riccitello, J. M., Tizard, J., Hamilton, R. J. & Vanderploeg, J. M. (2012). Commercial spaceflight participant G-force tolerance during centrifuge-simulated suborbital flight. *Aviation Space and Environmental Medicine*, 83(10), 929–934. <https://doi.org/10.3357/ASEM.3351.2012>

- Bock, O. (1994). Joint position sense in simulated changed-gravity environments. *Aviation Space and Environmental Medicine*, 65(7), 621–626.
- Bock, O. (1998). Problems of sensorimotor coordination in weightlessness. *Brain Research Reviews*, 28(1–2), 155–160. [https://doi.org/10.1016/S0165-0173\(98\)00035-6](https://doi.org/10.1016/S0165-0173(98)00035-6)
- Buckey, J. C., Lane, L. D., Levine, B. D., Watenpaugh, D. E., Wright, S. J., Moore, W. E., Gaffney, F. A. & Blomqvist, C. G. (1996). Orthostatic intolerance after spaceflight. *Journal of Applied Physiology*, 81(1), 7–18. <https://doi.org/10.1152/jappl.1996.81.1.7>
- Caillot, A., Lafage, M. H., Soler, C., Pernod, J., Dubois, F. & Alexandre, C. (1998). Bone formation and resorption biological markers in cosmonauts during and after a 180-day space flight (Euromir 95). *Clinical Chemistry*, 44(3), 578–585. <https://doi.org/10.1093/clinchem/44.3.578>
- Campbell, M. R. & Garbino, A. (2011). History of suborbital spaceflight: Medical and performance issues. *Aviation Space and Environmental Medicine*, 82(4), 469–474. <https://doi.org/10.3357/ASEM.2921.2011>
- Chang, D. G., Healey, R. M., Snyder, A. J., Sayson, J. V., Macias, B. R., Coughlin, D. G., Bailey, J. F., Parazyński, S. E., Lotz, J. C. & Hargens, A. R. (2016). Lumbar spine paraspinal muscle and intervertebral disc height changes in astronauts after long-duration spaceflight on the International Space Station. *Spine*, 41(24), 1917–1924. <https://doi.org/10.1097/BRS.0000000000001873>
- Chang, E. Y. (2020). From aviation tourism to suborbital space tourism: A study on passenger screening and business opportunities. *Acta Astronautica*, 177(March), 410–420. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2020.07.020>
- Christensen, J. M. & Talbot, J. M. (1986). A review of the psychological aspects of space flight. *Aviation Space and Environmental Medicine*, 57(3), 203–212.
- Clément, G. (2011). *Fundamentals of Space Medicine* (2.nd ed.). Microcosm Press.
- Cooke, W. H., Ames IV, J. E., Crossman, A. A., Cox, J. F., Kuusela, T. A., Tahvanainen, K. U. O., Moon, L. B., Drescher, J., Baisch, F. J., Mano, T., Levine, B. D., Blomqvist, C. G. y Eckberg, D. L. (2000). Nine months in space: Effects on human autonomic cardiovascular regulation. *Journal of Applied Physiology*, 89(3), 1039–1045. <https://doi.org/10.1152/jappl.2000.89.3.1039>
- Cox, J. F., Tahvanainen, K. U. O., Kuusela, T. A., Levine, B. D., Cooke, W. H., Mano, T., Iwase, S., Saito, M., Sugiyama, Y., Ertl, A. C., Biaggioni, I., Diedrich, A., Robertson, R. M., Zuckerman, J. H., Lane, L. D., Ray, C. A., White, R. J., Pawelczyk, J. A., Buckey, J. C., ... Eckberg, D. L. (2002). Influence of microgravity on astronauts' sympathetic and vagal responses to Valsalva's manoeuvre. *Journal of Physiology*, 538(1), 309–320. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2001.012574>
- Cromwell, R. L., Huff, J. L., Simonsen, L. C. & Patel, Z. S. (2021). Earth-Based Research Analogs to Investigate Space-Based Health Risks. *New Space*, 9(4), 204–216. <https://doi.org/10.1089/space.2020.0048>
- Crucian, B., Simpson, R. J., Mehta, S., Stowe, R., Chouker, A., Hwang, S. A., Actor, J. K., Salam, A. P., Pierson, D. & Sams, C. (2014). Terrestrial stress analogs for spaceflight associated immune system dysregulation. *Brain, Behavior, and Immunity*, 39, 23–32.
- Cruse, H., Dean, J., Heuer, H. & Schmidt, R. A. (1990). Utilization of Sensory Information for Motor Control. In O. Newman & W. Prince (Ed.), *Relationships Between Perception and Action* (pp. 43–79). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-75348-0_4
- De la Torre, G. G. (2014). Cognitive neuroscience in space. *Life*, 4(3), 281–294.
- Desai, R. I., Limoli, C. L., Stark, C. E. L. & Stark, S. M. (2022). Impact of Spaceflight Stressors on Behavior and Cognition: a Molecular, Neurochemical, and Neurobiological Perspective. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 104676. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2022.104676>
- Drummer, C., Norsk, P. & Heer, M. (2001). Water and sodium balance in space. *American Journal of Kidney Diseases*, 38(3), 684–690. <https://doi.org/10.1053/ajkd.2001.27765>
- Ertl, A. C., Diedrich, A., Biaggioni, I., Levine, B. D., Robertson, R. M., Cox, J. F., Zuckerman, J. H., Pawelczyk, J. A., Ray, C. A., Buckey, J. C., Lane, L. D., Shiavi, R., Gaffney, F. A., Costa, F., Holt, C., Blomqvist, C. A., Eckberg, D. L., Baisch, F. J. & Robertson, D. (2002). Human muscle sympathetic nerve activity and plasma noradrenaline kinetics in space. *Journal of Physiology*, 538(1), 321–329. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2001.012576>
- Eversmann, T., Gottsmann, M., Uhlich, E., Ulbrecht, G., von Werder, K. & Scriba, P. C. (1978). Increased secretion of growth hormone, prolactin, antidiuretic hormone, and cortisol induced by the stress of motion sickness. *Aviation Space and Environmental Medicine*, 49(1 I), 53–57. <https://doi.org/10.5282/ubm/epub.8290>
- Fowler, B., Bock, O. & Comfort, D. (2000a). Is dual-task performance necessarily impaired in space? *Human Factors*, 42(2), 318–326. <https://doi.org/10.1518/001872000779656507>

- Fowler, B., Comfort, D. & Bock, O. (2000b). A review of cognitive and perceptual-motor performance in space. *Aviation Space and Environmental Medicine*, 71(9 II Suppl.).
- Greason, J. & Bennet, J. (2019). *The economics of space: an industry ready to launch* (Issue June). <https://reason.org/wp-content/uploads/economics-of-space.pdf>
- Harm, D. L., Sandoz, G. R. & Stern, R. M. (2002). Changes in gastric myoelectric activity during space flight. *Digestive Diseases and Sciences*, 47(8), 1737–1745. <https://doi.org/10.1023/A:1016480109272>
- Heer, M., De Santo, N. G., Cirillo, M. & Drummer, C. (2001). Body mass changes, energy, and protein metabolism in space. *American Journal of Kidney Diseases*, 38(3), 691–695. <https://doi.org/10.1053/ajkd.2001.27767>
- Hockey, G. R. J. & Hamilton, P. (1983). *The cognitive patterning of stress states. Stress and fatigue in human performance.*
- Hughson, R. L., Shoemaker, J. K., Blaber, A. P., Arbeille, P., Greaves, D. K., Pereira-Junior, P. P. & Xu, D. (2012). Cardiovascular regulation during long-duration spaceflights to the International Space Station. *Journal of Applied Physiology*, 112(5), 719–727. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01196.2011>
- Hyatt, K. H. & West, D. A. (1977). Reversal of bedrest induced orthostatic intolerance by lower body negative pressure and saline. *Aviation Space and Environmental Medicine*, 48(2), 120–124.
- Iwasaki, K., Ogawa, Y., Kurazumi, T., Imaduddin, S. M., Mukai, C., Furukawa, S., Yanagida, R., Kato, T., Konishi, T., Shinjima, A., Levine, B. D. & Heldt, T. (2021). Long-duration spaceflight alters estimated intracranial pressure and cerebral blood velocity. *Journal of Physiology*, 599(4), 1067–1081. <https://doi.org/10.1113/JP280318>
- Jennings, R. T., Murphy, D. M. F., Ware, D. L., Aunon, S. M., Moon, R. E., Bogomolov, V. V., Morgun, V. V., Voronkov, Y. I., Fife, C. E., Boyars, M. C. & Ernst, R. D. (2006). Medical qualification of a commercial spaceflight participant: Not your average astronaut. *Aviation Space and Environmental Medicine*, 77(5), 475–484.
- Johnston, R. S., Dietlein, L. F. & Berry, C. A. (1975). *Biomedical results of Apollo* (Vol. 368). Scientific and Technical Information Office, National Aeronautics and Space.
- Kanas, N. & Manzey, D. (2008). Space Psychology and Psychiatry. In *Space Psychology and Psychiatry* (Vol. 22). Springer Science & Business Media. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6770-9>
- Khosravi, E. A. & Hargens, A. R. (2021). Visual disturbances during prolonged space missions. *Current opinion in ophthalmology*, 32(1), 69–73. NLM (Medline). <https://doi.org/10.1097/ICU.0000000000000724>
- Kluis, L. & Díaz, A. (2021). Revisiting decompression sickness risk and mobility in the context of the SmartSuit, a hybrid planetary spacesuit. *Npj Microgravity*, 7(1). <https://doi.org/10.1038/s41526-021-00175-3>
- Kotovskaia, A. R., Vil'Vil'iams, I., Gavrilova, L. N., Elizarov, S. I. & Uliatovskii, N. V. (2001). Tolerance of +Gx by MIR 22 -- 27 main crew in space flights. *Aviakosmicheskaia i Ekologicheskaia Meditsina = Aerospace and Environmental Medicine*, 35(2), 45–50.
- Kramer, L. A., Sargsyan, A. E., Hasan, K. M., Polk, J. D. & Hamilton, D. R. (2012). Orbital and intracranial effects of microgravity: Findings at 3-T MR imaging. *Radiology*, 263(3), 819–827. <https://doi.org/10.1148/radiol.12111986>
- Kubis, J. F., McLaughlin, E. J., Jackson, J. M., Rusnak, R., McBride, G. & Saxon, S. V. (1977). Task and work performance on Skylab missions 2, 3, and 4: Time and motion study-experiment M151. *Biomedical Results from Skylab*, 136–154.
- Lang, T. F., Leblanc, A. D., Evans, H. J. & Lu, Y. (2006). Adaptation of the proximal femur to skeletal reloading after long-duration spaceflight. *Journal of Bone and Mineral Research*, 21(8), 1224–1230. <https://doi.org/10.1359/jbmr.060509>
- Lang, T., LeBlanc, A., Evans, H., Lu, Y., Genant, H. & Yu, A. (2004). Cortical and trabecular bone mineral loss from the spine and hip in long-duration spaceflight. *Journal of Bone and Mineral Research*, 19(6), 1006–1012. <https://doi.org/10.1359/JBMR.040307>
- Leach, C. S., Alfrey, C. P., Suki, W. N., Leonard, J. I., Rambaut, P. C., Inners, L. D., Smith, S. M., Lane, H. W. & Krauhs, J. M. (1996). Regulation of body fluid compartments during short-term spaceflight. *Journal of Applied Physiology*, 81(1), 105–116. <https://doi.org/10.1152/jappl.1996.81.1.105>
- LeBlanc, A., Rowe, R., Schneider, V., Evans, H. & Hedrick, T. (1995). Regional muscle loss after short duration spaceflight. *Aviation Space and Environmental Medicine*, 66(12), 1151–1154.
- Lee, A. G., Mader, T. H., Gibson, C. R., Tarver, W., Rabiei, P., Riascos, R. F., Galdamez, L. A. & Brunstetter, T. (2020). Author Correction: Spaceflight associated neuro-ocular syndrome (SANS) and the neuro-ophthalmologic effects of microgravity: A review and an update (NPJ). *NPJ Microgravity*, 6(1), 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41526-020-00114-8>

- Leone, G., De Schonen, S. & Lipshits, M. (1998). Prolonged weightlessness, reference frames and visual symmetry detection. *Acta Astronautica*, 42(1–8), 281–286. [https://doi.org/10.1016/S0094-5765\(98\)00125-8](https://doi.org/10.1016/S0094-5765(98)00125-8)
- Ley, W., Wittmann, K. & Hallmann, W. (2009). *Handbook of Space Technology* (Vol. 22). John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9780470742433>
- Liu, Q., Zhou, R. L., Zhao, X., Chen, X. P. & Chen, S. G. (2016). Acclimation during space flight: Effects on human emotion. *Military Medical Research*, 3(1), 1317–1323. <https://doi.org/10.1186/S40779-016-0084-3>
- Macdonald, M. & Badescu, V. (2014). *The International Handbook of Space Technology*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-41101-4>
- Manzey, D., Lorenz, B., Heuer, H. & Sangals, J. (2000). Impairments of manual tracking performance during spaceflight: More converging evidence from a 20-day space mission. *Ergonomics*, 43(5), 589–609. <https://doi.org/10.1080/001401300184279>
- Manzey, D., Lorenz, B. & Poljakov, V. (1998). Mental performance in extreme environments: results from a performance monitoring study during a 438-day spaceflight. *Ergonomics*, 41(4), 537–559.
- Mathieu, P., Poirier, P., Pibarot, P., Lemieux, I. & Després, J. P. (2009). Visceral obesity the link among inflammation, hypertension, and cardiovascular disease. *Hypertension*, 53(4). CRC Press, Taylor & Francis Group. <https://doi.org/10.1161/HYPERTENSIONAHA.108.110320>
- McIntyre, J., Lipshits, M., Zaoui, M., Berthoz, A. & Gurfinkel, V. (2001). Internal reference frames for representation and storage of visual information: The role of gravity. *Acta Astronautica*, 49(3–10), 111–121. [https://doi.org/10.1016/S0094-5765\(01\)00087-X](https://doi.org/10.1016/S0094-5765(01)00087-X)
- Meck, J. V., Waters, W. W., Ziegler, M. G., DeBlock, H. F., Mills, P. J., Robertson, D. & Huang, P. L. (2004). Mechanisms of postspaceflight orthostatic hypotension: Low α 1-adrenergic receptor responses before flight and central autonomic dysregulation postflight. *American Journal of Physiology - Heart and Circulatory Physiology*, 286(4 55-4), H1486–H1495. <https://doi.org/10.1152/ajpheart.00740.2003>
- Morey, E. R., Schnoes, H. K., De Luca, H. F., Phelps, M. E., Klein, R. F., Nissenson, R. H. & Arnaud, C. D. (1988). Vitamin D metabolites and bioactive parathyroid hormone levels during Spacelab 2. *Aviation Space and Environmental Medicine*, 59(11), 1038–1041.
- Morin, L. (1961). *Space physiology*. *Laval médical*, 32. Oxford University Press, USA.
- Mulavara, A. P., Feiveson, A. H., Fiedler, J., Cohen, H., Peters, B. T., Miller, C., Brady, R. & Bloomberg, J. J. (2010). Locomotor function after long-duration space flight: Effects and motor learning during recovery. *Experimental Brain Research*, 202(3), 649–659. <https://doi.org/10.1007/s00221-010-2171-0>
- Musk, E. (2022). *Polaris dawn*. Polaris Program. <https://polaris-program.com/dawn/>
- NASA. (1977). Biomedical Results from SKYLAB. *Biomedical*, 377. Scientific and Technical Information Office, National Aeronautics and Space. <http://www.scribd.com/doc/44234494/Bio-Medical-Results-From-Skylab%5Cn> <http://lsda.jsc.nasa.gov/books/skylab/skylabcover.htm>
- NASA. (2019). *NASA Spaceflight Human-System Standard Volume 2: Human Factors, Habitability, and Environmental Health*. *NASA Technical Standards*. <https://standards.nasa.gov/human-factors-and-health>
- Nicogossian, A. E., Williams, R. S., Huntoon, C. L., Doarn, C. R., Polk, J. D. & Schneider, V. S. (2016). *Space physiology and medicine: From evidence to practice* (Fourth edition). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-6652-3>
- Prisk, G. K., Guy, H. J., Elliott, A. R., Deutschman, R. A. & West, J. B. (1993). Pulmonary diffusing capacity, capillary blood volume, and cardiac output during sustained microgravity. *Journal of Applied Physiology*, 75(1), 15–26. <https://doi.org/10.1152/jappl.1993.75.1.15>
- Richter, C., Braunstein, B., Winnard, A., Nasser, M. & Weber, T. (2017). Human biomechanical and cardiopulmonary responses to partial gravity - A systematic review. *Frontiers in Physiology*, 8(Aug). <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00583>
- Rimmer, D. W., Dijk, D. J., Ronda, J. M., Hoyt, R. & Pawelczyk, J. A. (1999). Efficacy of Liquid Cooling Garments To Minimize Heat Strain During Space Shuttle Deorbit and Landing. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 31(Supplement), S305. <https://doi.org/10.1097/00005768-199905001-01508>
- Robert, G. & Hockey, J. (1997). Compensatory control in the regulation of human performance under stress and high workload: A cognitive-energetical framework. *Biological Psychology*, 45(1–3), 73–93. [https://doi.org/10.1016/S0301-0511\(96\)05223-4](https://doi.org/10.1016/S0301-0511(96)05223-4)
- Rutherford, A. (1987). *Handbook of perception and human performance*. Vol 1: Sensory processes and perception. Vol 2: Cognitive processes and performance. *Applied Ergonomics*, 18(4), 340. [https://doi.org/10.1016/0003-6870\(87\)90144-x](https://doi.org/10.1016/0003-6870(87)90144-x)

- Shykoff, B. E., Farhi, L. E., Olszowka, A. J., Pendergast, D. R., Rokitka, M. A., Eisenhardt, C. G. & Morin, R. A. (1996). Cardiovascular response to submaximal exercise in sustained microgravity. *Journal of Applied Physiology*, *81*(1), 26–32. <https://doi.org/10.1152/jappl.1996.81.1.26>
- Sibonga, J. D., Evans, H. J., Sung, H. G., Spector, E. R., Lang, T. F., Oganov, V. S., Bakulin, A. V., Shackelford, L. C. & LeBlanc, A. D. (2007). Recovery of spaceflight-induced bone loss: Bone mineral density after long-duration missions as fitted with an exponential function. *Bone*, *41*(6), 973–978. <https://doi.org/10.1016/j.bone.2007.08.022>
- Small, R. L., Oman, C. M. & Jones, T. D. (2012). Space shuttle flight crew spatial orientation survey results. *Aviation Space and Environmental Medicine*, *83*(4), 383–387. <https://doi.org/10.3357/ASEM.3180.2012>
- Smith, S. M., Krauhs, J. M. & Leach, C. S. (1997). Chapter 6 Regulation of Body Fluid Volume and Electrolyte Concentrations in Spaceflight. *Advances in Space Biology and Medicine*, *6*(C), 123–165. Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S1569-2574\(08\)60081-7](https://doi.org/10.1016/S1569-2574(08)60081-7)
- Smith, S. M., Lane, H. W. & Zwart, S. R. (2020). *Spaceflight metabolism and nutritional support. Principles of Clinical Medicine for Space Flight*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-9889-0_13
- Smith, S. M., Wastney, M. E., O'Brien, K. O., Morukov, B. V., Larina, I. M., Abrams, S. A., Davis-Street, J. E., Oganov, V. & Shackelford, L. C. (2005). Bone markers, calcium metabolism, and calcium kinetics during extended-duration space flight on the Mir Space Station. *Journal of Bone and Mineral Research*, *20*(2), 208–218. <https://doi.org/10.1359/JBMR.041105>
- Stahn, A. C. & Kühn, S. (2021). Extreme environments for understanding brain and cognition. *Trends in Cognitive Sciences*, *26*(1), 3–5. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2021.10.005>
- Steimle, H. & Norberg, C. (2013). Astronaut selection and training. In C. Norberg (Ed.), *Human Spaceflight and Exploration* (pp. 255–294). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-23725-6_7
- Stepanek, J., Blue, R. S. & Parazynski, S. (2019). Space Medicine in the Era of Civilian Spaceflight. *New England Journal of Medicine*, *380*(11), 1053–1060. <https://doi.org/10.1056/nejmra1609012>
- Thorton, W. & Rummel, J. (1975). Muscular deconditioning and its prevention in space flight. *NASA TM X-58154 - The Proceedings of Skylab Sciences Symposium*, *1*, 403–426.
- Trappe, T., Trappe, S., Lee, G., Widrick, J., Fitts, R. & Costill, D. (2006). Cardiorespiratory responses to physical work during and following 17 days of bed rest and spaceflight. *Journal of Applied Physiology*, *100*(3), 951–957. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01083.2005>
- Van Vuuren, L. J. (1987). Engineering Psychology and Human Performance. *SA Journal of Industrial Psychology*, *13*(1). Psychology Press. <https://doi.org/10.4102/sajip.v13i1.457>
- Whedon, G. D., Lutwak, L., Rambaut, P. C., Whittle, M. W., Smith, M. C., Reid, J., Leach, C., Stadler, C. R. & Sanford, D. D. (1977). Mineral and nitrogen metabolic studies, experiment M071. *Biomedical Results from Skylab*, 164–174.
- Winnard, A., Caplan, N., Bruce, C., Swain, P., Velho, R., Meroni, R., Wotring, V., Damann, V., Weber, T., Evetts, S. & Laws, J. (2022). Developing and implementing novel techniques during primary space medicine data systematic reviews. *Aerospace Medicine and Human Performance*, *92*(8), 681–688.

Plan de implementación de teorías esbeltas en el almacén aeronáutico del CACOM 4*

| Fecha de recibido: 30 de marzo 2022 | Fecha de aprobación: 08 de julio 2022 |

**Héctor Andrés
Guzmán Cuellar**

Magíster en Logística Aeronáutica

Mayor, Fuerza Área Colombiana
Colombia

Rol del investigador: teórico y escritura
<https://orcid.org/0000-0001-9999-599X>
hector.guzman@fac.mil.co

* Artículo derivado del proyecto de tesis titulado: Estudio de factibilidad de la logística esbelta en la gestión de inventarios del almacén aeronáutico del Comando Aéreo de Combate n.º 4.

Cómo citar este artículo: Guzmán Cuellar, H. A. (2022). Plan de implementación de teorías esbeltas en el almacén aeronáutico del CACOM 4. *Ciencia y Poder Aéreo*, 17(2), 82-98. <https://doi.org/10.18667/cienciaypoderaereo.751>



Plan de implementación de teorías esbeltas en el almacén aeronáutico del CACOM 4

Plan for the implementation of lean theories in the aeronautical warehouse of CACOM 4

Plano para implementação de teorías lean no armazém aeronáutico do CACOM 4

Resumen: El Comando Aéreo de Combate N.º 4 (CACOM 4) es uno de los encargados de realizar misiones aéreas operativas por medio de sus comisiones de orden público, y efectúa la instrucción y el entrenamiento de los futuros pilotos en el territorio colombiano y de países amigos. Durante los años 2018, 2019 y 2020 en el CACOM 4 se evidenció un incremento en el parte de aeronaves, número de horas de vuelo y recurrencia de los mantenimientos, pero a pesar de estas condiciones, el almacén aeronáutico ha mantenido sus características de espacio desde el año 1956 sin mayores cambios físicos notorios.

Así las cosas, se pretendió determinar la factibilidad de un modelo eficiente, flexible y ágil basado en la logística esbelta para los inventarios del almacén aeronáutico de la Fuerza Aérea Colombiana ubicado en el Comando Aéreo de Combate N.º 4, por medio del desarrollo de una caracterización, un *benchmarking* y la propuesta de un rediseño de *layout*. Evidenciando que mediante la aplicación del Kai-Zen basado en 9S y planes de estandarización en el trabajo, se establecieron mejoras relacionadas con la reducción de desperdicios, optimización de espacio e inventarios y se brindaron las recomendaciones necesarias para una efectividad en todos los procesos.

Palabras clave: 9S; estandarización; gestión de inventarios; Kai-Zen; logística esbelta.

Abstract: The Air Combat Command N.º 4 (CACOM 4) is one of those in charge of carrying out operational air missions through its public order commissions and carrying out the instruction and training of future pilots in Colombian territory and in friendly countries. During the years 2018, 2019 and 2020 in CACOM 4 there was an increase in the number of aircraft, number of hours flown and recurrence of maintenance, but despite these conditions, the aeronautical warehouse has maintained its space characteristics since the beginning. Year 1956 without major noticeable physical changes.

Thus, it was intended to determine the feasibility of an efficient, flexible and agile model based on lean logistics for the inventories of the aeronautical warehouse of the Colombian Air Force located in the Air Combat Command N.º 4 through a characterization, a benchmarking and the proposal of a layout redesign. Showing that through the application of Kai-Zen based on 9S and standardization plans at Work, improvements related to waste reduction, space optimization, inventory optimization were established and the necessary recommendations were provided for effectiveness in all processes.

Keywords: 9S; standardization; inventory management; Kai-Zen; lean logistics.

Resumo: O Comando de Combate Aéreo N.º 4 (CACOM 4) é um dos encarregados de realizar missões aéreas operacionais através de suas comissões de ordem pública, e realiza a instrução e treinamento de futuros pilotos em território colombiano e em países amigos. Durante os anos de 2018, 2019 e 2020 no CACOM 4 houve um aumento do número de aeronaves, número de horas de voo e reincidência de manutenção, mas apesar destas condições, o armazém aeronáutico manteve as suas características espaciais desde o ano de 1956 sem grandes mudanças físicas.

Assim, pretendeu-se determinar a viabilidade de um modelo eficiente, flexível e ágil baseado em logística enxuta para os inventários do armazém aeronáutico da Força Aérea Colombiana localizado no Comando de Combate Aéreo N.º 4, através do desenvolvimento de uma caracterização, um benchmarking e a proposta de um redesenho de layout. Evidenciando que através da aplicação do Kai-Zen baseado em 9S e planos de padronização em obra, foram estabelecidas melhorias relacionadas à redução de desperdícios, otimização de espaço e estoques e foram fornecidas as recomendações necessárias para eficácia em todos os processos.

Palavras-chave: 9S; padronização; gestão de estoque; Kai-Zen; logística enxuta.

Introducción

El Comando Aéreo de Combate N.º 4 (CACOM 4), es reconocido como la cuna de pilotos de helicópteros y centro principal de vuelo de ala rotatoria de Colombia, de igual forma, en este comando se encuentra la Escuela de Helicópteros para las Fuerzas Armadas (EHFAA) y países amigos (Chile, Costa Rica, El Salvador, México, Guatemala, Honduras, Paraguay, Perú, República Dominicana, Uruguay), que cuenta con 101 helicópteros, distribuidos así: 1 OH-13, 22 Huey, 7 Bell 212, 12 206, y 59 TH-67, con los cuales se realizan operaciones aéreas y se entrena el personal de alumnos de vuelo formándolos como pilotos y tripulantes de vuelo, con el fin de mantener la operatividad de la unidad y apoyar la misión de la Fuerza Aérea Colombiana.

De acuerdo con la reseña histórica del CACOM 4 presentada en la página de la Fuerza Aérea Colombiana (FAC, 2019a), fue en 1956, mediante el Decreto 0386, que se creó la Escuela de Helicópteros Gustavo Rojas Pinilla, cuya misión era formar tripulaciones de ala rotatoria y apoyar las misiones de orden público. Así, en el mismo año fue inaugurado el centro logístico en el mismo lugar donde se encuentra ubicado hoy en día, y al cual han intervenido estructuralmente una sola vez en los últimos 35 años, manteniendo sus condiciones físicas para el cumplimiento de su misión y siendo responsable de entregar a los encargados del mantenimiento de las aeronaves los diferentes insumos, reparables y suministros para garantizar el mantenimiento preventivo y correctivo de las aeronaves pertenecientes a esta unidad militar.

El incremento de horas y aeronaves en el CACOM 4

En el año 2018 el CACOM 4 contaba con un parte total de 44 aeronaves correspondientes a 12 Bell 206, 7 Bell 212, 23 Huey, 1 OH-13, y 1 UH-1H; teniendo una variabilidad de uno o máximo dos cambios en el año debido a siniestros o aeronaves dadas de baja. En el año 2019 se presentó un aumento significativo en la planta de helicópteros como consecuencia de la entrega por parte

del gobierno americano de 59 helicópteros TH-67 a la Fuerza Aérea Colombiana, los cuales fueron adjudicados al CACOM 4 (figura 1).

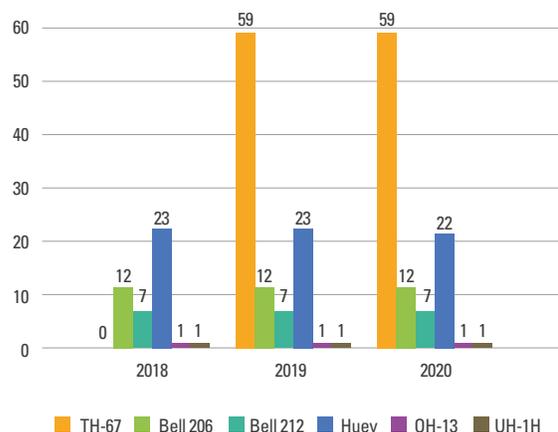


Figura 1. Número de helicópteros asignados al CACOM 4 en el periodo 2018-2020

Fuente: elaboración propia, a partir de la información proporcionada por el Grupo Técnico de CACOM 4.

El aumento de aeronaves trajo consigo un incremento en las horas de vuelo por cada equipo, ya que se cuenta con más medios físicos que permiten el incremento de las operaciones aéreas y el entrenamiento de alumnos como se evidencia en la figura 2, donde se analiza el incremento en el número de horas.

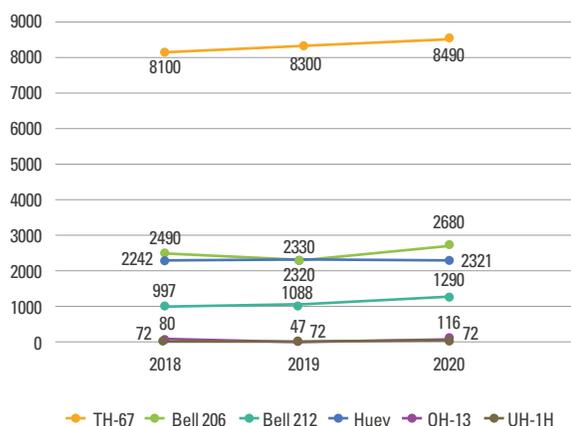


Figura 2. Horas operativas de vuelo por año en el equipo TH-67, OH-13, Huey, Bell 212 y Bell 206, en el periodo 2018-2020

Fuente: elaboración propia, a partir de la información proporcionada por cada escuadrón de vuelo de la EHFAA.

Es así como el aumento en las horas de vuelo trae como consecuencia el incremento en los mantenimientos de las aeronaves (tanto programados como imprevistos), ya que a mayor cantidad de horas de vuelo, el tiempo entre inspecciones disminuye (ver tabla 1). Esto resulta en un aumento en la frecuencia con que se acude al almacén aeronáutico en busca de elementos para el cumplimiento de las tareas de mantenimiento, y así se genera un mayor movimiento en el inventario del almacén entre repuestos, insumos y herramientas.

Es importante definir una inspección como la “revisión general final de la aeronave de acuerdo con una guía de inspección después de un determinado número de horas de vuelo, días calendario o periodo de funcionamiento, como requisito para garantizar su condición mecánica, funcional y estructural” (FAC, 2016, p. 18). En estas inspecciones intervienen directamente: el inspector de mantenimiento de aeronaves, que es un técnico segundo, técnico primero o técnico subjefe, con la responsabilidad de certificar y aprobar trabajos realizados en aeronaves mediante procesos de validación; intervienen los técnicos de línea, quienes ejecutan el mantenimiento y el personal encargado de despachar las herramientas, insumos y repuestos.

Tabla 1.
Cantidad de inspecciones por equipo y por año

Año/Equipo	TH-67	B-206	B-212	Huey II	UH-1H
2018	81	25	3	7	1
2019	83	23	4	8	0
2020	85	27	4	8	1

Fuente: elaboración propia, a partir de la información proporcionada por los técnicos inspectores de los equipos.

El almacén como único proveedor de herramientas para el mantenimiento de las aeronaves debe garantizar que tales inspecciones se cumplan, es así como se evidencia el aumento del número de insumos solicitados por el almacén aeronáutico y, por ende, al incremento de ítems en las listas maestras de mantenimiento de las aeronaves, tal y como lo muestra la figura 3.

Cantidad de insumos solicitados por año en unidades

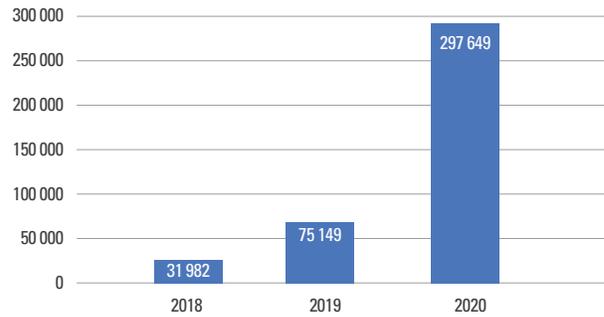


Figura 3. Número de insumos asignados al CACOM 4 en el periodo 2018-2020
Fuente: elaboración propia, a partir de la información proporcionada por el grupo técnico de CACOM 4.

A pesar de que incrementaron las aeronaves, las horas de vuelo, las inspecciones, y los insumos, no se evidencia un incremento en el personal asignado al almacén aeronáutico, tal y como lo muestra la tabla 2.

Tabla 2.
Número de personas asignadas al centro logístico en el periodo 2018-2020

	2018	2019	2020
Oficiales	4	4	4
Suboficiales	6	6	6
Civiles	3	3	3

Fuente: elaboración propia, a partir de la Tabla de Organización y Equipo (TOE), brindada por el grupo técnico de CACOM 4.

Así las cosas, se realizó una caracterización que abarcó procesos y distribución física del almacén aeronáutico, donde se evidenciaron los principales puntos de mejora relacionados con teorías de logística esbelta, estableciendo la aplicación de una estandarización en el trabajo y 9S basados en Kai-Zen; junto con una visita de referenciación al Centro Logístico de Aviación del Ejército (CLAVE), para el desarrollo de un *benchmarking* que permita evidenciar las principales acciones de mejora y estandarizar el orden de prioridad de los cambios en el almacén del CACOM 4, lo que estableció la aplicación de un rediseño del *layout*, con el propósito de optimizar los espacios de almacenamiento, minimizar el tiempo de operación, maximizar el uso de los equipos, y la accesibilidad a todos los artículos,

resultado de una aplicación de encuestas dirigidas al personal que labora el interior del centro logístico y a los inspectores de helicóptero.

En ese sentido, para el desarrollo del proyecto se planteó una investigación descriptiva con un enfoque de tipo mixto, que como lo indica Hernández *et al.* (2010), utiliza las fortalezas de la investigación cuantitativa y cualitativa combinándolas para sacar las mejores características obteniendo una perspectiva más amplia y profunda; así mismo, este enfoque usa recolección de datos para probar hipótesis, con base en la medición numérica y el análisis estadístico, para establecer patrones de comportamiento y probar las teorías desarrolladas luego de una revisión de literatura.

A continuación, se evidencia la caracterización desarrollada, el *benchmarking* con nuestro centro logístico de mejor referencia a nivel nacional (CLAVE), el origen del proceso esbelto y las teorías de aplicación en este campo y, finalmente, la propuesta del rediseño del *layout* para establecer las conclusiones y bibliografía.

Caracterización almacén aeronáutico

El almacén aeronáutico se encuentra ubicado en el Comando Aéreo de Combate N.º 4, en la rampa operativa lateral al primer hangar, en Melgar, Tolima; se estructura así: 1 comandante (oficial), 1 almacenista (suboficial), 3 operarios (suboficial), 1 despachador (civil). Adicionalmente, se cuenta con uno de los operarios (suboficial) con servicio de 7 días, 24 horas, el cual se activa en horas no laborales, donde no se cuenta con el despachador.

En un solo bloque dentro del centro logístico se encuentran los tres almacenes, distribuidos así: herramientas, reparables, y aeronáutico; en el edificio principal se encuentra una ventanilla de atención al público para los tres talleres.

Al interior del almacén aeronáutico se evidencia un espacio reducido para todos los elementos que maneja el almacén, teniendo en cuenta que los

tres talleres internamente pertenecen a un solo edificio, donde el área de ingreso y movilidad se encuentra claramente demarcada, sin embargo, los elementos presentan una carencia de espacio viéndose desorganizado, de la misma manera se evidencia falta de iluminación y ventilación.

Como antecedente, en el año 2017 se realiza una única intervención desde su inauguración, buscando clasificar cada parte del centro logístico y administrar los espacios; en ese año se hace la instalación de unas rejillas de separación y clasificación, las cuales redujeron la movilidad para un acceso más rápido y fácil de los elementos.

En cuanto a su distribución física, los equipos de oficina se encuentran al mismo nivel de los elementos pertenecientes al inventario, impidiendo la vista global de los ítems y obstaculizando el área de movilidad de los elementos que atiende el taller. Este almacén cuenta con 9234 ítems, discriminados en 496 213 elementos, de los cuales 1420 no detectan movimientos en los últimos tres años, como dato importante el O-Ring (AS3208-05) es el elemento con más rotación, así mismo, existen 2184 elementos con una única rotación al año.

En términos de inventarios, hay falencias en la clasificación ABC, teniendo en cuenta que hay elementos clasificados en el grupo A que no han tenido movimientos los últimos 3 años. Adicional a esto, se evidenció que los elementos están ubicados en los espacios por etiquetas, pero no por sistema ABC, es decir, no depende de su recurrencia, sino por su ubicación histórica.

En términos de ubicación física, hay elementos que fueron donados por el gobierno americano durante el proceso de entrega de los TH-67, para los cuales existe un contenedor con elementos que son usados en las inspecciones de este equipo, el problema radica en que se encuentran fuera del almacén y el despachador debe salir a buscar los insumos requeridos, lo que aumenta los tiempos de respuesta al momento de despachar un pedido, y genera una fatiga mayor debido al choque de temperaturas que debe soportar quien sale del almacén con aire acondicionado al ambiente de 35 °C e ingresar nuevamente.

Por otro lado, en términos de organización e información, se cuenta con una cartelera donde se expone información nueva o de interés general, pero que evidencia falta de uso, así mismo, falta estandarizar los procedimientos de entrega de productos, y el hardware en esta oficina reconoce falta de renovación.

Benchmarking centro logístico CACOM 4 y clave Tolemaida

Al realizar un referente nacional de las condiciones externas, específicamente de los centros logísticos de las Fuerzas Militares (Ф. М.), se tiene como referente principal, a nivel nacional e internacional, el Centro Logístico de Aviación del Ejército (CLAVE), ubicado en el Fuerte Militar de Tolemaida en Nilo (Cundinamarca, Colombia), lugar con estricta seguridad, controles de acceso, visitas restringidas y procesos completamente secretos para operaciones militares.

Teniendo en cuenta que en el año 2012 la División de Aviación de Asalto Aéreo visualizó la necesidad de transformar su planta física con el objetivo de almacenar los repuestos aeronáuticos de una manera más eficiente y tecnológica, con procesos y procedimientos sistematizados, para la ejecución y sostenimiento de las operaciones militares, consolidándose como una fuerza moderna y cumpliendo con todos los requerimientos de las más de 150 aeronaves que abastecen.

Así las cosas, iniciaron su remodelación y adecuación, la cual tardó 5 años en estar totalmente terminada, entrando en funcionamiento el 1 de octubre de 2017, fecha en la cual se inició con la articulación de todas las operaciones y la cadena logística, aumentando la capacidad de almacenamiento de componentes, fortaleciendo la logística aeronáutica y cumpliendo con las condiciones técnicas de las casas fabricantes, mejorando notoriamente el almacenamiento de los componentes de aviación, realizando una inversión total de \$17.200 millones de dólares para la entrada en funcionamiento.

Es por este caso de éxito que el día 1 de octubre de 2021, se procede la visita al fuerte militar de

Tolemaida para realizar la referenciación al Centro Logístico de Aviación del Ejército. A pesar de la complejidad para solicitar la autorización de ingreso por ser un punto reservado, derivado de su capacidad estratégica, se logra obtener acceso, cabe anotar que el procedimiento de ingreso se rige por robustos puntos de seguridad, donde la identificación biométrica es clave para obtener la autorización de acceso a los diferentes hangares.

Inicialmente se evidencia un espacio asignado para el almacenamiento de los diferentes insumos y herramientas, con un área construida de 9000 m², subdividida en un almacén general con bodegas internas y tres almacenes con listas de carga prescritas (*Prescribed Load Lists* (PLL) por sus siglas en inglés), elementos de alta rotación, dos puntos de ingreso y salida de elementos tanto pequeños como cargas sobredimensionadas. Este centro logístico tiene una capacidad de puestos asignados de acuerdo con la Tabla de Organización y Equipo (TOE) de 57 oficiales, 228 suboficiales, 290 soldados profesionales y 29 civiles del cual se encuentra en operación con un 32 % de los cargos asignados para su funcionamiento.

También cuenta con locaciones administrativas correspondientes a oficinas distribuidas en dos pisos, para un total de 8, con 6 cubículos, donde se organizan 23 almacenes aeronáuticos con funciones como inventarios, contabilidad, despachos, solicitudes, proveedores, entre otros. Así mismo, existe un lugar estrictamente asignado para el control riguroso de la seguridad, no solo de los trabajadores, sino de los elementos que allí se almacenan, y está compuesto por 109 cámaras controladas por circuito cerrado de televisión y monitoreadas por un soldado en supervisión las 24 horas.

El estricto orden administrativo, el control de seguridad y la sistematización de los procesos ayudan a que no se presenten diferencias en el inventario físico y el expuesto en el sistema SAP. En este punto hay que tener claro que son las máquinas y los montacargas los encargados de entregar los elementos del inventario mediante diferentes grúas robot canalizadas que extraen por medio de los pallets de una compleja estantería tipo *rack*.

En este centro logístico se utiliza un método de almacenamiento tipo *Warehouse Management System* (WMS), teniendo control total de todo el inventario mediante un *software* que verifica su trazabilidad desde el centro de distribución hasta las estanterías.

Al interior del centro logístico también se encuentran bodegas independientes para almacenamiento de acuerdo con características especiales, como lo son líquidos, que por sus características químicas pueden llegar a ser inflamables, encontrando alcohol, champú aeronáutico, grasas y demás elementos para el soporte del mantenimiento con un sistema de seguridad y antiincendios.

También se cuenta con una bodega para los elementos de aviónica e instrumentos, al interior se encuentra clasificada por equipos de vuelo, una bodega independiente para las distintas grasas, una bodega para las distintas llantas que se usan en el equipo ETTA y una bodega de tránsito para el material que está pendiente por darse de baja. En conclusión, todos los elementos se encuentran estrictamente clasificados de acuerdo con su uso y características especiales, aplicando los principios de distribución que más se ajustan a sus necesidades por peso, volumen y rotación.

Adicional a esto, el centro logístico posee una planta eléctrica de 3500 kilovatios independiente del complejo militar, haciéndolo autosostenible en caso de que el fuerte militar presente falencias en el sistema de fluido eléctrico, ayudando así a que las operaciones militares no se detengan.

Este comparativo nos permite determinar que a pesar de que el número de aeronaves atendidas no es superior al 34 %, en términos de distribución física se tiene un 6,2 % del espacio que tiene el CLAVE para el desarrollo de sus operaciones, y se trabaja con el 2,7 % del personal necesario para estas tareas tan importantes.

Orígenes del proceso logístico

Para entender los orígenes de la logística esbelta, se hace necesario aclarar que desde la primera mitad del siglo xx se vio la necesidad de adaptar la producción a las necesidades del cliente o del consumidor final, todo esto después de un largo camino donde inicialmente se buscaba influir en la mente de las personas guiando su decisión e imponiendo los productos acordes con bases numéricas rígidas, donde la producción se generaba sin pensar en las necesidades personales (Juárez *et al.*, 2011).

Ahora bien, sobre la premisa que las empresas del siglo xxi, además de mejorar la calidad de los productos, y preocuparse por las necesidades personales, se ven obligadas a optimizar los materiales utilizados en sus procesos productivos, es inevitable dejar de pensar en la eliminación de los desperdicios como factor influyente en la productividad empresarial, donde las empresas buscan estar a la vanguardia incorporando

Comparativo

Tabla 3.
Principales problemas evidenciados en el almacén aeronáutico del CACOM 4

	Metros cuadrados	Personal asignado	Ítems almacenados	Aeronaves atendidas	Sistematización de procesos
CLAVE - Tolemaida Ejército Nacional	9000 m ²	604	356 987	150	Montacargas, grúas, estanterías RAC, almacenamiento vertical.
Almacén aeronáutico -CACOM 4	560 m ²	16	297 654	101	Almacenamiento reducido vertical sin automatización de procesos.

Fuente: elaboración propia.

nuevas tecnologías en sus procesos y buscando satisfacer las diferentes necesidades (Figueredo, 2015).

Partiendo de esto, se comienza a desarrollar una función logística en torno a todas las actividades de consumo y producción, donde se hizo necesario un análisis profundo de cada uno de los pasos entre la producción del servicio o producto y su consumidor final, identificando los puntos más álgidos del proceso.

Si se hace un retorno en el tiempo, de acuerdo con Servera (2010), la segunda etapa de evolución del concepto logístico se conoce como “desarrollo de la logística integral orientada hacia el cliente”, comprendida entre 1965 y 1980, momento en el cual el concepto toma empuje hacia su objetivo actual: la satisfacción del cliente. Donde además se cambió el paradigma de la producción en masa y se buscó tener puntos de inspección en el proceso, pero a pesar de esto se seguían presentando problemas de sobrealmacenamiento por no calcular adecuadamente la producción y buscar masa en vez de una producción acorde con la demanda (Juárez *et al.*, 2011).

De esta manera se pasa de las actividades organizacionales vistas de manera independientes a un juego interdisciplinar con sinergia entre sus partes, donde se deben optimizar los procesos en un paralelo de gana-gana. A partir de esta década (1980) se hace necesaria la consolidación de una gerencia encargada del proceso de distribución entre la compra de materia prima y la entrega a un consumidor final.

El surgimiento de la logística esbelta

La década de los 80 se encuentra como antecedente y punto de partida de la logística esbelta, surgiendo desde la teoría de Frederik Taylor y pasando por la de Henry Ford, quien proponía la reducción de costos empresariales con una producción más amplia (Vargas *et al.*, 2016), utilizando los recursos ya establecidos desde el comienzo de la operación, donde era el cliente quien tomaba las decisiones internas de acuerdo con especificaciones, cantidades y preferencias; mejorando esta postura y haciéndola realmente operativa se identificó la filosofía Toyota, la cual se identifica como principal propulsora de la filosofía Lean, basándose

en reglas generales dadas por la filosofía del “justo a tiempo” (*just in time* – JIT, por sus siglas en inglés).

De esta manera surge el principal objetivo de la logística esbelta, partiendo de la necesidad de agilizar los procesos de las organizaciones, teniendo claro que es obligatorio aumentar los ingresos en general, pero bajo la premisa de utilizar los recursos netamente necesarios y obtener al finalizar la operación un cliente con todas sus necesidades satisfechas (Toledano *et al.*, 2009). En términos de Figueredo (2015), el objetivo principal de la logística esbelta tiene relación directa con la generación de una nueva cultura basada en la comunicación entre áreas y trabajo en equipo.

Ahora bien, Juárez *et al.* (2011) afirman que la esbeltez se fundamenta en la reducción del desperdicio teniendo compromiso desde la producción y todas las partes que allí intervienen, haciendo énfasis en la participación consciente donde se cumplen los objetivos sin realizar actividades extras o inoficiosas con la misma cantidad de recursos. Figueredo (2015, p. 8) define los desperdicios como “aquellos procesos o actividades que usan más recursos de los estrictamente necesarios”.

Así las cosas, fue en el inicio del modelo de producción Toyota donde se nombra el *Jidoka* como la acción que permite detener las máquinas en el momento en que se detectaba un defecto, para corregirlo y evitar que se continuara en el proceso con algún error, trabajando con pequeños lotes y reduciendo con esto además del número de productos defectuosos, los desperdicios de materiales y de tiempo (JIT). Por ello cuando se revisa la literatura de logística esbelta se tienen como pilares de este modelo de producción el *Jidoka* y el “justo a tiempo” (Espejo y Moyano, 2007).

Los desperdicios en la logística esbelta

En el ámbito administrativo se debe tener un cuidado especial con todos los movimientos que se realizan para obtener un resultado, de esta manera del sistema de producción Toyota nacen los denominados desperdicios.

Según Figueredo (2015), los 7 desperdicios principales en una empresa son:

El tiempo de espera: que se tiene entre un paso y otro, esto puede retrasar un proceso y restar valor agregado por demoras innecesarias, en este caso particular iría relacionado con el tiempo en que un inspector o señor suboficial encargado de un mantenimiento solicita el repuesto en la ventanilla del almacén aeronáutico, y el momento en que se lo entregan, el cual se ve afectado por procesos como formatos y tareas adicionales que desarrolla el personal en el almacén.

La sobreproducción: está relacionada directamente con excesos de inventario, y además se vincula a elementos innecesarios que conducen a altos costos, en el caso del almacén aeronáutico hay herramientas y suministros con cero movimientos durante un año, esto se traduce en acumulación innecesaria, ya que se está ocupando un lugar en el almacén que podría ser aprovechado por otro elemento con más rotación, o podría ser aprovechado el espacio para hacer desplazamientos más rápidos y disminuir tiempos de entrega.

El exceso de inventario: está relacionado con el exceso de materiales que se deben almacenar y que ocupan un espacio mayor lo que incrementa el costo.

Con el procesamiento: hacer esfuerzos innecesarios por generar impactos no notorios es un desperdicio, en el caso del almacén aeronáutico se cuenta con dos aires acondicionados de inmensas dimensiones, que no son utilizados y en este caso están desperdiciados.

Los defectos: detectar errores o defectos da lugar a desperdicios no deseados, en este caso despachar erróneamente la herramienta o el suministro genera un reproceso que incrementa el tiempo de las inspecciones

Transporte: este desperdicio se produce por movimientos sin cuidado del material que se tiene bajo custodia o ubicación errada, lo que podría provocar daños e incluso la avería total del elemento.

Movimiento: hace referencia a los desplazamientos que deben realizar los colaboradores para desempeñar sus tareas. En este caso particular se podrían analizar los movimientos que tienen que realizar los técnicos desde la aeronave hasta el computador que genera la orden de producto y luego a ventanilla,

además de esto se tiene el desplazamiento del despachador que podría ser reemplazo por una máquina que hiciera todo el desplazamiento en tiempos mínimos y dirigiéndose a la ubicación exacta.

Finalmente, se debe analizar la logística como la actividad que se desarrolla para el cubrimiento del Supply Chain Management o administración de la cadena de suministro, que se encarga de proyectar, implementar y controlar el flujo y almacenamiento de los productos y servicios desde el punto de producción hasta el punto de consumo; propiciado a su vez por las tecnologías de información presentes en esta época, las cuales facilitan la integración de forma efectiva y generan mayor productividad empresarial. De ahí la importancia de diseñar una estrategia para la factibilidad de la logística esbelta en el almacén aeronáutico del cacom 4, basados en estos conceptos y la identificación de los desperdicios más comunes para responder a ellos con una mejora contundente.

El almacén aeronáutico y su impacto

Tal y como lo indican Agudelo y López (2018), la administración del inventario es una compleja tarea que requiere de gran importancia, puesto que de la buena gestión de los inventarios depende mitigar el impacto en los tiempos de respuesta a los diferentes requerimientos que afectará directamente la productividad y los costos de la organización, para esto, se hace necesaria la aplicación de prácticas adecuadas que permitan un mejor manejo de inventarios, disminuyendo tiempos y aprovechando los espacios físicos acorde con el material que se tiene en esta unidad para el cumplimiento de la misión.

Como lo indica Moncayo (2017), son los almacenes los encargados de recibir, custodiar y entregar los materiales, manteniendo el mejor control, con el fin de tomar decisiones e incrementar la productividad, disminuyendo los retrasos tanto en mantenimientos como en operaciones.

De allí, surge la necesidad de realizar una propuesta que permita evidenciar mejoras, específicamente

en la cultura organizacional, para lograr responder con mayor eficiencia a los requerimientos de los técnicos y contribuir con la misión de la Fuerza Aérea Colombiana, de acuerdo con algunos problemas evidenciados en las visitas recurrentes al almacén (ver tabla 4).

Además, es importante resaltar que el escuadrón de abastecimientos soporta la gestión de inventarios dada la alta rotación de los repuestos e insumos, y que se cuenta con un número reducido de personal que mantiene estos elementos actualizados, por tanto, es necesario generar una correcta automatización de procesos y la aplicación de un plan de disposición correcto de los inventarios.

En apoyo a lo anterior, Fallas *et al.* (2018, p. 54) mencionan que el uso de herramientas con pensamiento esbelto son las más apropiadas para identificar posibles mejoras, y esto se verá reflejado en un trabajo más seguro y sencillo, una percepción de producción limpia, cooperación entre los trabajadores, retroalimentación de las posibles fallas durante la producción, mejora en todos los procesos y aumento en los rendimientos empresariales, cumpliendo a cabalidad el objetivo de eliminación total de movimientos y productos ineficientes.

Es esencial para la Fuerza Aérea Colombiana mantener sus aeronaves en óptimas condiciones para la ejecución de su misión, que de acuerdo con la disposición número 026, contemplada en el PEI 2011-2030 es: “Volar, entrenar y combatir para vencer y dominar en el aire, el espacio y el ciberespacio, en defensa de la soberanía, la independencia, la integridad territorial, el orden constitucional y contribuir a los fines del Estado” (2019b, p.1), ya que con ellas se realizan las operaciones que proporcionarán la superioridad aérea, en consecuencia, una flota aérea en condiciones no óptimas de mantenimiento impedirá efectuar las misiones aéreas que le garanticen a la población colombiana su seguridad.

El CACOM 4, según lo estipulado en su misión, es el encargado de realizar operaciones aéreas a lo largo del país por medio de sus comisiones de orden público, y efectúa la instrucción y el entrenamiento de los futuros pilotos y técnicos, tanto nacionales como internacionales, que las van a ejecutar, los cuales han sido 63 pilotos básicos y 62 técnicos tripulantes en el 2018, 59 pilotos básicos y 135 técnicos tripulantes en el 2019, finalmente, 50 pilotos básicos y 104 técnicos tripulantes en el 2020.

Por esto el almacén aeronáutico del CACOM 4 debe garantizar la materia prima y los insumos básicos para

Tabla 4.
Principales problemas evidenciados en el almacén aeronáutico del CACOM 4

Problema	Causas	Frecuencia	Consecuencias
Abastecimiento limitado	Control deficiente de inventarios ABC.	Baja	Retraso en iniciar inspecciones. Retraso para completar los vuelos de prueba.
Retraso en los tiempos de inspecciones programadas	No se tienen los elementos completos de las listas maestras. Demora en la entrega de material por desconocimiento de la programación de la inspección.	Media	Paradas del mantenimiento.
Orden no adecuado de los elementos en el centro logístico	Falta programación y espacio para los elementos.	Alta	Demoras en encontrar los elementos para las inspecciones.
Contaminación visual	Falta organización de puestos de trabajo e inventario general.	Alta	Demoras en los despachos. Desactualización del inventario.
Clima organizacional tenso	Mal manejo del espacio provoca retrasos en las entregas.	Alta	Descontento entre el despachador e inspector.

Fuente: elaboración propia a partir de las visitas al almacén.

el mantenimiento óptimo y oportuno, proporcionando los elementos necesarios para su desarrollo justo a tiempo. Llevar un inventario adecuado y organizado para la fácil ejecución de la línea de mantenimiento de las aeronaves garantiza que todo el proceso logístico y de cumplimiento de la misión se lleve a cabo sin novedades, optimizando tiempo y dinero, Agudelo y López (2018) hacen énfasis en la importancia del inventario en las organizaciones, con el fin de optimizar recursos económicos y físicos.

Así, tener un control sobre los inventarios ayuda a mejorar la productividad, aumentar la ventaja competitiva y disminuir costos asociados (Agudelo y López, 2018). Por esta razón, lo que se pretende con el estudio de caso es determinar la factibilidad del modelo de logística esbelta en la reorganización del almacén aeronáutico, ya que tal y como lo indican Fallas *et al.* (2018), “la implementación de las herramientas brindadas por la logística esbelta es efectiva para identificar oportunidades de mejora e incremento de productividad empresarial” (p. 53).

Garantizando con esto también el buen desarrollo de las actividades, donde se pretende capacitar al personal involucrado en la cadena de valor del mantenimiento de las aeronaves, con el fin de obtener una detección temprana de todas las posibles mejoras en el proceso y luego de hacer una identificación de las principales demoras asociadas al inventario del almacén aeronáutico del CACOM 4 para entregar una propuesta robusta con antecedentes claros.

Todo esto con el fin de continuar apoyando la misión de la institución con el mejor aprovechamiento de los recursos del Estado, y así mantener un alto grado de alistamiento que se verá reflejado en la seguridad nacional, efectuando operaciones aéreas más seguras, con menores gastos y mucho más ágiles.

Metodologías de enfoque *lean logistic*

La logística esbelta presenta diferentes herramientas que pueden ser usadas en conjunto o de manera

individual en las diferentes organizaciones, con el fin de mejorar sus procesos y cumplir con su objetivo principal: eliminar los desperdicios; es necesario comprender que estas herramientas abarcan desde lo personal (9S) hasta lo organizacional (Six Sigma), entendiendo que es un trabajo en equipo el logro y consecución de los objetivos planteados, atacando la ineficiencia mediante JIT, Kanban, TPM, Jidoka, Poka Yoke y Kaizen, entre otros.

Dentro de los principios del pensamiento esbelta se encuentran: la definición del valor del producto o servicio que se ofrece, teniendo en cuenta que el cliente o consumidor final está buscando una solución a sus necesidades; luego de esto se debe analizar el flujo de valores, es decir, todo aquello que interviene en la generación de valor, seguido a esto se debe crear el flujo necesario para permitir que fluyan los procesos de generación de valor, creando o produciendo solo cuando sea necesario, estableciendo finalmente una mejora continua.

Así las cosas, a continuación, se presenta una definición de algunas herramientas *lean*, teniendo claro que una empresa esbelta debe aplicarlas individualmente o en conjunto, según sea su objetivo:

Total production maintenance (TPM) - mantenimiento productivo total

Según García *et al.* (2012), el mantenimiento productivo total busca asegurar que un equipo o herramienta de producción se encuentre en condiciones óptimas para su uso siendo, capaz de producir los componentes con los estándares de calidad adecuados y en el tiempo establecido. Basado en la metodología esbelta se requiere que cada máquina o herramienta se encuentre preparada para ser usada en el momento que se necesite, esto con el fin de suplir las necesidades del cliente y determinando la fiabilidad de la máquina encaminada a la calidad exigida.

Cuatrecasas y Torrel (2010) presentan los objetivos asociados al TPM, basados en la reducción de los costos del mantenimiento preventivo y evitando correctivos, lo que se ve reflejado en un aumento de productividad, una disminución de las averías con una mejora de reacción frente a los problemas presentados. Así mismo, se contempla un cambio de mentalidad de

los empleados manteniendo cero averías, cero defectos y cero accidentes, lo que desencadena en una motivación del personal por excelentes resultados.

Para la implementación de esta metodología se recomienda trabajar previamente en la implantación de las 5S (Landazabal *et al.*, 2019), esto tendrá dos ventajas importantes para el TPM:

- Se lleva a cabo una limpieza integral de los equipos con la intención de sacar los problemas a la superficie.
- Se definen estándares de orden y limpieza, y además se pone en marcha un plan de auditorías que pretende identificar y corregir desviaciones del estándar.

Finalmente, como principales beneficios del TPM se tiene una mejora en las relaciones interdepartamentales, una identificación a tiempo de los posibles errores o fallas de las máquinas y un mayor control de las operaciones, eliminando pérdidas innecesarias y minimizando los tiempos de paradas de las máquinas, aumentando la calidad de los productos e incrementando la productividad (Marín y Martínez, 2013).

Poka Yoke

De acuerdo con Arrieta (2007), esta metodología de la logística esbelta se basa en evitar errores, prevenirlos y corregirlos a tiempo; de allí su nombre: Poka: errores, Yokeru: evitar. Para esto es necesario diseñar el proceso para que los errores se puedan detectar y corregir de forma inmediata, eliminando así los defectos en su origen.

Para implementar una metodología basada en Poka Yoke, es necesario pasar por dos pasos: 1) identificando la necesidad para plasmar desde el comienzo del proceso los posibles errores que se puedan presentar durante toda la cadena y; 2) gestionarlos antes de satisfacer la necesidad del cliente (Arrieta, 2007).

Así mismo, Pinzón *et al.* (2018) expresan que la aplicación de esta metodología es de fácil aplicación e involucra a toda la organización, permitiendo con esto empoderar a toda la cadena y hacer mucho más notorios los resultados del trabajo. Dentro los beneficios

identificados en la aplicación de esta metodología se encuentra la disminución de tiempo en capacitación, eliminación de acciones repetitivas, y mejoras en la productividad.

Kai-Zen - mejora continua

Esta herramienta consiste en combinar dos términos: cambio-mejor (Kai-Zen), de acuerdo con el creador del concepto, Maasaki Imai, esta estrategia consiste en una cultura de cambio constante que permite mejorar continuamente.

Así las cosas, según Alvarado y Pumisacho (2017), es necesario mediante el transcurso del tiempo eliminar los procesos productivos innecesarios, y de la misma manera mejorar los estándares de calidad, disminuyendo los costos, mejorando los tiempos de espera en el proceso, lo que conlleva a un cambio impactante a través del tiempo.

Según Chirinos *et al.* (2010), el fin de esta metodología consiste en ayudar a las organizaciones a realizar avances significativos con cambios en sus procesos mediante: eliminación de errores, minimización de demoras, adaptación a los cambios exigidos por el entorno y uso productivo del personal, involucrando todas las partes que intervienen en el proceso.

Tal y como lo expresó Taiichi Ohno para su metodología, un desperdicio es “todo lo que consume recursos y no agrega valor”. Así, en una organización se pueden presentar: excesos de producción, largos tiempos de espera, exceso de inventarios, procesamientos innecesarios, elementos defectuosos, demoras en el transporte, movimientos innecesarios. En conclusión, todo lo que consume recursos y no agrega valor es un desperdicio.

Para controlar estos desperdicios y lograr una mejora continua se hace necesario utilizar algunas herramientas brindadas por esta metodología: sistema JIT, calidad total (TQM), mantenimiento productivo total (TPM), sistemas de reporte de sugerencias, controles de calidad y organización de políticas.

De acuerdo con la revisión literaria realizada por Alvarado y Pumisacho (2017), las técnicas y herramientas gerenciales más utilizadas en el Kaizen distribuidas por autores están compuestas por:

Tabla 5.
Técnicas y herramientas gerenciales

Autor	Técnicas / Pácticas / Herramientas
Imai (1989)	Control total de la calidad, círculos de control de calidad, sistemas de sugerencias, automatización, mantenimiento total productivo, Kanban, mejoramiento de la calidad, justo a tiempo, cero defectos, actividades en grupos pequeños, relaciones cooperativas, mejoramiento de la productividad.
Wittenberg (1994), Bond (1999)	Círculos de calidad, calidad total, control mantenimiento productivo total, sistemas de sugerencias, Kanban, justo a tiempo, mejora de la productividad, robótica, formación y automatización.
Nonaka (1995), Dankbaar (1997), De Tréville y Antonakis (2006)	Gestión del conocimiento: equipos multi-funcionales, selección y formación de los empleados, participación de los trabajadores en programas de mejora continua.
Ishikawa (1985), Liker (2004), Hino (2006), Liker y Meier (2006), Van Scyoc (2008), suárez-Barraza y Dávila (2011), Suárez-Barraza y Ramis-Pujol (2012)	Lean, 5S, teoría de las restricciones, Seis Sigma, historia de la calidad, equipos de mejora, formación, rediseño de procesos, principios de calidad, proceso de mejora continua (PDCA), estandarización, administración del sitio de trabajo, talleres de mejora.
Brunet y New (2003)	Cero defectos, operación de sistemas de sugerencias, promoción de programas y objetivos mediante la implicación de la dirección, círculos de calidad.

Fuente: Alvarado y Pumisacho (2017).

9S

La herramienta 9S tiene como objetivo principal mejorar la limpieza de los puestos de trabajo, no solo físicamente sino en la organización de procesos, generando un ambiente más organizado que ayude a incrementar la productividad de los trabajadores, así mismo elimina los obstáculos que impiden un fluido proceso y ayuda a mantener la seguridad en el área laboral, esto trae consigo un aumento de la calidad, mayor efectividad y eficiencia (Santoyo *et al.*, 2013).

Anda y Rosales (2009) definen las 9S así:

De acuerdo con Pérez y Quintero (2017), dentro de los beneficios de la aplicación de las 9S en una organización se encuentran:

- La mejora de las condiciones del trabajo y moral del personal en general.
- Optimización de los recursos.
- Reducción de riesgos de accidentes.
- Mejora de la prestación del servicio.
- Disminución de tiempo en la ejecución de las tareas.
- Mejora el ambiente de trabajo y lo hace más agradable.

Tabla 6.
Aplicación de la metodología de 9S

¿Dónde se aplican?								
Con las cosas			Con uno mismo				Con la empresa	
Seiri Clasificación, teniendo únicamente los elementos necesarios.	Seiton Organización, manteniendo todo en orden.	Seiso Limpieza, teniendo todo limpio.	Seiketsu Bienestar personal, cuidando la salud física y mental.	Shitsuke Disciplina, manteniendo un comportamiento adecuado.	Shikari Constancia, preservando los buenos hábitos.	Shitsokoku Compromiso, cumpliendo lo establecido.	Seishoo Coordinación, actuando como un equipo.	Seido Estandarización, unificando el trabajo mediante estándares.

Fuente: Santoyo *et al.* (2013).

- Desarrollo de hábitos para mejorar las tareas.
- Mejora la percepción de calidad.

Estandarización en el trabajo

La estandarización en el trabajo hace parte de una de las principales reglas necesarias para eliminar los desperdicios, teniendo en cuenta que se desarrollan las tareas con mayor rapidez y así mismo se disminuyen los costos.

Para establecer una operación estándar es necesario desarrollar una reunión previa donde se identifique lo que se va a hacer y el modelo por seguir, buscando la forma más adecuada de acuerdo con cada área de trabajo (Niño y Catillo, 2011).

De acuerdo con Vásquez y Labarca (2012), se establece un programa de adiestramiento técnico (OJT) donde se verifica la hoja de operación estándar para conocimiento de todo el personal que labora en determinada actividad, y se adecúa el área para el cumplimiento de las tareas sin inconvenientes. Luego se explica la operación o tarea por desarrollar en cada puesto de trabajo, demostrando cuándo será necesaria la tarea, finalmente se verifica lo enseñado aclarando las dudas.

Propuesta de rediseño de *layout*

Teniendo en cuenta las necesidades evidenciadas en la caracterización del almacén aeronáutico y los puntos de mejora establecidos en el *benchmarking*, junto con la combinación de las herramientas esbeltas elegidas, se presenta a continuación el *layout* inicial:

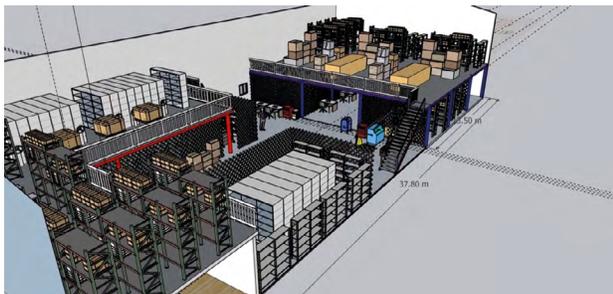


Figura 4. Estado actual del almacén aeronáutico, vista norte
Fuente: elaboración propia, a partir de caracterización.

La imagen deja ver las dos plantas actuales del almacén, en las cuales no se referencia un orden específico para los elementos, a pesar de que se argumenta un manejo ABC de los inventarios, tanto los inspectores como los trabajadores del almacén coinciden en la diferencia del inventario físico con el inventario del SAP, así mismo, se observa material amontonado en el piso y estrechez en los pasillos.



Figura 5. Estado actual del almacén aeronáutico, vista sur
Fuente: elaboración propia, a partir de caracterización.

Las características de las áreas del almacén aeronáutico están determinadas por una organización de bloques en línea recta, dentro de los cuales no hay espacio suficiente en los pasillos para realizar un tráfico en doble sentido (ver figura 5), el talento humano encargado de la recepción de la orden y el despacho lo realiza una sola persona, por lo cual si llegan dos o más técnicos con solicitudes diferentes se hace necesario esperar en la ventana de acuerdo con el orden de llegada. En cuanto a su distribución física, los equipos de oficina se encuentran al mismo nivel de los elementos pertenecientes al inventario, impidiendo la vista global de los ítems y obstaculizando el área de movilidad de los elementos que atiende el taller.

Es importante destacar que se propone un rediseño utilizando el mismo espacio, pero cambiando su distribución, así: en el segundo piso se ubicarían todas las oficinas administrativas, computadores y elementos tecnológicos que conectarían al primer piso con bandas transportadoras, donde mediante la automatización de procesos se extraerían los elementos solicitados por los inspectores mediante el sistema. También se pretende establecer un incremento de *raquet* con una organización ABC y una coincidencia

específica con el reporte SAP. Haciendo necesaria la compra de montacargas para la acomodación de los diferentes productos en su orden inicial.

Con el fin de que se puedan aplicar las 9S de manera sencilla y ayudando al orden de los procesos en general, también la estandarización de cada uno de los procesos se hará notoriamente más factible teniendo en cuenta que el espacio en el cual se desenvuelve el personal actualmente, a pesar de ser reducido, también se encuentra desorganizado, lo que reduce aún más el espacio.

No sin antes aclarar que la inversión promedio podría superar los 150.000 dólares, con el objetivo de reorganizar el espacio físico con el que se cuenta e implementar además una sistematización de procesos para automatizar las tareas y disminuir tiempos, tanto de entrega, como de inspecciones en general.

Conclusiones

Para el desarrollo del presente artículo se realizó una caracterización que abarcó procesos y distribución física del almacén aeronáutico, donde se evidenciaron los principales puntos de mejora relacionados con teorías de logística esbelta, estableciendo la aplicación de una estandarización en el trabajo y 9S basados en Kai-Zen elegidos, luego de una revisión bibliográfica extensa de la cultura de la logística esbelta, las cuales al ser aplicadas disminuirían tiempos muertos, eliminarían procesos y documentación que actualmente se encuentra sin valor agregado.

El comparativo realizado con el CLAVE permitió determinar que, a pesar de que el número de aeronaves atendidas no es superior al 34 %, en términos de distribución física se tiene un 6.2 % del espacio que tiene el CLAVE para el desarrollo de sus operaciones, y se trabaja con el 2.7 % del personal necesario para estas tareas tan importantes.

Por lo anterior, un proceso de respuesta a los técnicos en menor tiempo puede contribuir a una reducción

significativa de los tiempos de las inspecciones y operaciones de procesos posteriores al almacén en la cadena logística, de acuerdo con esto se desarrolló un modelo mediante el cual se estableció la mejor ubicación para el ajuste de los estantes que facilita el acceso y aprovechamiento de los espacios y una disminución de tiempos de respuesta, teniendo en cuenta que la productividad estaba seriamente afectada por demoras asociadas a causas como la falta de coordinación, planificación, paradas del proceso, escasez de materias primas y fallas en los flujos de información y canales de comunicación tanto internos como externos, para esto se estableció la propuesta del nuevo *layout*, mediante el cual se pretende estar a la vanguardia en términos de automatización de procesos, implementando bandas transportadoras, montacargas y estableciendo el aprovechamiento del espacio existente con una mínima inversión y altos resultados en tiempos de respuesta.

De la misma forma, con la implementación de la logística esbelta se logra una eliminación considerable de desperdicios en la cadena de suministro, al solicitar las herramientas y suministros justos y necesarios. Una reducción de los excesos de inventarios teniendo en cuenta que las matrices estandarizadas de solicitud de producto serán ajustadas, lo que implica también una reducción de costos. Con la evaluación de las tareas desarrolladas se logra la eliminación de actividades que no aportan valor al proceso productivo y una mayor optimización y flexibilidad en el flujo de los materiales.

Finalmente, se establecerán reuniones periódicas para mejorar la confianza y colaboración entre áreas (grupos) de acuerdo con las respuestas obtenidas en una encuesta estructurada que se aplicó a todo el personal perteneciente al almacén aeronáutico del CACOM 4. Así mismo, se planteó desarrollar un cronograma de capacitación dirigido al personal de inspectores para proporcionarles las herramientas necesarias para hacer una correcta aplicación de 9S, con charlas que incentiven la estandarización en el trabajo de las diferentes tareas, disminución de desperdicios y mejora continua de procesos.

Referencias

- Agudelo, D. y López, Y. (2018). Dinámica de sistemas en la gestión de inventarios. *Revista Ingenierías USBMed*, 9(1), 75-85. Ejemplar dedicado a: Ingenierías USBMed.
- Anda, J. y Rosales, O. (2009). Kaizen basado en 9S aplicado en el Instituto Tecnológico de Aguascalientes. *Conciencia Tecnológica*, (38), 35-38. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94412327007>
- Alvarado, K. y Pumisacho, V. (2017). Prácticas de mejora continua, con enfoque Kaizen, en empresas del Distrito Metropolitano de Quito: un estudio exploratorio. *Capital Intangible*, 13 (2), 479-497. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=54950452008>
- Arrieta, J. (2007). Interacción y conexiones entre las técnicas 5S, SMED y Poka Yoke en procesos de mejoramiento continuo. *Tecnura*, 10(20), 139-148. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=257021012012>
- Chirinos, E., Rivero, E., Méndez, E., Goyo, A. y Figueredo, C. (2010). El Kaizen como un sistema actual de gestión personal para el éxito organizacional en la empresa ensambladora Toyota. *Negotium*, 6 (16), 113-135. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=78216323006>
- Cuatrecasas, L. y Torrel, F. (2010). *TPM en un entorno lean management: estrategia competitiva*. Profit Editorial.
- Espejo, M. y Moyano, J. (2007). *Lean production: estado actual y desafíos futuros de la investigación*. *Investigaciones Europeas de Dirección y Economía de la Empresa*, 13(2), 179-202. Academia Europea de Dirección y Economía de la empresa.
- Fallas, P., Quesada, H. y Madrigal, J. (2018). Implementación de principios de manufactura esbelta a actividades logísticas: un caso de estudio en la industria maderera. *Tecnología en Marcha*, 31(3), 52-65.
- Figueredo, F. (2015). Aplicación de la filosofía *lean manufacturing* en un proceso de producción de concreto. *Ingeniería Industrial. Actualidad y Nuevas Tendencias*, 4(15), 7-24. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=2150/215047546002>
- Fuerza Aérea Colombiana. (2016). *Manual de mantenimiento aeronáutico (FAC-4.1.1-O Mamae)* (2.ª ed.).
- Fuerza Aérea Colombiana. (2019a). *Reseña histórica CACOM 4*. <https://www.fac.mil.co/cacom4/Conozcae%20CACOM4/rese%C3%B1a-hist%C3%B3rica-3>
- Fuerza Aérea Colombiana. (2019b). *Disposición Número 026. Bogotá: Por la cual se modifica la misión y visión de la FAC contemplada en el PEI 2011-2030*.
- García, J., Romero, J. y Noriega, S. (2012). El éxito del mantenimiento productivo total y su relación con los factores administrativos. *Contaduría y Administración*, 57(4), 173-196. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=39524375009>
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, M. (2010). *Metodología de la investigación* (5a. ed.). Editorial Mc Graw Hill.
- Juárez, Y., Rojas, J., Medina, J. y Pérez, A. (2011). El enfoque de sistemas para la aplicación de la manufactura esbelta. *Científica*, 15(1), 35-42. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=614/61419301005>
- Landazabal, M., Ruiz, C., Álvarez, Y. y Padilla, H. (2019). *Lean manufacturing: 5S y TPM, herramientas de mejora de la calidad*. Caso empresa metalmecánica en Cartagena, Colombia. *Signos: Investigación en Sistemas de Gestión*, 11(1), 71-86.
- Marín, J. y Martínez, M. (2013). Barreras y facilitadores de la implantación del TPM. *Capital intangible*, 9(3), 823-853. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=54928893011>
- Moncayo, O. (2017). *Análisis de la gestión de almacenes aeronáuticos, basado en los reglamentos aeronáuticos colombianos y en la guía de gestión de inventarios de la administración federal de aviación de los estados unidos de América*. [Tesis de especialización. Escuela de Posgrados Fuerza Aérea Colombiana].
- Niño, J. y Castillo, A. (2011). Estandarizar o no estandarizar: esa es la pregunta. *Academia, Revista Latinoamericana de Administración*, (47), 78-90. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=71618917006>
- Pérez, V. y Quintero, L. (2017). Metodología dinámica para la implementación de 5S en el área de producción de las organizaciones. *Revista Ciencias Estratégicas*, 25(38), 411-423. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=151354939009>
- Pinzón, D., Arteaga, W. y Villamil, D. (2018). Uso y aplicación de herramientas del modelo de producción Toyota: una revisión de literatura. *Revista Politécnica*, 14(27), 80-92. Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid.
- Santoyo, F., Murguía, D., López, A. y Santoyo, E. (2013). Comportamiento y organización. Implementación del sistema de gestión de la calidad 5S. *Diversitas: Perspectivas en Psicología*, 9(2), 361-371. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=67932397009>

Servera, D. (2010). Concepto y evolución de la función logística. *Revista de Ciencias Administrativas y Sociales*, 20(38), 217-234.

Toledano de Diego, A., Mañes, N. y García, S. (2009). Las claves del éxito de Toyota. *Lean*, más que un conjunto de herramientas y técnicas. *Cuadernos de Gestión*, 9(2), 113-122. Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea.

Vázquez, C. y Labarca, N. (2012). Calidad y estandarización como estrategias competitivas en el sector agroalimentario. *Revista Venezolana de Gerencia*, 17 (60), 695-708. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=29024892002>

Vargas, J., Muratalla, G. y Jiménez, M. (2016). *Lean manufacturing*, ¿una herramienta de mejora de un sistema de producción? *Ingeniería industrial. Actualidad y nuevas tendencias*, 1(17), 153-174.

Desarrollo del prototipo de un software de acuerdo con la metodología *design thinking* para la estandarización del proceso logístico no aeronáutico del nivel táctico en la Fuerza Aérea Colombiana

| Fecha de recibido: 03 de mayo 2022 | Fecha de aprobación: 01 de junio 2022 |

Juan Carlos Camargo Abril

Especialista en Gerencia de Gestión de Sistemas de Gestión QHSE

Investigador. Fuerza Aérea Colombiana
Colombia

Rol del investigador: experimental y escritura
✉ juan.camargo-a@mail.escuelaing.edu.co

Joan Paola Cruz González

Master of Science en Gestión y Dirección Organizacional

Investigadora. Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito
Colombia

Rol del investigador: experimental y escritura
✉ joan.cruz@escuelaing.edu.co

Ivonne Angélica Castiblanco Jiménez

Magíster en Automatización Industrial

Investigadora. Politécnico di Torino
Italia

Rol del investigador: experimental y escritura
✉ ivonne.castiblanco@polito.it

Cómo citar este artículo: Camargo Abril, J. C., Cruz González, J. P., y Castiblanco Jiménez, I. A. (2022). Desarrollo del prototipo de un software de acuerdo con la metodología *design thinking* para la estandarización del proceso logístico no aeronáutico del nivel táctico en la Fuerza Aérea Colombiana. *Ciencia y Poder Aéreo*, 17(2), 99-119. <https://doi.org/10.18667/cienciaypoderareo.754>



Desarrollo del prototipo de un software de acuerdo con la metodología *design thinking* para la estandarización del proceso logístico no aeronáutico del nivel táctico en la Fuerza Aérea Colombiana

Development of a software prototype according to the “design thinking” methodology for the standardization of the non-aeronautical logistics process at the tactical level in the Colombian Air Force

Desenvolvimento de um protótipo de software de acordo com a metodologia *design thinking* para a padronização do processo logístico não aeronáutico no nível tático na Força Aérea Colombiana

Resumen: La Fuerza Aérea Colombiana es una institución que pertenece al sector público con una estructura piramidal castrense. Su razón de ser es atender las necesidades de seguridad y defensa del país, con el fin de contribuir al cumplimiento de los fines esenciales del Estado. Su función es ejecutada por un recurso humano de alta rotación en los diferentes niveles de mando e impacta la planeación institucional a corto, mediano y largo plazo, promoviendo crecimiento y gestión en un ambiente complejo que dificulta el cumplimiento de sus objetivos.

Este comportamiento se refleja en la cultura y misionalidad del proceso logístico no aeronáutico, que descansa su gestión en la cotidianidad de los esfuerzos individuales y aislados por proveer los medios necesarios para el funcionamiento de las Unidades Militares y el desarrollo de las operaciones aéreas. La presente investigación desarrolla el prototipo de un *software* bajo la metodología *design thinking* como herramienta ideal y fundamental para estandarizar y optimizar, desde el punto de vista funcional y técnico, la operación del proceso logístico no aeronáutico en el nivel táctico de la institución.

El proyecto del prototipo del software se desarrolla de acuerdo con la metodología *design thinking*, en sus fases: (1) empatizar, (2) definir, (3) idear, (4) prototipar y (5) probar. Se abordó la situación problemática para la construcción de la propuesta de solución que se materializa con la definición del esquema documental, representado en la actualización de la estructura organizacional respecto a los cargos y el manual de funciones, el procedimiento y el formato para trámite de los servicios. Esto es soporte para el desarrollo del prototipo del *software* que permita estandarizar y optimizar la operación del proceso logístico no aeronáutico en el nivel táctico de la Fuerza Aérea Colombiana que, de manera consecuente, optimice el uso de los recursos, mejore el clima laboral, y mejore la calidad de los bienes y servicios que se requieren para la operación.

Palabras clave: *design thinking*; empatizar; idear; logística; probar; prototipar; *software*.

Abstract: The Colombian Air Force is a public sector institution with a military pyramidal structure. Its *raison d'être* is to meet the security and defense needs of the country, in order to contribute to the fulfillment of the essential purposes of the State. Its function is executed by a human resource with a high turnover at different levels of command and impacts institutional planning in the short, medium and long term, promoting growth and management in a complex environment that hinders the fulfillment of its objectives.

This behavior is reflected in the culture and mission of the non-aeronautical logistics process, which rests its management on the daily individual and isolated efforts to provide the necessary means for the functioning of the Military Units and the development of air operations. The present research develops the prototype of a software under the design thinking methodology as an ideal and fundamental tool to standardize and optimize, from the functional and technical point of view, the operation of the non-aeronautical logistic process at the tactical level of the institution.

The software prototype project is developed according to the design thinking methodology, in its phases: (1) empathize, (2) define, (3) devise, (4) prototype and (5) test. The problematic situation was approached for the construction of the solution proposal that materializes with the definition of the documentary scheme, represented in the updating of the organizational structure with respect to the positions and the functions manual, the procedure and the format for the processing of services. This is support for the development of the software prototype that allows standardizing and optimizing the operation of the non-aeronautical logistic process at the tactical level of the Colombian Air Force that, consequently, optimizes the use of resources, improves the work environment, and improves the quality of goods and services required for the operation.

Keywords: Design thinking; empathize; devise; logistics; test; prototype; software.

Resumo: A Força Aérea Colombiana é uma instituição do setor público com uma estrutura piramidal militar. Sua razão de ser é atender às necessidades de segurança e defesa do país, a fim de contribuir para o cumprimento dos propósitos essenciais do Estado. Sua função é exercida por um recurso humano com alta rotatividade em diferentes níveis de comando e impacta o planejamento institucional a curto, médio e longo prazo, promovendo o crescimento e a gestão em um ambiente complexo que dificulta o cumprimento de seus objetivos.

Este comportamento se reflete na cultura e missão do processo logístico não aeronáutico, que se baseia na gestão diária dos esforços individuais e isolados para fornecer os meios necessários para o funcionamento das unidades militares e o desenvolvimento das operações aéreas. Esta pesquisa desenvolve o protótipo de um software sob a metodologia do pensamento do projeto como uma ferramenta ideal e fundamental para padronizar e otimizar, do ponto de vista funcional e técnico, o funcionamento do processo logístico não aeronáutico no nível tático da instituição.

O projeto de protótipo de software é desenvolvido de acordo com a metodologia do pensamento do projeto, em suas fases: (1) empatizar, (2) definir, (3) elaborar, (4) prototipar e (5) testar. A situação problemática foi abordada para construir a solução proposta que se materializa com a definição do esquema documental, representado na atualização da estrutura organizacional com respeito aos cargos e ao manual de funções, ao procedimento e ao formato de processamento dos serviços. Isto apóia o desenvolvimento do protótipo de software que padronizará e otimizará a operação do processo logístico não aeronáutico no nível tático da Força Aérea Colombiana, que consequentemente otimizará o uso dos recursos, melhorará o ambiente de trabalho e melhorará a qualidade dos bens e serviços necessários para a operação.

Palavras chave: *Design thinking*; empatia; ideação; logística; teste; protótipo; *software*.

Introducción

En el contexto general del comportamiento de cualquier organización, persiste la necesidad de considerar de manera apropiada la importante relación que existe entre las necesidades “ilimitadas” y los “recursos escasos” que se tienen en un momento dado para poderlas resolver (Pavetto *et al.*, 2009), situación que no es ajena a la realidad de la Fuerza Aérea Colombiana (FAC).

Esta relación extensa de necesidades versus los recursos valiosos y limitados, impregnada por mucho tiempo en la gestión del proceso logístico no aeronáutico de la FAC, motivó la necesidad de emprender las acciones para mejorar esta situación problemática. A través del desarrollo del prototipo de un *software* siguiendo los pasos de la metodología *design thinking* (DT) como instrumento fundamental para lograr la estandarización de la operación del proceso logístico, se propuso optimizar los recursos, potencializar el recurso humano con un mejor clima y ambiente laboral, y satisfacer las necesidades y expectativas de los clientes y las partes interesadas como soporte de la misión institucional representada en el funcionamiento de las Unidades Militares Aéreas y las operaciones aéreas (Fuerza Aérea Colombiana, 2020).

La metodología DT fue utilizada en esta investigación dada su pertinencia para abordar sistemas complejos que requieren la participación de los *stakeholders* para construir en conjunto un escenario de mejora (Tschimmel, 2012). Así mismo, ha sido utilizada exitosamente en casos similares (Homburg, 2013; Antún-Callaba y Ojeda-Toche, 2004; Rosales *et al.*, 2019; Cámara de Comercio de Bogotá, 2019; Vásquez, 2018; Delgado *et al.*, 2021; Mejía-López *et al.*, 2019). Los casos de la metodología DT empleada para el diseño de un producto o servicio, pensando en el usuario final, representa un paquete de beneficios asociado como complemento a la solución inicial que cumple y trasciende en la productividad buscada para la organización, sectores de la sociedad y mejoramiento de las condiciones de las personas en su calidad de empleados, clientes o usuarios del sistema que se está interviniendo. Por ejemplo, Connected Health desarrolló un

proyecto de innovación tecnológica con la metodología DT para incorporar a la gestión de la operación el uso de un *software* que permitió impulsar la farmacia electrónica como base para la optimización de la atención médica de cara al usuario final (Carroll y Richardson, 2016).

Este artículo se estructura con la presentación de la problemática, la exposición de la metodología utilizada para el desarrollo de la investigación y la discusión de los resultados obtenidos a la luz del prototipo desarrollado. El artículo finaliza con conclusiones del estudio realizado.

Problemática

La logística de los servicios de la FAC tiene un mando centralizado a nivel operacional, en cabeza de la Dirección Logística ubicada en la capital, Bogotá D.C., y una ejecución descentralizada desplegada en el nivel táctico, visible en diecisiete Unidades Militares Aéreas ubicadas en varios lugares de la geografía nacional. Tienen la responsabilidad de proveer bienes y servicios no aeronáuticos, necesarios para garantizar el funcionamiento y cumplimiento de la misión particular de la Unidad en complemento, alineación y contribución a la misión constitucionalmente asignada a la FAC.

El área logística no aeronáutica de la institución presenta una reducida estandarización de su operación y baja formalización en el nivel táctico (Serrano y Blázquez, 2015). Esto deja sobre la mesa una gran dificultad para producir, almacenar, acceder, organizar y utilizar información oportuna, veraz y relevante para tomar decisiones en torno a la gestión logística de la cual se deriva la proyección anual del presupuesto y la administración del personal de la especialidad logística, con lo que se respalda la operación de cara al cliente interno.

Desde la óptica más básica, el área logística no aeronáutica realiza la prestación de más de cincuenta clases de servicios en las áreas de mantenimiento de instalaciones, medioambiente, telemática, comunicaciones, servicios generales, transportes, casinos,

etc., con la particularidad de que cada servicio se presta según el criterio y los lineamientos de los oficiales de cada Unidad Militar. Esto evidencia la falta de estandarización logística y los vacíos en la comunicación y en el interés por conocer los problemas y las mejores prácticas que se materializan durante la operación, los cuales podrían ser la fuente de información primaria para estandarizar y optimizar el proceso.

Como complemento de lo anterior, en cada Unidad Militar Aérea se presume, de manera general, el cumplimiento de la misión del área logística sin tener información precisa o estadística verificable que pueda sustentar eventualmente la cantidad de servicios prestados, la utilización de materiales para el cumplimiento de los servicios, el tiempo empleado, el grado de satisfacción de los usuarios respecto a los servicios recibidos y el conocimiento de las causas del incumplimiento de los servicios o la calidad de los bienes entregados.

Así mismo, es conveniente precisar que prestar los múltiples servicios que son responsabilidad del área logística no aeronáutica requiere personal militar y civil de diferentes niveles de formación (profesional, técnico, tecnólogo, etc.) en diversos campos (por ejemplo, arquitectura, ingeniería civil, ingeniería de sistemas, ingeniería ambiental, ingeniería industrial, ingeniería de alimentos, hotelería y turismo, ingeniería de vías, entre otras que, asociadas a restricciones de la planta de personal autorizada por ley, obliga en ocasiones a que un funcionario asuma varios cargos de funciones relativamente comunes). También, se debe agregar que las políticas internas de la FAC para la administración de personal hacen que, en promedio, cada dos o tres años se realicen traslados de personal militar entre las Unidades, lo que dificulta la continuidad de los procesos de gestión y transferencia de conocimiento.

La falta de estandarización y formalización del área logística, la multiplicidad de servicios, la rotación y el déficit de personal, la ausencia de información y estadística de la gestión logística, la débil comunicación y la desconexión con el cliente interno respecto a sus necesidades y expectativas, hacen que la estructuración del presupuesto y la administración de los inventarios de los almacenes no se proyecten sobre la

base de las necesidades reales para sustentar la operación en cada vigencia.

Por último, surge la inquietud por saber si se puede lograr la estandarización del proceso “Logística de servicios” en el nivel táctico de la FAC, a partir del diseño y la utilización de un *software* desarrollado con la metodología DT como base de su operación. El propósito es que permita generar información oportuna y útil para que los comandantes del área logística proyecten el plan y la estrategia logística (Antún-Callaba y Ojeda-Toche, 2004), con base en la toma de decisiones alineadas con la necesidad de optimizarla en cuanto a la administración del personal de la especialidad, el presupuesto y demás recursos para satisfacer las necesidades y expectativas del cliente interno.

Para lograrlo, es necesario hacer un diagnóstico funcional del comportamiento logístico en cada una de las Unidades Militares Aéreas, con el fin de identificar las condiciones particulares y las variables críticas que sirvan de insumo para diseñar y desarrollar el prototipo del *software* y la documentación de apoyo necesaria desde el punto de vista funcional y técnico. La estandarización del proceso logístico permite recopilar, almacenar, procesar y generar información pertinente que fluya siguiendo la dinámica de un sistema de gestión del conocimiento que les permita a los diferentes niveles del mando afinar las variables críticas, a fin de tomar decisiones oportunas basadas en hechos y datos que provean de “inteligencia” a la institución (Bolaños *et al.*, 2015). La siguiente sección presenta la metodología de la investigación realizada.

Metodología

El origen de la metodología DT se le atribuye a la Universidad de Stanford (2010a), y fue posteriormente masificada a nivel mundial por Tim Brown (cofundador y presidente de la empresa IDEO). En la actualidad, esta metodología es reconocida como una herramienta de gran utilidad que supera el concepto somero de la intervención desde el punto de vista de la estética e imagen del producto. Es considerada y aplicada en

circunstancias de diseño de productos o servicios, solución de problemas o mejoramiento de procesos, y se basa principalmente en vincular, desde el inicio de la situación, el pensamiento de diseño centrado en satisfacer las necesidades y expectativas del usuario final, considerando incluso sus emociones (Meinel *et al.*, 2015).

La metodología DT plantea el desarrollo iterativo de cinco pasos que se pueden resumir en frases cortas que no solo explican en esencia de qué se trata cada uno de estos pasos, sino que también invitan a la reflexión sobre la importancia y utilidad de estos en su aplicación: 1) Empatizar: “Para crear innovaciones significativas, necesitas conocer a tus usuarios y preocuparte por sus vidas”; 2) Definir: “Enmarcar el problema correcto es la única forma de crear la solución adecuada”; 3) Idear: “No se trata de tener la idea correcta, se trata de generar la más amplia gama de posibilidades”; 4) Prototipo: “Construye para pensar y prueba para aprender”; 5) prueba: “Las pruebas son una oportunidad para aprender sobre su solución y su usuario” (Universidad de Stanford, 2010b). A continuación, se describen los principales resultados de la implementación de la metodología.

Resultados

La implementación de la metodología DT (Universidad de Stanford, 2010a), para pasar de manera ordenada del pensamiento de diseño al desarrollo del prototipo del *software* propuesto, permite la posibilidad de retroceder y avanzar de una etapa a la otra y así afinar los detalles de la solución pensada en el usuario final, con la cual se logra evidenciar el cumplimiento del objetivo de la investigación.

Design thinking - Fase n.º 01: Empatizar

En la identificación de los actores y las partes interesadas en la operación del proceso logístico no aeronáutico, se propician espacios de interacción para el desarrollo del futuro prototipo o solución del *software* a partir del cual se estandariza y optimiza la logística

no aeronáutica para el beneficio del usuario final y de la institución (Meinel *et al.*, 2015).

El punto de partida de la etapa “Empatizar” se da con la estructuración de un formato de requisición de información dirigido a las diecisiete Unidades Militares Aéreas. Con este formato, se recolectó, de manera rápida y masiva, la información detallada y específica concerniente a los bienes y/o servicios (tipo, cantidad, modalidad de ejecución y dependencia responsable de su gestión); así como la identificación en cada Unidad de los funcionarios con quienes se podría entablar una línea directa de comunicación, al considerar la idoneidad que les otorga el conocimiento que tienen de la operación.

En paralelo con la solicitud, la recepción y el análisis de la información que remitió cada una de las diecisiete Unidades Militares Aéreas, se tuvo como iniciativa complementar el esfuerzo con unas visitas presenciales para poder interactuar con los clientes internos y los funcionarios encargados de la operación del proceso logístico no aeronáutico. Para el ejercicio, se seleccionaron únicamente las siguientes Unidades de la guarnición de Bogotá D.C., teniendo en cuenta aspectos como la cercanía, el tiempo de dedicación al proyecto y los costos de desplazamiento: Base Aérea Comando de la Fuerza Aérea Colombiana (BACOF), Comando Aéreo de Mantenimiento (CAMAN) y Comando Aéreo de Transporte Militar (CATAM).

En consecuencia de lo anterior, en cada una de las visitas realizadas, y aprovechando los atributos y beneficios que ofrece la metodología DT, se utilizaron herramientas y técnicas complementarias como observación, entrevistas y experimentación, con el fin de obtener la información necesaria para moldear lo mejor posible la situación problemática a partir del entendimiento del entorno, las partes interesadas y la realidad del proceso logístico no aeronáutico, como punto de partida para la construcción de la mejor alternativa de solución.

Como primer resultado de esta etapa, se presenta una caracterización de los actores o partes interesadas del proceso, así como el rol que en un momento dado pueden desempeñar en el marco de la situación problemática:

- **Comandante Unidad Militar Aérea:** Corresponde al cargo que lidera la Unidad y espera los bienes y/o servicios no aeronáuticos en la calidad, cantidad y oportunidad necesarias.
- **Responsable del proceso:** Corresponde al cargo que lidera el proceso logístico no aeronáutico en la Unidad, encargado de realizar las gestiones para proveer los bienes y/o servicios no aeronáuticos.
- **Comandantes de Escuadrón (Instalaciones / Telemática / Servicios):** Corresponde al cargo que lidera cada uno de los Escuadrones, que desde su perspectiva deben cumplir los requerimientos y las necesidades del cliente interno.
- **Funcionarios de cada Escuadrón:** Son todas y cada una de las personas que, de acuerdo con su profesión o campo de formación, cumplen los requerimientos del cliente interno.
- **Proveedor de bienes y/o servicios:** Son las personas naturales o jurídicas que proveen bienes y/o servicios no aeronáuticos.
- **Usuario final o cliente interno:** Corresponde a todos los funcionarios de la FAC del nivel táctico, que realizan requerimientos necesarios de bienes, servicios y personal no aeronáutico.

El segundo resultado, o producto de la etapa “Empatizar” de la metodología DT, corresponde al inventario, la tipificación y la caracterización de los bienes y servicios que son de responsabilidad del proceso en cada una de las diecisiete Unidades Militares

Aéreas, en donde se obtuvo la siguiente información de manera general:

- Se identificaron 85 clases de servicios no aeronáuticos.
- Algunos servicios no aeronáuticos están registrados con diferentes nombres entre las Unidades Militares Aéreas.
- La responsabilidad en la prestación o entrega de algunos servicios no aeronáuticos varía o es diferente en la asignación de responsabilidad entre los Escuadrones (Instalaciones / Telemática / Servicios) entre las Unidades Militares Aéreas.
- No se tienen procedimientos que regulen la operación del proceso logístico no aeronáutico en las Unidades Militares Aéreas.
- Por la cantidad de clases de servicio no aeronáutico, se requiere gran cantidad de personal en diversas profesiones o áreas de conocimiento para cumplir de manera adecuada con las necesidades y expectativas del cliente interno.

El tercer resultado de esta fase, que contribuye significativamente al desarrollo del prototipo del *software*, se presenta en la Figura 1 (Henaó, 2021). El mapa de empatía es una herramienta que permitió la configuración de un perfil genérico sobre el cual se proyectó la visualización de los aspectos y las variables más importantes en el modelamiento de la situación problemática.



Figura 1. Mapa de empatía
Fuente: elaboración propia.

El trabajo hasta el momento trae como resultado importante la identificación y el establecimiento de canales de comunicación, confianza y empatía con los funcionarios y usuarios finales que, desde el rol que cada uno de ellos representa, facilitan el entendimiento de la operación y el funcionamiento del proceso logístico no aeronáutico. Lo anterior proporciona los elementos necesarios y constituye la base y el punto de partida para delinear y construir “una perspectiva compartida que guiará al equipo a través de las siguientes fases” (Homburg, 2013) de la metodología DT (“Definir”), en el marco del desarrollo del prototipo del *software* como eje central de la estandarización del proceso logístico no aeronáutico a nivel de las Unidades Militares Aéreas.

Design thinking - Fase n.º 02: Definir

La información obtenida en la primera fase (“Empatizar”) orienta el trabajo hacia la siguiente fase, en la que se hace necesario delinear y estructurar el problema de la manera más clara y real posible, a fin de que se visualicen los aspectos y las consideraciones relevantes

para la generación de las alternativas de solución. Por lo anterior y siguiendo con la misma línea de trabajo, se construye un mapa mental que se complementa conceptualmente con el análisis de situaciones bajo la estructura DOMPI (doctrina - organización - material - personal - infraestructura), que la FAC emplea con el propósito de facilitar la estructuración del problema a través de la visualización de los datos (Figura 2).

Esta fase de la aplicación de la metodología DT deja como principal resultado la delimitación del problema en categorías de gestión que se enmarcan alrededor de las variables DOMPI. De manera conjunta con la relación de causas y efectos, esta fase permite establecer y priorizar las líneas de trabajo necesarias para atender y proponer las alternativas de solución para la estandarización del proceso logístico no aeronáutico, desde las perspectivas funcional y técnica que se requiere considerar en el desarrollo del *software*.

El entendimiento del comportamiento del proceso, el conocimiento de las necesidades y expectativas de los actores involucrados en el proceso y de los usuarios finales como resultado del análisis, y las conclusiones extraídas de la información recolectada en la

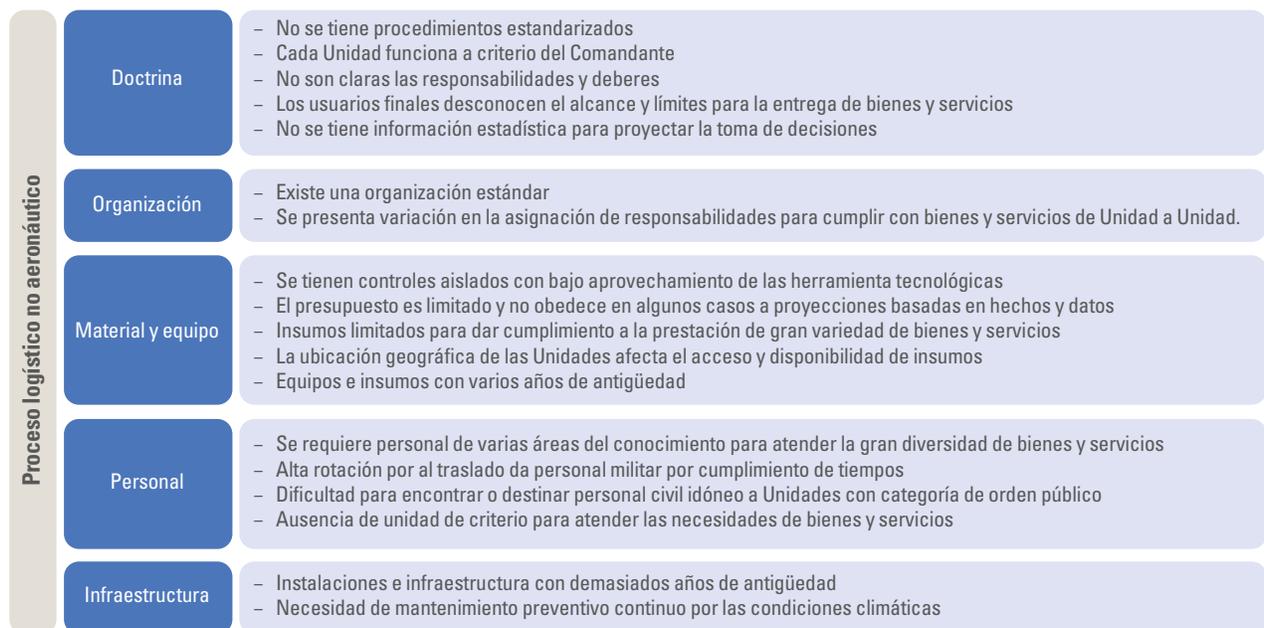


Figura 2. Análisis DOMPI
Fuente: elaboración propia.

primera fase “Empatizar”, permitieron identificar y caracterizar particularidades, variables críticas, restricciones, capacidades y aspectos comunes y diferentes que, en conjunto, orientan el esfuerzo para construir el punto de vista de la perspectiva compartida del proyecto que se denomina “hoja de ruta” (Figura 3).

En consecuencia, la hoja de ruta marca las premisas sobre las cuales se deberán desarrollar las “ideas” de la posible alternativa de solución que resuelva la situación problemática alrededor de la estandarización del suministro de bienes y servicios no aeronáuticos que involucra la iniciativa para el desarrollo del prototipo del *software* desde el punto de vista funcional y técnico.

Design thinking - Fase n.º 03: Idear

En esta fase de la metodología, se tiene la oportunidad de fomentar la “inspiración” y se estimula el proceso

creativo del equipo de trabajo con enfoque en las necesidades y expectativas de los usuarios y clientes del proceso logístico no aeronáutico. Esto con el fin de generar ideas innovadoras orientadas al desarrollo de la primera versión del prototipo del *software* y que, de manera consecuente e iterativa, se pueda ir puliendo hasta alcanzar la mejor solución posible a la situación problemática definida en la fase anterior (Brown, 2019; Meinel *et al.*, 2015).

Las personas que hacen parte del equipo de trabajo fueron seleccionadas por el gerente del proyecto durante la ejecución de las fases “Empatizar” y “Definir”, teniendo en cuenta el rol que representan en el marco de la situación problemática, así como el grado de interés, iniciativa, cualidades y participación que demostraron en las actividades realizadas hasta el momento. Como complemento del factor clave de éxito ya definido, se consideró no desarrollar el proyecto de manera secuencial y aislada por perspectivas, sino convocar a partir de este momento, y de aquí en

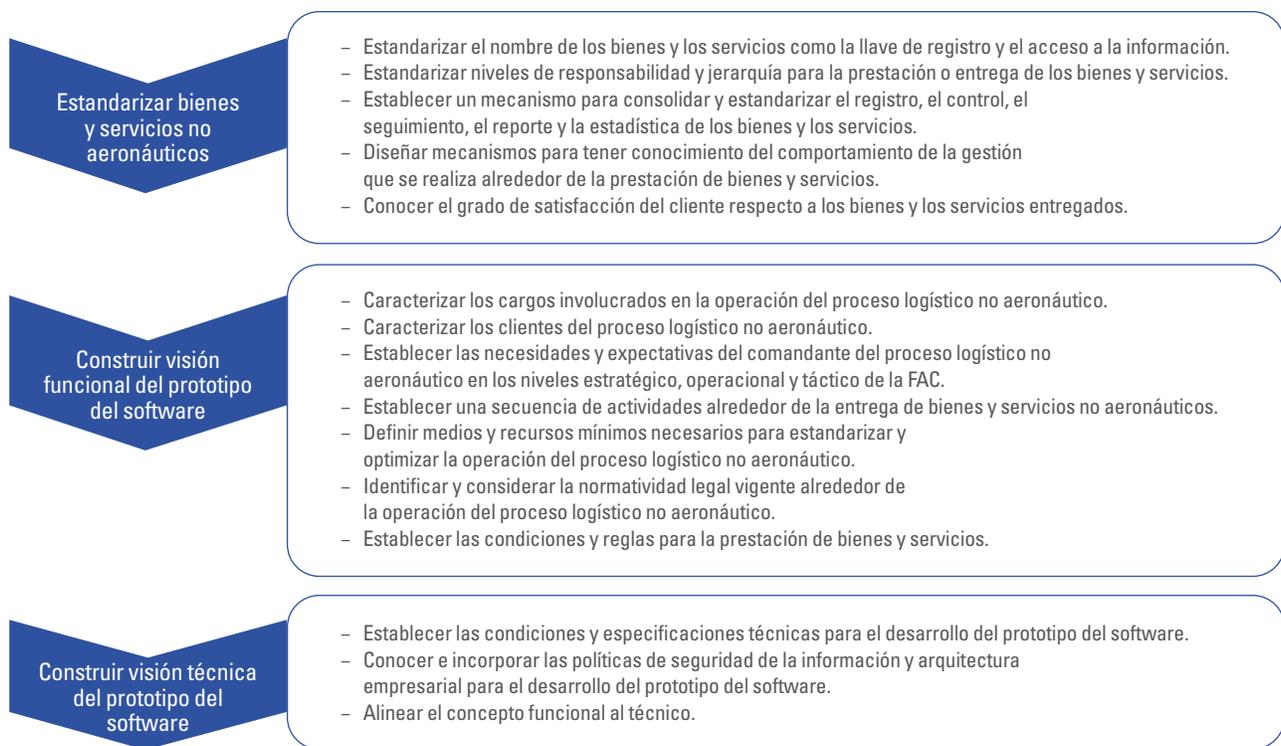


Figura 3. Hoja de ruta para construir las propuestas de solución

Fuente: elaboración propia.

adelante a lo largo de las siguientes fases de la metodología DT, la participación conjunta y permanente del equipo trabajo (Kelley y Brown, 2018).

El resultado de la correlación realizada para establecer las categorías sobre las cuales se debe enfocar el esfuerzo (Ponjuán, 2011), pensando en construir las ideas que satisfagan las necesidades y los requisitos identificados para el desarrollo del prototipo del *software*, se presenta en la Tabla 2.

En la Figura 4, se pueden apreciar los resultados de la correlación anterior. Se identifica que las variables de personal (29%), doctrina (27%) e información (20%) suman entre las tres el 76% del total del análisis, por lo cual constituyen las principales líneas de esfuerzo sobre las cuales se deben pensar y construir las ideas para el desarrollo del prototipo del *software* que permita estandarizar el proceso logístico no aeronáutico en las Unidades Militares Aéreas de la FAC.

Tabla 2.
Correlación entre mapa de empatía y análisis DOMPI

		Doctrina	Organización	Material y equipo	Personal	Información	Total
¿Qué hace?	Largas jornadas de trabajo	1			1		2
	Improvisación para cumplir	1		1	1	1	4
	Varias tareas al mismo tiempo	1	1		1		3
	Incumplir requerimientos	1	1	1	1	1	5
¿Qué dice?	Se necesita más tiempo para cumplir	1	1	1	1	1	5
	No se tienen insumos o materiales	1		1		1	3
	No se tiene personal suficiente o idóneo	1	1		1	1	4
	El comandante no sabe qué hacen sus operarios	1			1	1	3
¿Qué escucha?	Se cumplen a medias los requerimientos	1		1	1	1	4
	El usuario está insatisfecho	1		1	1		3
	La respuesta no es oportuna	1	1	1	1	1	5
	El servicio no es bueno	1		1	1	1	4
	Se podrían tercerizar servicios	1	1		1		3
	Es evidente el desorden y la falta de control	1			1	1	3
¿Qué piensay siente?	Sobrecarga de trabajo en los operarios	1	1		1		3
	No tengo apoyo del comandante	1			1		2
	El personal de operarios está cansado / desmotivado				1		1
	Se vive el día a día	1			1		2
	Falta de equidad en la asignación del trabajo	1			1	1	3
	Se siente presión para cumplir los requerimientos				1		1
	Mal ambiente de trabajo				1		1
¿Qué ve?	Falta de organización	1	1	1	1	1	5
	Falta de planeación	1		1	1	1	4
	No se prioriza	1		1	1	1	4
	Falta de personal de operarios en algunas áreas		1		1	1	3
	Esfuerzos de orden aislados	1			1	1	3
	No se tienen procedimientos	1				1	2
		23	9	11	25	17	

Fuente: elaboración propia.

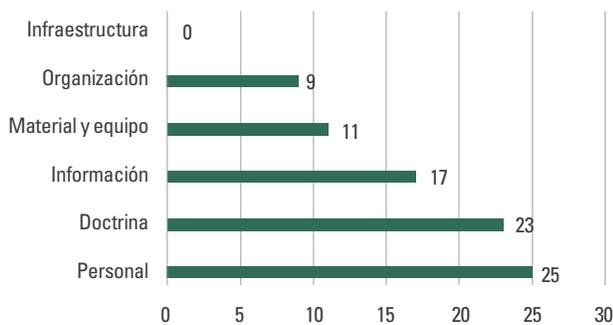


Figura 4. Resultados mapa de empatía vs. análisis DOMPI más información
Fuente: elaboración propia.

Así como se tomó de la primera fase el mapa de empatía, ahora se requiere aprovechar los conceptos de solución - DOMPI y los requisitos que se identificaron en la “hoja de ruta” como resultado importante de la fase de “Definición” de la situación problemática. Esta vez, se cruzan solamente con las variables críticas del análisis DOMPI + I (información) ya resuelto: personal, doctrina e información, a fin de medir el nivel de incidencia, relación, prioridad y énfasis que deben tener estas en el marco de la generación de las ideas para el desarrollo del prototipo del *software* que pueda resolver la situación problemática identificada.

Tabla 3.
Correlación entre hoja de ruta propuesta de solución y variables críticas de análisis DOMPI

	Doctrina	Personal	Información
Estandarizar el nombre de los bienes y servicios como la llave de registro y el acceso a la información.			1
Estandarizar niveles de responsabilidad y jerarquía para la prestación o entrega de los bienes y servicios.	1	1	1
Establecer un mecanismo para consolidar y estandarizar el registro, el control, el seguimiento, el reporte y la estadística de los bienes y servicios.	1		1
Diseñar mecanismos para tener conocimiento del comportamiento de la gestión que se realiza alrededor de la prestación de bienes y servicios.	1		1
Conocer el grado de satisfacción del cliente respecto a los bienes y servicios entregados.	1		1
Caracterizar los cargos involucrados en la operación del proceso logístico no aeronáutico.	1	1	1
Caracterizar los clientes del proceso logístico no aeronáutico.	1		1
Establecer las necesidades y expectativas del comandante del proceso logístico no aeronáutico en los niveles estratégico, operacional y táctico de la FAC.	1		1
Establecer las necesidades y expectativas del cliente en la prestación de bienes y servicios no aeronáuticos.	1		1
Establecer una secuencia de actividades alrededor de la entrega de bienes y servicios no aeronáuticos.	1		
Definir medios y recursos mínimos necesarios para estandarizar y optimizar la operación del proceso logístico no aeronáutico.		1	1
Identificar y considerar la normatividad legal vigente alrededor de la operación del proceso logístico no aeronáutico.	1		
Establecer las condiciones y reglas para la prestación de bienes y servicios.	1		
Establecer las condiciones y especificaciones técnicas para el desarrollo del prototipo del <i>software</i> .	1		
Conocer e incorporar las políticas de seguridad de la información y arquitectura empresarial para el desarrollo del prototipo del <i>software</i> .	1		
Alinear el concepto funcional al técnico	1		
	14	3	10

Fuente: elaboración propia.

Los resultados expuestos en la Figura 5 representan gráficamente los resultados de la Tabla 5. Al respecto, se determinó que de las tres variables clave identificadas inicialmente (personal, doctrina e información), solo dos de ellas (doctrina e información) constituyen el eje central sobre el cual se deben enfocar y construir las ideas de la posible solución de la situación problemática.

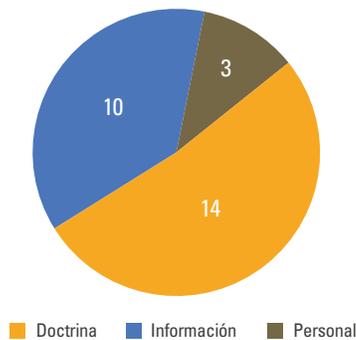


Figura 5. Efecto de los conceptos de solución (hoja de ruta - análisis DOMPI)
Fuente: elaboración propia.

Como resultado final del trabajo realizado en esta fase de la metodología, a continuación se presentan las ideas más significativas que surgieron como resultado de la aplicación de un proceso iterativo (Madrigal, 2018), en el que se construye una idea nueva y mejorada a partir de las observaciones realizadas por los usuarios en la versión de la idea anterior, con el fin de presentar tantas ideas como sea posible para dar solución a la situación problemática mediante el desarrollo del prototipo del *software*:

Idea n.º 01: Logística no aeronáutica dispuesta al cambio

Software con un nivel tecnológico básico que permite la estandarización del proceso logístico no aeronáutico en las Unidades Militares Aéreas de la FAC. Mediante la creación e implementación de un procedimiento que utiliza como eje principal la presencia y funcionalidad de un nuevo cargo denominado “administrador del *software*”, sobre el cual recae el flujo de información y registro de los requerimientos de bienes

y servicios no aeronáuticos, mediante la utilización del registro manual y físico de las transacciones, en un formato del cual se extrae la información para alimentar el *software* en cada una de sus fases de ejecución. En la fase final, como punto de control obligatorio para cerrar cada caso, se establece la firma y evaluación de la satisfacción del cliente como principal insumo para detectar fallas y emprender acciones de mejoramiento continuo para el proceso.

Idea n.º 02: Logística no aeronáutica para evolucionar

Software con un nivel tecnológico intermedio que permite la estandarización del proceso logístico no aeronáutico en las Unidades Militares Aéreas de la FAC. Mediante la creación e implementación de un procedimiento que, a diferencia de la idea anterior, no centra su funcionamiento en el rol del administrador del *software*; por el contrario, propone el flujo de trabajo en línea por cada uno de los actores y responsables de su ejecución. Aprovecha la interacción con otros sistemas y bases de datos institucionales básicos, como el directorio activo de personal, para poner a disposición de los funcionarios del proceso logístico y del usuario final la posibilidad de registrar en línea el trámite de los requerimientos de bienes y servicios no aeronáuticos. Así, deja la respectiva trazabilidad digital y física el desarrollo de su fase final en el formato establecido, a fin de garantizar la firma y evaluación de la satisfacción del cliente como principal insumo para detectar fallas y emprender acciones de mejoramiento continuo en el proceso.

Idea n.º 03: Logística no aeronáutica de visión futura

Software con un nivel tecnológico mayor que permite la estandarización del proceso logístico no aeronáutico en las Unidades Militares Aéreas de la FAC. Mediante la creación e implementación de un procedimiento, en el flujo en línea por cada uno de los actores y responsables de su ejecución, involucra la interacción con otros sistemas y bases de datos institucionales y externas,

como el directorio activo (personal) y el SAP (inventario de almacenes), para poner a disposición de los funcionarios del proceso logístico y del usuario final la posibilidad de registrar en línea el trámite de los requerimientos de bienes y servicios no aeronáuticos. Así, deja la respectiva trazabilidad completamente digital, en la que se incluye registro de costos de los insumos utilizados, costos de cada orden de servicio, reporte de actualización de hoja de vida de instalaciones, vehículos, equipo de cómputo; y en su fase final, la firma y evaluación de la satisfacción del cliente en línea como principal insumo para detectar fallas y emprender acciones de mejoramiento continuo para el proceso.

Design thinking - Fase n.º 04: Prototipar

La metodología DT tiene como premisa la creación de prototipos, con la intención de aprender de las fortalezas y debilidades de una idea sin la necesidad de esperar hasta el final del desarrollo del proyecto para conocer sus resultados. La generación de prototipos solo debe demandar el tiempo, el esfuerzo y la inversión que sean necesarios para conocer, en pruebas de ejecución y observación por los usuarios del producto, los atributos positivos y negativos de una idea. Este desarrollo se realiza a partir de un proceso iterativo de mejoramiento de ideas, en el que cada versión ofrezca nuevas direcciones, bondades y beneficios que los prototipos puedan tomar como parte de la construcción de la propuesta de solución más aproximada para la situación problemática (Kelley y Brown, 2018).

Construir los prototipos implica la necesidad de transformar las ideas en una realidad tangible, en la que los usuarios finales pueden ver e interactuar con una visión del *software* que permita responder a preguntas que nos acerquen a la solución final en el marco de un proceso iterativo. En consecuencia y para este proyecto, el equipo de trabajo utilizó la representación gráfica de las ideas desarrolladas, con el fin de construir el prototipo de cada una de ellas, lo cual permitió desarrollar múltiples ejercicios de juego de roles para establecer los requisitos funcionales y técnicos en un alcance determinado, así como: niveles

de responsabilidad, roles de usuario, flujo de información, y documentos y registros mediante los cuales se pueda evaluar y decidir por la mejor idea para dar solución y trámite a la situación problemática (Fernández, 2020).

Cada una de las tres ideas definidas en la fase anterior exige desarrollar los prototipos que permitan interactuar con la idea, y así conocer, de la manera más rápida y económica, las ventajas y desventajas técnicas y funcionales que pueden ofrecer frente a la situación problemática, sin comprometerse de forma anticipada con alguna de ellas, razón por la cual los siguientes prototipos para el desarrollo del *software* se dejaron a consideración y análisis de los usuarios finales:

Prototipo - idea n.º 01: Logística no aeronáutica dispuesta al cambio

En la Figura 6, se puede apreciar el prototipo construido de manera gráfica para la idea n.º 01 que incorpora, además, el flujo del proceso que se da alrededor de la creación del nuevo rol organizacional denominado “administrador del *software*”. En este nuevo rol, se concentra la mayor responsabilidad del flujo de información y manejo del *software* por la interacción que maneja con los demás actores del proceso, a fin de mantener actualizado el sistema de información logística que oriente la toma de decisiones enfocadas como mecanismo de respuesta y solución a la situación problemática.

Otra de las características de este prototipo es que tiene asociado un tráfico alto de manejo de información de tipo manual, que obliga a la gestión física del formato en el que se captura la mayor parte de información del ciclo del proceso, y esta, de manera posterior, es incorporada en el *software* para su procesamiento y utilización.

Prototipo - idea n.º 02: Logística no aeronáutica para evolucionar

Este prototipo, presentado en la Figura 7, representa la idea n.º 02 que, a diferencia de la anterior, no depende de la figura del administrador del *software* y fue

construido con la intención de aprovechar la ejecución y el flujo digital de información a lo largo de la ejecución del proceso, a través de la gestión directa sobre la herramienta de cada uno de los actores involucrados en su cumplimiento. Esto sin descartar el uso del formato físico en la fase de prestación del servicio, por considerarlo relevante a la luz de la cultura institucional, y dejar la trazabilidad y visto bueno sobre el uso de materiales y la evaluación de la satisfacción del cliente en el cierre del ciclo del proceso para la toma de decisiones logísticas.

A continuación, se presentan algunos ejemplos de las pantallas que fueron diseñadas para el prototipo del *software* que, en principio, quedó bautizado como “Sistema de Administración Logístico”. La Figura 8 es una imagen de la pantalla que les permite a los clientes internos registrar sus requerimientos bajo el manejo de campos obligatorios con la información necesaria para direccionar la gestión del producto o servicio requerido al Escuadrón correspondiente (Instalaciones - Telemática - Servicios), según la competencia que tenga sobre tal.



Figura 6. Prototipo gráfico idea n.º 01
Fuente: elaboración propia.



Figura 7. Prototipo gráfico idea n.º 02
Fuente: elaboración propia.

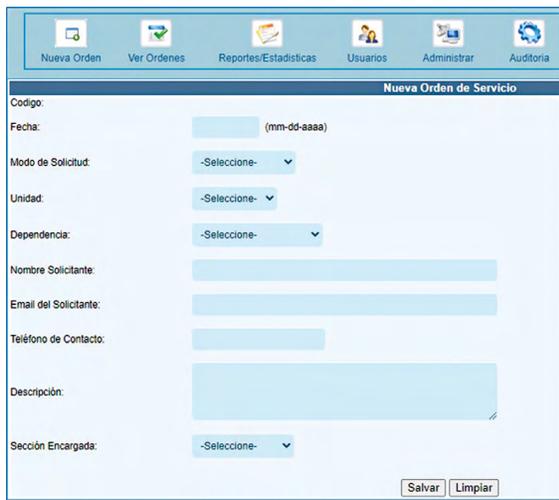


Figura 8. Diseño de pantallas del prototipo del *software* para la idea n.º 02
Fuente: elaboración propia.

En la Figura 9, se presenta una propuesta de la pantalla construida para la idea n.º 02, que trata de la proyección de un módulo que permite la generación de información en tiempo real de la gestión y el trámite de las órdenes de servicio mediante las cuales se marca la trazabilidad de los productos y/o servicios entregados al usuario final y a las partes interesadas.

Es pertinente aclarar que esta pantalla (Figura 9) funciona para las ideas n.º 02 y n.º 03, ya que su

contenido depende de la información que arrastra de la base de datos del *software*, con independencia de la manera en que esta es generada y cargada en la aplicación como producto de la gestión de los actores involucrados en el proceso logístico no aeronáutico de la FAC.

Prototipo - idea n.º 03: Logística no aeronáutica de visión futura

La Figura 10 representa el prototipo de la idea n.º 03 que, a diferencia de los dos primeros, fue construido con la idea de aprovechar al 100 % la ejecución y el flujo digital de la información a lo largo de la ejecución del proceso, a través de la gestión y acción directa sobre la herramienta por parte de cada uno de los actores involucrados en su cumplimiento. Lo anterior, incorporando de manera adicional en la operación de una de sus fases la interacción automática y en línea con otros sistemas de información y bases de datos, mediante los cuales se puede vincular y cruzar información de proveedores, personal y materiales, que al final de la cadena pueda generar el costo de cada orden de trabajo y la actualización automática de las hojas de vida de los activos intervenidos en la prestación o entrega de bienes y servicios.



Figura 9. Diseño de pantallas del prototipo del *software* idea n.º 02 y n.º 03 - Indicadores
Fuente: elaboración propia.

En vista de los resultados anteriores, la “idea - prototipo” seleccionada para continuar con la segunda etapa de la fase de pruebas fue la que denominamos antes como “Logística no aeronáutica para evolucionar”, considerando que dentro de su proceso de evaluación tuvieron alto grado de significancia los siguientes factores:

- Las ideas n.º 01 y n.º 02 presentan resultados similares en las condiciones que cada una requiere

para su implementación desde la perspectiva funcional, la perspectiva técnica y el tiempo de solución. Sin embargo, la rentabilidad y el efecto de solución que se obtiene con la idea n.º 02 son mayores con sustento en la eliminación del rol de administrador del *software* y en el flujo de información mixto (físico y electrónico), que permite mayor trazabilidad, confiabilidad y generación de reportes más rápidos y en línea.

Tabla 4.
Comparativo de los resultados de la evaluación de las tres ideas / prototipos

Componentes de la idea	Idea n.º 01							Idea n.º 02							Idea n.º 03						
	Condición	PF	PT	TS	R	ES	T	Condición	PF	PT	TS	R	ES	T	Condición	PF	PT	TS	R	ES	T
Establecer un procedimiento para reglamentar la prestación o entrega de los servicios de apoyo logístico no aeronáutico	Actividades, responsabilidades, reglas - condiciones	6	6	6	6	6	30	Actividades, responsabilidades, reglas - condiciones	6	6	6	6	6	30	Actividades, responsabilidades, reglas - condiciones	6	6	6	6	6	30
Establecer el mecanismo para la recepción o el registro de la solicitud de bienes y servicios de apoyo logístico no aeronáutico	Requerimientos por teléfono, requerimientos presenciales, requerimientos por oficio, requerimientos por correo electrónico Registro del requerimiento en el <i>software</i> a través del administrador del <i>software</i>	6	6	6	1	1	20	Registro del requerimiento en el <i>software</i> directamente por el cliente en línea y automático	6	6	6	3	3	24	Registro del requerimiento en el <i>software</i> directamente por el cliente en línea y automático	3	6	3	6	3	21
Estandarizar y mantener actualizada la base de datos de bienes y servicios de apoyo logístico no aeronáutico	Automáticos, en línea	6	6	6	6	6	30	Automáticos, en línea	6	6	6	6	6	30	Automáticos, en línea	6	6	6	6	6	30
Establecer y mantener actualizada la base de datos del personal de “Operarios” del proceso logístico no aeronáutico	Consulta de información en otro <i>software</i> , información de terceros, asignación y registro de personal manual, registro en formato físico	6	6	6	3	1	22	Interfaz con otro <i>software</i> , información de terceros, asignación y registro de personal en línea	6	6	6	3	3	24	Interfaz con otro <i>software</i> , información de terceros, asignación y registro de personal en línea	6	6	6	3	3	24

Continúa

Componentes de la idea	Idea n.º 01							Idea n.º 02							Idea n.º 03						
	Condición	PF	PT	TS	R	ES	T	Condición	PF	PT	TS	R	ES	T	Condición	PF	PT	TS	R	ES	T
Establecer y mantener actualizada la base de datos de los "Clientes" del proceso logístico no aeronáutico	Consulta de información en otro <i>software</i> , registro del cliente en el <i>software</i> a través del administrador del <i>software</i>	6	6	6	3	1	22	Interfaz con otro <i>software</i> , registro del cliente en <i>software</i>	6	6	6	6	6	30	Interfaz con otro <i>software</i> , registro del cliente en <i>software</i>	6	6	6	6	6	30
Establecer y mantener actualizado el inventario de insumos y materiales necesarios para la prestación de los servicios de apoyo logístico no aeronáutico	Consulta de información en otro <i>software</i> Asignación y registro de material manual Registro en formato físico	6	6	6	3	1	22	Consulta de información en otro <i>software</i> Asignación y registro de material manual Registro en formato físico	6	6	6	3	1	22	Interfaz otro <i>software</i> , asignación y registro de material en línea en el <i>software</i>	3	1	1	3	6	14
Generar reportes y estadísticas concernientes a la prestación de bienes y servicios de apoyo logístico no aeronáutico	Automáticos, en línea	6	6	6	3	3	24	Automáticos, en línea	6	6	6	3	3	24	Automáticos, en línea	6	6	6	6	3	27
Establecer el mecanismo y las condiciones para evaluar la satisfacción del cliente respecto a la prestación de bienes y servicios de apoyo logístico no aeronáutico	Calificación del cliente manual, registro en formato físico	6	6	6	1	1	20	Calificación del cliente manual, registro en formato físico	6	6	6	1	1	20	Calificación del cliente en línea	1	6	3	6	3	19
Establecer indicadores para evaluar la gestión del proceso logístico no aeronáutico	Automáticos, en línea	6	6	3	6	6	27	Automáticos, en línea	6	6	3	6	6	27	Automáticos, en línea	6	6	3	6	6	27
		54	54	51	32	26	217		54	54	51	37	35	231		43	49	40	48	42	222
		217							231						222						

Fuente: elaboración propia

- El alcance del proyecto en términos del tiempo que se requiere para poner a punto e implementar la propuesta de solución que permita la estandarización del proceso logístico no aeronáutico en el nivel táctico de la FAC.
- Las condiciones funcionales y técnicas para las ideas n.º 01 y n.º 02 son similares respecto al alcance de desarrollo e implementación del proyecto que se requiere ejecutar de manera alineada con el entorno y la cultura institucional a corto y a mediano plazo, con el fin de minimizar el efecto de la resistencia al cambio y así sentar bases sólidas para evolucionar el prototipo a una mejor versión a largo plazo.
- Si bien es cierto que la idea n.º 03 presenta un resultado cuantitativo mayor en términos de la rentabilidad, también requiere un mayor grado de inversión respecto al tiempo que se necesita

para su desarrollo, así como dinero y personal por ser una propuesta de solución más avanzada en tecnología que la idea n.º 02 (seleccionada). A esto se suma un alto pronóstico de resistencia al cambio e incertidumbre de los resultados esperados por la gestión y los permisos que se requieren para desarrollar el proyecto completamente en línea con otros sistemas de información y bases de datos que sobrepasan el alcance del proyecto en términos del tiempo de solución e implementación.

- La dificultad para tener los permisos y el acceso a otros sistemas de información y bases de datos con los cuales el prototipo del *software* pueda interactuar para obtener los resultados previstos en esta alternativa de solución.

En la segunda etapa de la fase de pruebas, el equipo de trabajo diseñó la aplicación de una prueba piloto de la idea n.º 02 “Logística no aeronáutica para evolucionar” para ser ejecutada en el Grupo de Apoyo Logístico del CATAM, ubicado en la ciudad de Bogotá D.C. Para ello, se creó, durante una semana, un escenario paralelo de la ejecución del proceso logístico, sometiendo a interacción y prueba el prototipo por parte de los usuarios finales en su condición de actores del proceso e incluso algunos clientes que tuvieron la oportunidad de tramitar y recibir bienes y servicios bajo la alternativa de solución propuesta.

Este trabajo permitió conocer algunas observaciones de carácter técnico y funcional que dieron pie al inicio de un proceso iterativo (Mendoza *et al.*, 2019), mediante el cual se aplicaron algunos cambios y mejoras al planteamiento de la idea n.º 02, entre las cuales se pueden resaltar las siguientes:

- Funcional: Incluir una actividad para el rol del comandante del proceso logístico denominada “recibir y validar requerimientos”. Este comandante es quien debe efectuar el primer filtro de autorización para la prestación de bienes y entrega de servicios no aeronáuticos, a fin de garantizar el cumplimiento de las políticas del proceso y la adecuada administración de los recursos de cara

a las restricciones y necesidades proyectadas a corto, mediano y largo plazo.

- Funcional: Se incluyó una actividad / punto de control denominada “cerrar la orden de trabajo”, en cabeza del rol del comandante de Escuadrón, quien debe garantizar el cumplimiento de las órdenes de servicio, obtener sin excepción la evaluación de la satisfacción del cliente y emitir los informes de cumplimiento y gestión.
- Técnico: Se incluyó en las especificaciones del *software* la configuración de una plantilla genérica mediante la cual se estandarice el formato de las órdenes de servicio con posibilidad de diligenciamiento en línea e impresión.

En consecuencia, las pruebas y los ajustes realizados desde el punto de vista funcional y técnico definieron la versión del *software* a construir a partir de la idea n.º 2, que mejora la solución de la situación problemática mediante las siguientes características:

- Procedimiento con alcance funcional y técnico que reglamenta la prestación o entrega de los servicios de apoyo logístico no aeronáutico.
- Recepción y registro de las solicitudes de bienes y servicios logísticos no aeronáuticos por parte del cliente en línea, con garantía de obtener la información mínima y completa para garantizar su atención.
- Diseño del estándar de la plantilla de las órdenes de servicio considerando las particularidades de los servicios y productos de mayor frecuencia e importancia.
- Base de datos de bienes y servicios de apoyo logístico no aeronáutico estandarizada y con la definición plena de la responsabilidad para su cumplimiento.
- Base de datos del personal de “operarios” del proceso logístico no aeronáutico vinculada en el *software* para asociación en línea a las órdenes de servicio.
- Vínculo al *software* de la base de datos de los “clientes” del proceso logístico no aeronáutico para asociación en línea a las órdenes de servicio.

- Vínculo al *software* de la base de datos de los almacenes logísticos (inventario de insumos y materiales necesarios para la prestación de los servicios de apoyo logístico no aeronáutico), con el fin de asociarlos en línea a los órdenes de servicio.
- Establecer la trazabilidad, los reportes y las estadísticas concernientes a la prestación de bienes y servicios de apoyo logístico no aeronáutico.
- Evaluación de la satisfacción del cliente en formato físico generado por el *software* respecto a la prestación de bienes y servicios de apoyo logístico no aeronáutico.
- Establecer indicadores para evaluar la gestión del proceso logístico no aeronáutico.

El esfuerzo realizado en el desarrollo del *software* alineado con el desempeño funcional permitió afinar y dejar a punto la versión del *software* sobre la cual inicia gradualmente el proceso de capacitación, entrenamiento, implementación y entrada en operación, primero, en las cinco Unidades Militares de la Guarnición de Bogotá D.C., y después, en el despliegue hacia las doce Unidades restantes para materializar la propuesta de solución construida a fin de estandarizar el funcionamiento del proceso logístico en el nivel táctico de la FAC.

Finalizando esta etapa, se cumple el objetivo del proyecto con la entrada en operación del prototipo del *software*, que fue materializado en el resultado final de la aplicación gradual y secuencial de la metodología DT mediante la cual se proyecta, en un primer esfuerzo, la estandarización de la operación del proceso logístico no aeronáutico en las diecisiete Unidades Militares de la Fuerza Aérea con la capacidad de ofrecer información en línea y en tiempo real al nivel operacional, a fin de facilitar la toma de decisiones alineadas en los dos niveles del mando. El propósito es establecer procesos de planeación logística organizados que, sin lugar a dudas, orienten una gestión esmerada en aprovechar al máximo los recursos, reducir los desperdicios, motivar al personal del proceso, y obtener la satisfacción de las necesidades y expectativas de los clientes y las partes interesadas, a partir del suministro de los bienes y servicios que apoyan la realización de las operaciones

aéreas y el funcionamiento de las Unidades Militares Aéreas a lo largo y ancho del país.

Una consideración importante del resultado de este proyecto es que, a través de la aplicación iterativa de la metodología DT, se sentaron las bases y los lineamientos que orientan a mediano y a largo plazo un gran potencial de mejoramiento y crecimiento del *software*. De tal modo, incorporando mejoras tecnológicas (Rosales *et al.*, 2019) que faciliten la interacción con otros sistemas de información, el *software* puede alinearse con sistemas de costos y presupuesto de manera simultánea con la operación del proceso, en el marco avanzado de una cultura organizacional orientada al logro de la eficiencia, eficacia y efectividad continuas del proceso logístico no aeronáutico de la FAC.

Conclusiones

El desarrollo del prototipo del *software* para la estandarización y optimización del proceso logístico no aeronáutico de la FAC fue desarrollado mediante la aplicación de la metodología DT, por medio de la ejecución de las cinco fases asociadas a su estructura: (1) Empatizar, (2) Definir, (3) Idear, (4) Prototipar y (5) Probar. Lo anterior permitió, de manera sistemática y organizada, identificar el contexto de la situación problemática en el cual se enfocaron los esfuerzos para la construcción de la propuesta de solución centrada en satisfacer las necesidades y expectativas del usuario final y las partes interesadas en general.

Como factor clave de éxito en el desarrollo del proyecto del prototipo del *software* para la estandarización y optimización del proceso logístico no aeronáutico de la FAC, se considera la conformación de un equipo de trabajo interdisciplinario que tuvo como premisa fundamental la construcción de conocimiento alrededor de la aplicación conjunta de la visión técnica, funcional y de usuario final en cada una de las fases de la metodología DT. Es importante resaltar los beneficios de la utilización de la metodología DT en este tipo de proyectos, toda vez que permitió incorporar, en el desarrollo de cada una de sus fases, la aplicación de

herramientas y metodologías complementarias como: observación, juego de roles, mapas mentales, mapa de empatía, árbol de problemas y *benchmarking*, entre muchas otras, con lo cual se aseguraron los productos esperados de cada fase en correcta alineación con el resultado exitoso del proyecto.

La aplicación de la fase de “Empatizar” en el proyecto permitió construir el contexto general y el diagnóstico del comportamiento del proceso logístico no aeronáutico en las Unidades Militares Aéreas. Esto permitió identificar las particularidades y variables críticas que fueron claves en la construcción de la propuesta de solución más viable desde el punto de vista funcional y técnico para resolver la situación problemática.

Materializar las ideas por medio de prototipos sencillos y de bajo costo contribuyó a la generación de espacios en donde se facilitó la interacción con el usuario final, con el fin de validar si las propuestas de solución que se están proyectando pueden satisfacer o no las necesidades y expectativas que fueron marcadas en las primeras fases de la metodología DT. De esa manera, a través de un proceso iterativo, se siguieron puliendo y mejorando de tal modo que cada propuesta de solución se acerque lo más posible al resultado esperado dentro del alcance del proyecto.

Tener el apoyo del responsable del proceso logístico no aeronáutico de la FAC desde el inicio permitió el desarrollo exitoso del proyecto. Al final de este primer ciclo, deja como resultado general la hoja de ruta para su implementación y un potencial de desarrollo y ampliación de aplicaciones a mediano y a largo plazo para continuar el despliegue de una gestión orientada a lograr la eficiencia, eficacia y efectividad de la operación logística.

Referencias

- Antún-Callaba, J. P. y Ojeda-Toche, L. (2004). “Benchmarking” de procesos logísticos. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 5(1), 59-76. <https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2004.05n1.005>
- Bolaños Castro, S. J., Lopez Bello, C. A. y Mendez Giraldo, G. A. (2015). La logística como estrategia para proveer de inteligencia a las organizaciones. *Redes de Ingeniería*, 6. <https://doi.org/10.14483/2248762x.8497>
- Brown, T. (2019). Design thinking. *Harvard Business Review*. <https://readings.design/PDF/Tim%20Brown,%20Design%20Thinking.pdf>
- Cámara de Comercio de Bogotá. (2019). *Design thinking en el sector fintech: una forma de pensar para innovar*. <https://bibliotecadigital.ccb.org.co/handle/11520/22730>
- Carroll, N. y Richardson, I. (2016). Aligning healthcare innovation and software requirements through design thinking. *Proceedings International Workshop on Software Engineering in Healthcare Systems, SEHS 2016*, pp. 1-7. <https://doi.org/10.1145/2897683.2897687>
- Castiblanco Jiménez, I. A., Mauro, S., Napoli, D., Marcolin, F., Vezzetti, E., Rojas Torres, M. C., Specchia, S. y Moos, S. (2021). Design thinking as a framework for the design of a sustainable waste sterilization system: The case of Piedmont Region, Italy. *Electronics (Switzerland)*, 10(21). <https://doi.org/10.3390/electronics10212665>
- Delgado Huerta, J., Vargas Cirilo, H. R., Marnique Ortega, T. P. y Osorio Céspedes, E. J. (2021). *Aplicación de Design Thinking para el diseño de un modelo de gestión del impacto social y medioambiental para empresas del sector industrial: Plan para la dirección del proyecto basado en la guía del PMBOK* (tesis de grado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas). <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/656676?show=full>
- Fernández Iglesias, M. J. (2020). *Prototipado rápido en Design Thinking*. <https://doi.org/10.17605/OSF.IO/JWNRA>
- Fuerza Aérea Colombiana (FAC). (2020). *Estrategia para el Desarrollo Aéreo y Espacial de la Fuerza Aérea Colombiana 2042*. FAC. <https://www.fac.mil.co/sites/default/files/2021-04/edaes.pdf>
- Henaó Santa, J. D. (2021). *El design thinking y el mapa de empatía con énfasis social en proyectos de ingeniería: proyectos de diseño en soluciones bajo metodologías ágiles de la Institución Universitaria Pascual Bravo* (tesis de maestría, Universidad Eafit), pp. 1-58. <https://repository.eafit.edu.co/handle/10784/29578>
- Homburg, C., Schafer, H. y Schneider, J. (2012). *Sales Excellence: Systematic Sales Management (Management for Professionals 18)*. Springer.
- Meinel, C., Leifer, L. y Plattner, H. (2015). *Design Thinking Research - Building Innovators*. Springer.

- Mejía-López, J. A., Ruiz-Guzmán, O. A., Gaviria-Ocampo, L. N. y Ruiz-Guzmán, C. P. (2019). Aplicación de metodología *design thinking* en el desarrollo de cortadora automática CNC para mipymes de confección. *Revista IIS Ingenierías*, 18(3), 157-168. <https://doi.org/10.18273/revuin.v18n3-2019016>
- Mendoza, G. E., Laureano de Jesús, Y., Somodevilla García, M. J. y Pérez de Celis Herrero, M. C. (2019). Minería de datos como herramienta de prevención de muertes que involucran violencia intrafamiliar en la sociedad mexicana. *Innovaciones tecnológicas en las ciencias computacionales* (M. del C. Santiago Díaz, coord.; pp. 75-87). Montiel & Soriano Editores.
- Pavetto, E. S., Alonso, L. P. J., Sartor, J., & Cecilia, M. (2009). *Universidad Nacional del Litoral Facultad de Humanidades y Ciencias*. 2, 1-2.
- Plattner, H. (2018). *An introduction to Design Thinking*. Process guide. Institute of Design at Stanford. <https://web.stanford.edu/~mshanks/MichaelShanks/files/509554.pdf>
- Ponjuán Dante, G. (2011). La gestión de información y sus modelos representativos. *Valoraciones. Ciencias de La Información*, 42(2), 11-17. <https://www.redalyc.org/pdf/1814/181422294003.pdf>
- Rosales Chávez, J., Cruz López, L., Domínguez Arce, D. y Parra Castrillón, J. E. (2019). Las rutas posibles de los proyectos de innovación: un análisis de casos. *Ingenierías USBMed*, 10(1), 58-67. <https://doi.org/10.21500/20275846.3819>
- Rosas Madrigal, G., Ruiz González, S., Martínez Hernández, N. O., Cantú Rodríguez, M. de la L. y Enríquez de León, A. (2018). *Manual de Design Thinking*. http://www.utsc.edu.mx/vi-daEstudiantil/pdf/pdf_pades/manual_design_thinking.pdf
- Serrano Ortega, M. y Blázquez Ceballos, P. (2015). *Design thinkers: líder el presente, crea el futuro*. ESIC Editorial.
- Universidad de Stanford. (2010a). *Introducción al pensamiento de diseño. Guía de proceso*. Instituto de Diseño Universidad de Stanford.
- Universidad de Stanford. (2010b). *Una introducción a la guía del proceso del pensamiento de diseño*. Instituto de Diseño Universidad de Stanford.
- Tschimmel, K. (2012). *Design thinking as an effective toolkit for innovation* (ponencia). XXIII ISPIIM Conference: Action for Innovation: Innovating from Experience.
- Vásquez Gutiérrez, J. D. (2018). *Desarrollo de una aplicación móvil que permita la interacción paciente-médico-especialista en poblaciones de áreas rurales de Colombia* (tesis de maestría, Universidad Pontificia Bolivariana). <https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/4104>

Diseño conceptual de un banco de pruebas estático para motores de cohetería tipo G y K

| Fecha de recibido: 08 de noviembre 2021 | Fecha de aprobación: 30 de junio 2022 |

Luisa Fernanda Mónico Muñoz

Doctor en Sistemas Propulsivos en Medios de Transporte

Docente. Fundación Universitaria Los Libertadores
Colombia

Rol del investigador: teórico

Grupo de investigación en diseño, análisis y desarrollo de sistemas de ingeniería - GIDAD

<https://orcid.org/0000-0002-3597-6332>

✉ luisitamonico@gmail.com

Andrés Felipe Rodríguez Ramírez

Ingeniero Aeronáutico

Fundación Universitaria Los Libertadores
Colombia

Rol del investigador: teórico y escritura

<https://orcid.org/0000-0002-1134-5317>

✉ afrodriguezr04@libertadores.edu.co

Robinson Higuera Hernández

Ingeniero Aeronáutico

Fundación Universitaria Los Libertadores
Colombia

Rol del investigador: teórico y escritura

<https://orcid.org/0000-0001-6007-9943>

✉ rhiguerah@libertadores.edu.co

Jaime Enrique Orduy Rodríguez

Magíster en Ingeniería Aeroespacial

Docente. Fundación Universitaria Los Libertadores
Colombia

Rol del investigador: teórico

Grupo de investigación en diseño, análisis y desarrollo de sistemas de ingeniería - GIDAD

<https://orcid.org/0000-0003-1818-0639>

✉ jeorduyr@libertadores.edu.co

Cómo citar este artículo: Adriano Falcão, V., Assunção da Silva, F. A., Ferreira da Silva, F. G., Rosa Negri, N. A., Oliveira de Andrade, M., & Queiroz Júnior, H. S. (2022). Contribution of international air transport at the entrance of COVID-19 in Brazil. *Ciencia y Poder Aéreo*, 17(2), 120-133. <https://doi.org/10.18667/cienciaypoderaereo.737>



Diseño conceptual de un banco de pruebas estático para motores de cohetes tipo G y K

Resumen: El presente documento expone el proceso metodológico seguido para el diseño de un banco de pruebas estático para motores de cohetes tipo G y K. Como punto de partida se realizó un estudio detallado de los bancos existentes para este tipo de motores, los componentes que lo conforman y las variables que pueden controlar durante su funcionamiento. Por medio de una lluvia de ideas y aplicando la casa de la calidad se plantearon 6 diferentes conceptos de bancos. De lo anterior, fue posible establecer que el acero inoxidable, gracias a sus propiedades físicas y mecánicas, es el material aconsejable para la construcción del BEMCO, ya que soporta los esfuerzos generados por este. Bajo los conceptos globales fue posible identificar las cargas estáticas a las cuales estará sometido el motor, y las cargas dinámicas cuando este se encuentre en operación, adicionalmente, fue posible realizar la selección de los componentes básicos con los que deberá contar el banco. Finalmente, se estableció que la mejor opción es el concepto número 1, ya que cumple con los requerimientos solicitados por el cliente.

Palabras clave: banco de pruebas; motor cohete; parámetros operacionales; combustible sólido.

Conceptual design of a static test bench for type G and K rocket engines

Abstract: This document exposes the methodological process followed for the design of a static test bench for rocket motors type G and K. As a starting point, a detailed study of the existing benches for this type of motors, the components that make it up, was carried out. and the variables they can control during their operation. Through brainstorming and applying the house of quality, 6 different bank concepts were proposed. From the above, it was possible to establish that stainless steel, thanks to its physical and mechanical properties, is the recommended material for the construction of the BEMCO since it supports the efforts generated by it. Under the global concepts it was possible to identify the static loads to which the motor will be subjected, and the dynamic loads when it is in operation, additionally, it was possible to select the basic components that the bench should have. Finally, it was established that the best option is concept number 1, since it meets the requirements requested by the client.

Keywords: test bench; rocket engine; operational parameters; fuel solid.

Projeto conceitual de um banco de teste estático para motores tipo G e K rocketry

Resumo: Este documento expõe o processo metodológico seguido para o projeto de uma bancada de testes estática para motores foguete tipo G e K. Como ponto de partida, foi realizado um estudo detalhado das bancadas existentes para este tipo de motores, os componentes que a compõem, e as variáveis que podem controlar durante sua operação. Através de brainstorming e aplicação da casa da qualidade, foram propostos 6 conceitos bancários diferentes. Do exposto, foi possível estabelecer que o aço inoxidável, graças às suas propriedades físicas e mecânicas, é o material recomendado para a construção do BEMCO, pois suporta os esforços gerados por ele. Sob os conceitos globais foi possível identificar as cargas estáticas às quais o motor será submetido, e as cargas dinâmicas quando estiver em operação, além disso, foi possível selecionar os componentes básicos que a bancada deverá ter. Por fim, foi estabelecido que a melhor opção é o conceito número 1, pois atende aos requisitos solicitados pelo cliente.

Palavras-chave: bancada de testes; motor de foguete; parâmetros operacionais; combustível sólido.

Introducción

Un banco de pruebas sirve para medir las prestaciones y emisiones contaminantes de los diferentes sistemas de propulsión que transforman algún tipo de energía en trabajo, bajo ciertas situaciones controladas, ya que permiten tener un registro de su comportamiento tanto en las condiciones normales de funcionamiento como en las situaciones extremas. Es importante conocer la finalidad y propósitos del desarrollo de un banco de pruebas, ya sea para producción, investigación o rectificación; y así mismo las pruebas por realizar como ensayos de potencia, control de temperaturas, flujos máxicos, emisiones contaminantes, entre otros (Pamplona, 2007).

Universidades y empresas enfocadas en el campo aeroespacial cuentan con vehículos autopropulsados con ascenso vertical. Para potencializar sus procesos de investigación, en ocasiones, tienen la necesidad de diseñar y construir su propio banco de pruebas para motores cohete, con el objetivo de analizar el comportamiento del sistema antes de su posible lanzamiento.

En Colombia, los diseños de coherería actualmente se encuentran en sus etapas iniciales de estudio y desarrollo, un claro ejemplo son las investigaciones en planteles del sector educativo y gubernamental, como la Universidad Nacional de Colombia, la cual ha trabajado en un diseño de banco de pruebas estático para motores cohete que proporcionen un empuje de 1000 N (Rojas, 2015). Por su parte, en la Universidad de San Buenaventura, se realizó un estudio cuyo objetivo fue el diseño y construcción de un motor cohete propulsado por combustible sólido para generar 800 N de empuje. La construcción y el lanzamiento del cohete llevó a comprobar que Colombia tiene ventajas en los campos geográfico y astronómico para facilitar el lanzamiento de artefactos, ya que se encuentra bajo la órbita sincrónica geoestacionaria, que es una órbita circular situada en el plano ecuatorial terrestre (Reina, 2010).

Adicionalmente, se diseñó y construyó un banco de ensayo estático para los motores cohete, que permitiría variar variables como la presión y el empuje para

modificar las condiciones operativas (González, 2011). El banco de pruebas se diseñó con una celda de carga y un transductor de presión cuya función principal era la de obtener los datos precisos del motor en prueba. En la Universidad de los Andes se llegó a realizar el estudio de la factibilidad de la primera misión colombiana en lanzamiento de un cohete hasta la estratósfera. La propulsión de este cohete (Ainkaa 1) se basó en combustión sólida llamada “Candy”, usando como base tecnológica y científica en trabajos anteriores la simulación del cohete por *software* (Rocksims). Para el banco de pruebas se empleó tubería *Koll Roll* de ½ pulgada para su ensamble, quedando en forma triangular para realizar mediciones de rendimiento de motor mediante una célula de carga hidráulica con un manómetro de 0 a 100 psi (Urrego, 2012).

Unos años más adelante se realizó el lanzamiento de la misión colombiana de coherería experimental con propulsión líquida llamado Seneca VI. En el que ponen a prueba el motor cohete PUA I1-6S 2000n. Para el ensayo mediante banco de pruebas, se utilizó el UCAND-1, capaz de soportar una carga de 10000kN y determinar variables de empuje, presión y temperatura, visualizando en tiempo real los datos almacenados para ser consultados en el futuro y mejorar resultados (Longas, 2013). UCAND-1 fue el primer modelo realizado por la Universidad de los Andes de Colombia, experimentado en proyectos que se mencionaron anteriormente, en donde se determinan las variables de presión y temperatura en el interior de la cámara de combustión y empuje generado por el motor rediseñado (Rojas, 2012). Se realizó un rediseño para los modelos UCAND-2 y 3, con el objetivo de cumplir la mejora de atributos de calidad y estética.

Bancos de pruebas

Los bancos de pruebas para motores cohete se denominan BEMCO, es un elemento esencial para el desarrollo y caracterización de un motor cohete. Si se pone en marcha un motor sin probar en un cohete se corre el riesgo de que pueda tener fallas durante el vuelo, por eso es esencial que un motor cohete sea probado en un BEMCO antes de su lanzamiento (Parczewski 's, 2016).

Una forma de clasificar los BEMCO es por la forma de ubicar el motor cohete. En la figura 1 se observa la ubicación del motor cohete en posición horizontal, y en la figura 2 el motor cohete en posición vertical, con la tobera hacia abajo, en esta configuración es necesario prever un deflector de la llama para que esta no impacte en el suelo, siendo esta forma de diseño la más utilizada en CEA (cohetería experimental amateur). Otra configuración es el motor cohete ubicado de forma vertical con la tobera hacia arriba, pero no es muy usada esta clase de diseño, como se observa en la figura 3 (Parczewski´s, 2016).

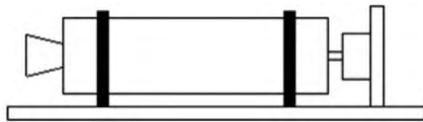


Figura 1. Banco estático tipo horizontal
Fuente: Gonzáles (2011).

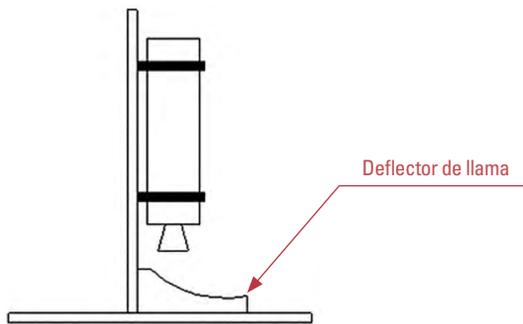


Figura 2. Banco estático tipo vertical con la tobera hacia abajo
Fuente: Gonzáles (2011).

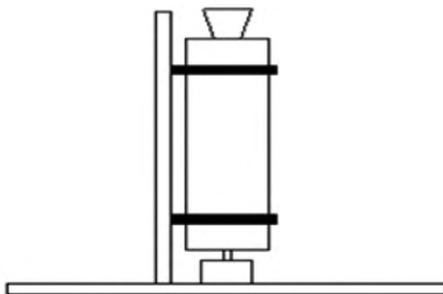


Figura 3. Banco estático tipo vertical con la tobera hacia arriba
Fuente: Gonzáles (2011).

Motores de combustible sólido

Los cohetes que usan motores de combustible sólido suelen estar desarrollados con la intención de generar altos empujes y eficiencias considerables durante un breve periodo de tiempo, en el que se genere el empuje necesario para romper su inercia y obtener una aceleración cuya velocidad sea lo suficiente para llegar incluso a orbitar la tierra, o simplemente elevarlo hasta determinada altura (Nakka, 2015).

Los motores tipo G y K son de apariencia simple e inherentes, con pocos componentes y una única mezcla de propelente sólido dentro de la cámara de combustión, el desempeño de estos motores es determinado por la naturaleza y la forma geométrica del propelente, y la continuidad del quemado. Estos motores por su sencillez son muy utilizados en las áreas: militar, académica, amateur, *boosters* espaciales y unidades de propulsión de las aeronaves (Correa, 2009).

Este tipo de motores se componen básicamente por una cámara de combustión tobera propulsiva y el grano propelente. En la figura 4 se observan las partes del motor cohete, este tipo de motores son utilizados en misiles (Sutton, 2001).

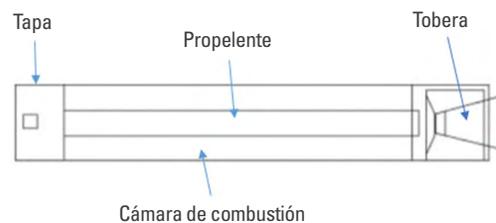


Figura 4. Motor cohete
Fuente: Sutton (2001).

Existen diferentes tipos de motores cohete experimental, se pueden clasificar según sus características principales, como el empuje y la presión. Los motores cohete también se pueden clasificar según sus dimensiones, como la longitud de la tobera y la longitud del cuerpo del cohete. Los motores de combustible sólido son los más usados en cohetería experimental por su económica fabricación.

Metodología

Este trabajo se realizó bajo la metodología analítica, que abarca la descomposición de definiciones, funcionamiento y análisis de parámetros que se vayan a utilizar en el BEMCO (De La Peña, 2011).

Este proyecto incluye una primera fase donde se realiza la búsqueda de información sobre motores de cohería experimental y el diseño detallado del banco de pruebas para estos. La segunda fase incluye un desarrollo ingenieril, donde se realiza el diseño conceptual, que está compuesto por tres etapas interrelacionadas: análisis funcional, que tiene como objetivo identificar las funciones a realizar por el producto. Generación de conceptos, está basado en aclarar el problema de diseño, generando ideas por medio de procesos creativos. Evaluación y selección del concepto global dominante, una vez generados los diferentes conceptos, se evalúan y se comparan. Se aplica la casa de calidad para evaluar los procesos. Finalmente se realiza un control de calidad por medio de la misma herramienta, para garantizar la calidad del BEMCO.

Diseño conceptual del BEMCO

El primer paso es identificar los “requerimientos iniciales de diseño” o “requerimientos del cliente”. Después de establecer las necesidades, se procede a realizar el diseño conceptual del producto, teniendo en cuenta tres etapas fundamentales, el análisis funcional, con el fin de identificar las funciones y subfunciones que deberá ejecutar el BEMCO y organizarlas de un modo lógico; generación de conceptos, y, por último, se realiza la evaluación de cada concepto. Los conceptos se evaluarán teniendo en cuenta los requerimientos del cliente. El resultado principal de esta fase es la selección de un concepto global dominante o diseño conceptual final de un banco de pruebas para motores cohete tipo G y K, siendo el objetivo principal de este trabajo.

Requisitos del banco

Como punto de partida, se realizó una encuesta para definir y establecer las necesidades y/o aspectos para tener en cuenta en el desarrollo del BEMCO, el resultado de la encuesta se observa en la figura 5. Por otro lado, en la figura 5a se muestran las características que se consideran debe tener el banco. Las respuestas presentadas son las que tuvieron mayor calificación por parte de los encuestados, siendo estas: forma, ergonomía y la capacidad de soportar cargas, sumando más del 50 % de la calificación total de la encuesta. En la figura 5b, más del 40 % de los encuestados estuvieron de acuerdo en que la presión en la tobera de escape y el flujo másico de aire son parámetros fundamentales que debe ser capaz de medir el BEMCO.

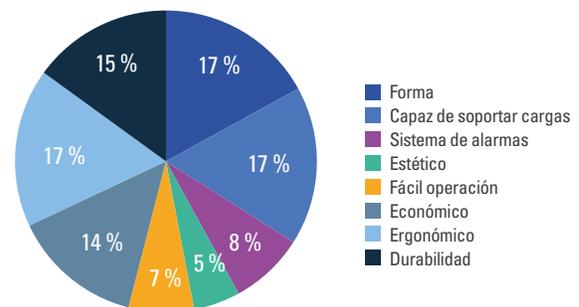


Figura 5a. Características físicas

Fuente: elaboración propia.

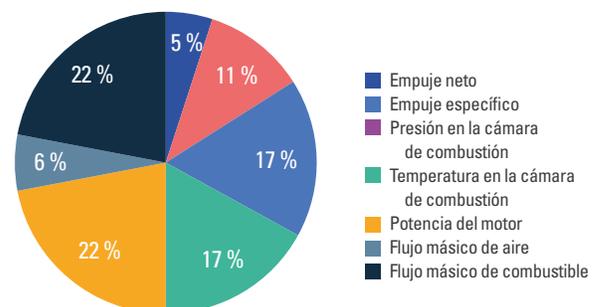


Figura 5b. Parámetros operativos

Fuente: elaboración propia.

Los requerimientos y parámetros tomados de la encuesta se calificaron por medio de su grado de importancia. La evaluación se realizó de la siguiente manera:

- Más del 20 % se calificó con un grado de importancia superior.
- Más del 15 % se calificó con un grado de importancia alto.
- Entre el 14 % y 15 % se calificó con un grado de importancia medio.
- Menos del 14 % se calificó con un grado de importancia bajo.
- Menos del 7 % se calificó con un grado de importancia muy bajo.

Posteriormente, en la tabla 1 se observa una lista de los parámetros y características que se escogieron como requerimientos del cliente, dado su nivel de importancia. Siendo superior (5), alto (4), medio (3), bajo (2) y muy bajo (1). Solo se tuvo en cuenta los requerimientos cuyo nivel de importancia estuvieran entre 3 y 5. Se descartaron los demás por tener un grado de importancia muy bajo.

Tabla 1.
Calificación de los requerimientos

Requerimientos	Calificación
Flujo másico de aire	5
Presión en la tobera de escape	5
Potencia del motor	4
Temperatura en la cámara de combustión	4
Forma	4
Capaz de soportar cargas	4
Ergonómico	4
Durabilidad	3
Económico	3

Fuente: elaboración propia.

Estudio conceptual

El diseño conceptual es la segunda fase del proceso de desarrollo de un producto, el cual permite identificar conceptos o principios de solución a un problema por

medio de la evaluación de las especificaciones o requerimientos del cliente. Un concepto se define como una idea que es suficientemente desarrollada y analizada para cumplir o brindar una solución a diferentes funciones. El diseño conceptual define en gran medida la calidad y los costos finales del producto (Ullman, 2008).

Análisis funcional

En la primera fase del diseño conceptual se desarrolla un análisis funcional, con el propósito de identificar las funciones y subfunciones que deberá ejecutar el producto por desarrollar. Para realizar el análisis funcional, se cuenta con dos herramientas básicas: el diagrama de caja negra y el árbol de descomposición funcional. El primero, ayuda a establecer las entradas y salidas de materiales, energías e información al producto que se diseñará. El segundo, comúnmente llamado diagrama funcional, es útil para organizar jerárquicamente y por categorías las distintas funciones y subfunciones a realizar por el producto (De La Peña, 2011). Esta descomposición funcional facilita la siguiente etapa del diseño conceptual, que es la generación de conceptos. A continuación, se observa en la figura 6 la caja negra desarrollada para el banco de pruebas.

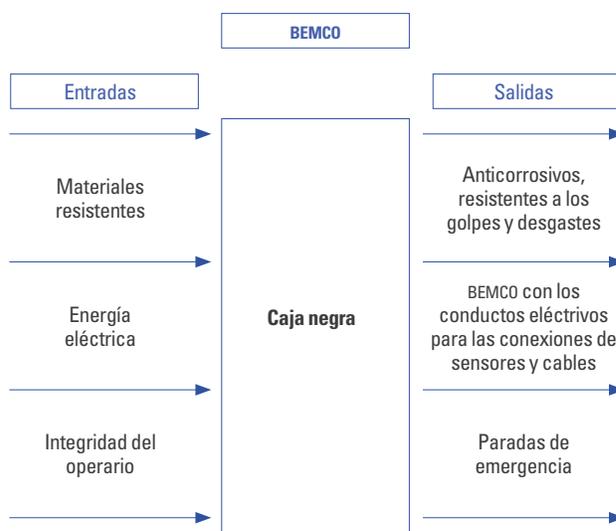


Figura 6. Caja negra
Fuente: elaboración propia.

Con el diagrama de caja negra, se estableció que los materiales que necesita el BEMCO deben tener propiedades anticorrosivas y resistentes a los golpes, daños o desgastes. También se obtuvo que el BEMCO debe tener paradas de emergencia para asegurar la integridad del operario.

Después de obtener las respuestas y entender qué interacciones son necesarias para el desarrollo conceptual del BEMCO, se realizó el diagrama funcional. En la figura 7 se presentan los requerimientos o requisitos iniciales del cliente, se evalúan y se obtienen las funciones y subfunciones que el BEMCO debe cumplir para satisfacer lo pactado inicialmente.

Para el despliegue funcional, se analizó cada requisito del cliente para poder encontrar una función clara, que cumpla con la solicitud de este.

- Medir parámetros del motor: está función brindará soluciones para poder medir el flujo másico de aire, presión en la tobera de escape, potencia del motor y temperatura en la cámara de combustión.
- Permitir fácil operación y fácil desplazamiento: la idea es tener un producto ergonómico.

- Soportar peso, vibraciones del motor y resistir temperaturas de operación: es importante tener un producto que sea capaz de soportar cargas y que sus materiales sean duraderos.
- Asegurar integridad del operario: esta función no cumple con ningún requerimiento del cliente, pero en el análisis de la caja negra, se obtuvo que es un parámetro muy importante para tener en cuenta, ya que se debe asegurar la integridad del operario del BEMCO.

En el despliegue funcional también se encuentran las subfunciones, las cuales permiten encontrar materiales, elementos, estructura, forma que brinda una respuesta para que cada función se ejecute de la forma más adecuada.

Generación de conceptos

La generación de conceptos corresponde a la segunda etapa del diseño conceptual, el cual está basado en aclarar el problema de diseño, desarticularlo en problemas más simples y luego buscar soluciones

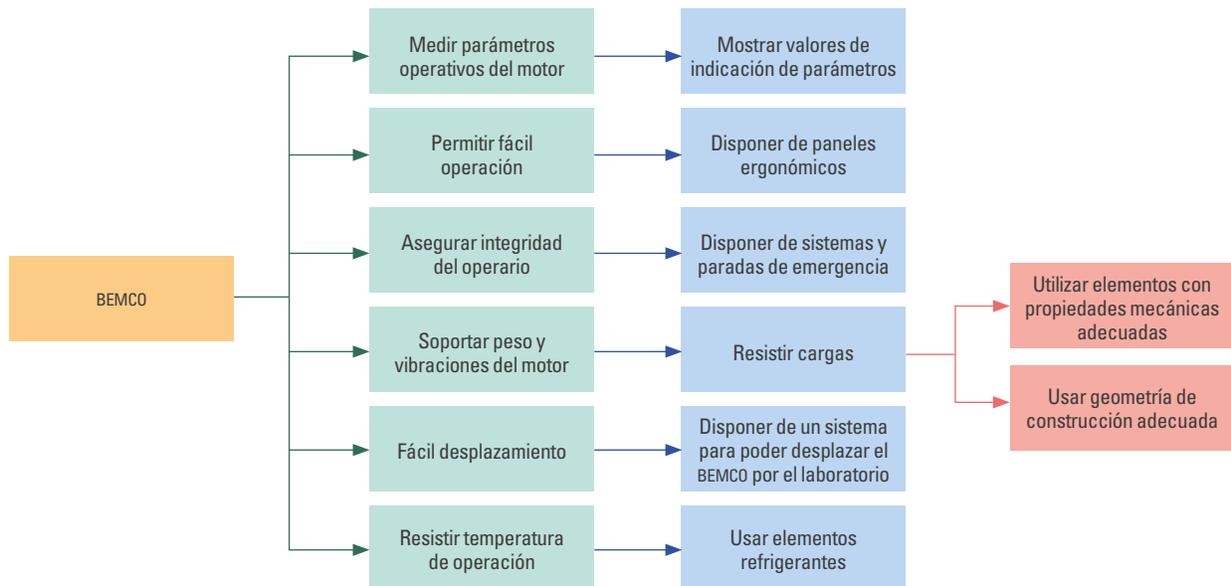


Figura 7. Diagrama o despliegue funcional del BEMCO
Fuente: elaboración propia.

parciales a cada uno de ellos. Las soluciones parciales se alcanzan por medio de un correcto mapeo desde las funciones y subfunciones, identificando los conceptos aplicables en cada caso (De La Peña, 2011).

La generación de conceptos se realiza siguiendo dos estrategias de búsqueda, la primera (búsqueda externa) basada en las experiencias, conocimientos, ideas y resultados logrados por otros. La segunda basada en la generación de conceptos endógenos del equipo de proyecto (búsqueda interna).

De la búsqueda externa, se escogieron ciertos materiales óptimos para el desarrollo del BEMCO, como también las posibles geometrías estructurales para la construcción de este. Para llevar a cabo la segunda estrategia de búsqueda es útil apoyarse en procesos o técnicas creativas relacionadas a la generación de conceptos (De La Peña, 2011).

Como técnica estratégica se utilizó la lluvia de ideas. Mediante esta técnica de creatividad se generaron los conceptos globales del BEMCO. Se desarrollaron seis ideas distintas, teniendo en cuenta los conceptos, definiciones, la experiencia obtenida durante la realización de este trabajo y consejos de personas que han tenido la posibilidad de trabajar en este tipo de proyectos. En la tabla 2 se listan los diversos conceptos que salieron de la lluvia de ideas, donde se destaca en la totalidad de los conceptos globales el uso del sistema UFE410FLEX, como sistema de desplazamiento para el BEMCO, siendo más opcional, económico y práctico que los otros conceptos generados para esta función. También el uso de un ventilador, como sistema de refrigeración, se consideró en todos los conceptos globales, ya que su instalación y mantenimiento es más sencillo y económico que el uso de un sistema de aire acondicionado. El sistema de emergencias, de igual manera, se consideró para todos los conceptos, ya que se busca siempre la seguridad de los operarios al presentar un sistema de emergencia para todos los conceptos, garantizando en gran parte la calidad del producto, siendo este para uso educativo. La celda de carga se seleccionó como único concepto para cumplir con el parámetro “medir potencia del motor” y, por ende, se encuentra en todos los conceptos globales. La celda de carga es una estructura diseñada para soportar cargas

de compresión, tensión y flexión, esta celda permite medir el empuje que genera el motor (Ertiza, 2019). Al obtener esta fuerza gracias a la celda de carga se facilita el cálculo de la potencia generada del motor, y de esta manera se cumple el requisito inicial. Este dispositivo será de tipo “s”, ya que este tipo de celdas se caracteriza por ser uno de los más precisos.

Tabla 2.
Lluvia de ideas

Lluvia de ideas						
Generación de conceptos	Concepto 1	Concepto 2	Concepto 3	Concepto 4	Concepto 5	Concepto 6
Caudalímetro	X	X	X	X		
Caudal compacto					X	X
Tubo Pitot	X		X	X	X	
Sensor de presión piezorresistivo		X	X			
Sensor de presión con salida digital						X
Celda de carga	X	X	X	X	X	X
Termistores	X		X		X	
Termopares		X	X	X		X
Botón pulsador manual	X	X	X	X		X
Botón pulsador de pie				X		
Interruptor de palanca					X	X
Perillas	X	X	X			
Sistema de emergencias	X	X	X	X	X	X
Acero inoxidable	X	X	X			X
Acero estructural				X	X	
Tipo vertical con la tobera hacia arriba		X				
Tipo vertical con la tobera hacia abajo	X		X	X	X	
Tipo horizontal						X
Sistema UFE410FLEX	X	X	X	X	X	X
Sistema de adquisición de datos	X	X	X	X	X	X
Ventilador	X	X	X	X	X	X

Fuente: elaboración propia.

Concepto 1

El uso de caudalímetros es el más común para mediciones de flujo másico, ya que proporciona una salida digital tanto para la cantidad total del caudal como para la velocidad del fluido, permite la medición con fluidos

agresivos y fluidos no conductores, incluidos los gases, ofrecen mediciones muy puntuales y su mantenimiento e instalación son sencillos y económicos (Villajulca, 2010). La selección del tubo Pitot se da por la facilidad que requiere su instalación y, sobre todo, porque se trata de una herramienta relativamente económica y que presenta diferentes modelos en cuanto al tamaño (Rodríguez, 2010). De hecho, se podría desarrollar el tubo Pitot de manera fácil y casera y sus pruebas de medición se podrían realizar en el túnel de viento.

Los termistores son dispositivos muy utilizados para medir temperaturas, en un amplio rango de valores. Su fácil acceso en el mercado, su economía y su variación de tipos, como termistores tipo perla, tipo sonda y axiales, los hacen muy atractivos para medir variaciones en la temperatura, son dispositivos tan buenos que destaca su uso en la electrónica de los automóviles (Mecafenix, 2018). En este concepto general se destaca el uso de botones pulsadores manuales y perillas, ya que su instalación es muy sencilla, y la forma de operarlos los hace muy viables para los requerimientos del cliente.

Se va a hacer uso de los tres conceptos para el sistema de emergencia, como se mencionó en la generación de conceptos, es importante que los tres estén en el BEMCO, ya que se necesita una ruta de señalización en la parte operativa y en la no operativa, para que las personas que no están capacitadas para su operación guarden una distancia, para evitar accidentes. Se dispondrá de una alarma contra incendios, ya que se trabajará con motores de combustible sólido y su mala operación puede ocasionar incendios. Por si algún dispositivo del BEMCO llegase a fallar, es importante tener un interruptor para apagar y/o finalizar la operación de manera urgente.

El acero inoxidable se consideró en este concepto y en la mayoría, primero por ser un material que no requiere de mucho mantenimiento, segundo por su gran resistencia al calor, resistencias mecánicas que soportan grandes pesos y vibraciones, gran durabilidad y resistencia a ambientes húmedos. La composición del acero inoxidable permite que la suciedad y agentes externos como el polvo y las bacterias no queden adheridos a la superficie (Rago, 2018).

La selección de la geometría del BEMCO tipo vertical, con la tobera hacia abajo se consideró ya que es la forma de diseño más usada en CEA. Se debe tener en cuenta que en este tipo de BEMCO se debe diseñar un deflector de llama, ya que esta impacta contra el suelo. Para las funciones “fácil desplazamiento y resistir temperaturas de operación” se dispuso de los sistemas más sencillos de instalar y de poco mantenimiento, como lo es el sistema UFE410FLEX que, comparándolo con un carro de desplazamiento, es mucho más pequeño y no requiere de constante mantenimiento, y un ventilador como sistema de refrigeración, ya que en el mercado se encuentran ventiladores pequeños, económicos y disponen de una instalación sencilla en comparación con un sistema de aire acondicionado, ya que su instalación es más compleja y costosa. El sistema de adquisición de datos se encuentra en todos los conceptos, ya que su uso es importante para recopilar, documentar y analizar toda la información obtenida por los sensores. Otro dispositivo que se encuentra relacionado con todos los conceptos es la celda de carga tipo “s”. Esta celda es un transductor de fuerza, es fácil de operar, posee gran adquisición en el mercado y aunque inicialmente está diseñado para medir “peso” puede usarse para medir distintas fuerzas (Rodríguez, 2001). En este caso será utilizado para medir el empuje que generan los dos distintos tipos de motor cohete, y con esta fuerza lograr calcular la potencia de los motores tipo G y K.

Concepto 2

En este concepto, a diferencia del concepto 1, destaca el uso de un sensor piezorresistivo, ya que dispone de diversas sensibilidades, siendo capaz de medir presiones altas y bajas. El sensor piezorresistivo es muy usado en los automotores para medir: nivel de aceite, nivel de gas, detección de presión de aire, entre otros. Es un sensor de bajo costo con tecnología avanzada en procesamiento, su instalación es sencilla y no requiere de costosos mantenimientos (Técnicos, 2004), lo que lo hace un dispositivo muy útil para el diseño del BEMCO.

También se destaca el uso de termopares, ya que es un instrumento industrial, demasiado económico, intercambiable, tiene conectores estándar y son

capaces de medir un amplio rango de temperaturas (Jalloul, 2014). Se consideró en este concepto el banco estático tipo vertical con la tobera hacia arriba, ya que se encuentran escasos diseños de este tipo de BEMCO, y sería una oportunidad para diseñar un producto que satisfaga las necesidades del cliente por ser innovador y escaso en el mercado.

Concepto 3

En este concepto se tuvo la idea de unir dos sensores de presión y dos sensores de temperatura, con el fin de poder generar no solo un diseño que cumpla con los requisitos del cliente y presentar un producto que tenga más funciones. Por ejemplo, que mida la temperatura en la cámara de combustión con un sensor y con otro distinto medir la temperatura de operación del motor, ya que los dos sensores tienen diferentes funciones, tamaños y operabilidad; entonces se analiza en cada área qué sensor es el más óptimo, presentando un diseño nuevo, innovador, preciso, de alcance y que cumpla con los requerimientos iniciales.

Concepto 4

En este concepto se destaca el uso de un pulsador manual y de pie, utilizados para activar y desactivar funciones del BEMCO; el pulsador de pie tiene como característica que si el operador tiene las manos ocupadas puede utilizar el botón de pie siendo muy útil y económico (Giovanny, 2015). Se seleccionó el acero estructural para este concepto, ya que es un material que puede soportar grandes esfuerzos y dar mayor seguridad a las estructuras, brinda ductilidad y tenacidad, el material puede sufrir deformidades sin romperse, siendo un aspecto para tener en cuenta, ya que el BEMCO debe soportar grandes vibraciones del motor. El acero estructural tiene como ventaja poder hacer uniones o conexiones mediante soldadura (Acero, 2016).

Concepto 5

Se consideró el caudal compacto ya que es un sensor que logra realizar mediciones directas de la velocidad

del flujo de aire y gases con dirección simultánea a la del flujo. El montaje de este sensor de caudal compacto resulta sencillo gracias a su compacta construcción en forma de tubo, y por ende fácil instalación (PCE, 2011). Estos sensores de flujo ofrecen durabilidad, fácil mantenimiento y monitorización de forma segura. En este concepto el interruptor de palanca reemplaza los pulsadores y perrillas, ya que este se utiliza en operaciones que requieren alta velocidad y puede ser de dos o tres posiciones, siendo una buena opción para el diseño del BEMCO (Giovanny, 2015).

Concepto 6

Se consideró el sensor digital de presión en este concepto, ya que se puede utilizar en diferentes profundidades y a grandes alturas. Dispone de un circuito integrado que permite mantener un modo de bajo consumo de energía eléctrica, con lo que puede ser utilizado en productos que deban operar durante largos periodos de tiempo (Alsina, 2019). Lo que lo hace útil para el BEMCO, si se considera que puede estar encendido extensos periodos de tiempo. El uso de interruptores de palanca combinado con botones pulsadores manuales se da ya que el botón puede complementar las funciones de la palanca y/o viceversa.

Se plantea el uso de una geometría del BEMCO tipo vertical, ya que al no poseer deflector de llama, es más sencilla su construcción considerando menos uniones de soldadura, pero sí se debe tener en cuenta una base (mesa) adicional.

Despliegue función de calidad y evaluación final

Es el método que permite, facilita y organiza los procesos de adquisición y análisis de la información necesaria para el desarrollo creativo de un producto. La QFD es la herramienta para desarrollar dicho método, está compuesta por varias regiones de trabajo por matrices de evaluación. En la matriz principal se evalúa el tipo de relación que se establece entre los requerimientos del cliente y las especificaciones de ingeniería, la cual puede ser fuerte, media o débil (De La Peña, 2011).

Evaluación

Se divide en tres secciones:

- **Importancia absoluta:** se obtiene multiplicando cada valor de la columna de importancia por cada relación funcional evaluada para los diferentes conceptos, luego de las multiplicaciones, se suman y de esta manera se obtiene la importancia absoluta de cada concepto respecto a los requerimientos iniciales.
- **Relación relativa:** se obtiene de la división de cada valor absoluto (relación absoluta) por el valor total de la suma de todos los valores absolutos, y esto multiplicado por cien.
- **La evaluación de ingeniería:** es la más importante, ya que define cuál concepto global tiene mayor importancia o el que mayor cumple con los requerimientos del cliente. Se realiza evaluando cada concepto global generado, teniendo en cuenta los valores numéricos de importancia relativa, se enumeran de mayor importancia (1) a menor importancia (5) (Mantilla, 2020).

En la tabla 3 se observa la QFD realizada para la evaluación de cada concepto. El concepto 1 tiene la importancia relativa más alta, su evaluación de ingeniería se enumeró con el número 1 dado que es el concepto global más importante en comparación con los demás conceptos. El segundo concepto que recibió la segunda calificación más alta fue el concepto 4, teniendo en cuenta su importancia relativa. Los conceptos 3 y 5, aunque tienen una evaluación distinta en las relaciones funcionales, obtuvieron un puntaje absoluto y relativo, similar, por eso los dos conceptos se evaluaron con el número 3 en importancia de ingeniería, y los dos conceptos con la evaluación de ingeniería más baja fueron los conceptos 2 y 6 con una respectiva importancia de ingeniería de 4 y 5 según los valores obtenidos en importancia absoluta y relativa. En el techo se observa la evaluación diferencial de cada concepto, encontrando así qué concepto puede o no complementar la idea del otro; se observa que el concepto 1 tiene una relación fuerte con el concepto 4, el 2 y el

6 tienen una relación fuerte entre ellos, aunque tiene una relación débil con los demás conceptos globales generados.

Tabla 3.
Casa de la calidad

Requisitos del cliente	Diseños conceptuales						
	Importancia	Concepto 1	Concepto 2	Concepto 3	Concepto 4	Concepto 5	Concepto 6
1 Flujo másico de aire	5	⊙	⊙	⊙	⊙	○	○
2 Presión en la tobera de escape	5	⊙	○	○	⊙	⊙	△
3 Potencia del motor	4	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
4 T. en la cámara de combustión	4	○	△	○	△	○	△
5 Forma	4	⊙	△	⊙	⊙	⊙	△
6 Capaz de soportar cargas	4	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
7 Ergonómico	4	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
8 Durabilidad	3	⊙	⊙	⊙	○	○	⊙
9 Económico	3	⊙	△	△	○	○	△
Evaluación							
Importación absoluta		172,0	126	150,0	152,0	150,0	106
Importación relativa %		25,1	18,4	21,9	22,5	21,9	15,5
Evaluación de ingeniería		1	4	3	2	3	5

Fuente: elaboración propia.

Análisis de resultados

Luego de desarrollar, analizar y evaluar cada idea en la casa de la calidad se logró comprender que el concepto número 1 tiene relaciones funcionales fuertes (5) en la

mayoría de los requerimientos, el uso de perillas y botones manuales lo hacen un diseño demasiado ergonómico, cumpliendo a cabalidad con el requerimiento “fácil operación”. Su estructura compacta en acero inoxidable hace que el BEMCO pueda resistir la corrosión, oxidación y altas temperaturas de operación, haciéndolo tener una relación fuerte con los requerimientos “capaz de soportar cargas” y “durabilidad”. Su geometría tipo vertical con la tobera hacia abajo, brinda la forma más práctica para estudiar el comportamiento del cohete y los parámetros del motor, ya que proporciona la posición exacta en la que son lanzados los cohetes aeroespaciales; por esto recibió una calificación de relación fuerte con el requerimiento “forma” (se debe tener en cuenta que para este tipo de geometría se debe construir un deflector de llama).

Los requerimientos “flujo másico de aire”, “presión en la tobera de escape” y “potencia del motor” tienen una relación fuerte con este concepto, ya que el uso del caudalímetro permite medir de una manera sencilla y precisa toda la masa de aire que entra al cohete, su uso comercial lo hace un elemento económico y de fácil mantenimiento, se destaca también en este concepto el uso del tubo Pitot como instrumento de medición, es bastante económico, fácil de implementar y adecuados para una gran variedad de condiciones ambientales, incluyendo temperaturas extremadamente altas, y una amplia gama de presiones, permitiendo cumplir el segundo alcance de este proyecto. Para el requerimiento “temperatura en la cámara de combustión” se consideró una relación media (3), aunque el uso de termistores es bastante económico y comparados a los termopares son mucho más precisos, pero siguen siendo un elemento bastante sensible, lo que proporcionaría mediciones no tan claras, siendo esto una desventaja. Este diseño conceptual consta de piezas, sensores y materiales muy económicos y asequibles en el mercado, teniendo en cuenta que los costos en mantenimiento serían muy bajos, por esto tiene una relación funcional fuerte con el requerimiento “que sea económico”. En la figura 8 se presenta un boceto del concepto escogido como global dominante, y en la tabla 4 se listan los materiales de dicho concepto.

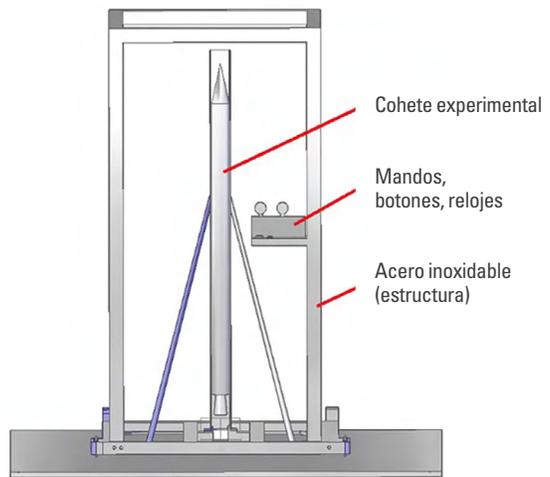


Figura 8. Boceto concepto 1

Fuente: elaboración propia.

Tabla 4. Materiales concepto 1

Materiales concepto 1	
1	Caudalímetro
2	Tubo Pitot
3	Celda de carga
4	Termistores
5	Botón pulsador manual
6	Perillas
7	Sistema de emergencia
8	Acero inoxidable
9	Sistema UFE410FLEX
10	Sistema de adquisición de datos
11	Ventilador

Fuente: elaboración propia.

Al generar distintos conceptos la casa de calidad (HQ), permitió realizar una evaluación y comprensión de los 6 conceptos generados en la lluvia de ideas, teniendo en cuenta unos requerimientos iniciales. Se comprendió que los conceptos diseñados con acero estructural representan una desventaja económica por el proceso anticorrosivo al que debe ser tratado, y es un material que representa menos vida útil en comparación con el acero inoxidable, esto en función de posible corrosión y/u oxidación del material. La geometría del BEMCO es clave y se logró analizar con la HQ,

donde los diseños con una geometría distinta a la recomendada (tipo vertical con la tobera hacia abajo) obtuvieron desventaja, ya que los demás tipos, aunque son viables, representan riesgos para el operario. Si bien los diferentes sensores electrónicos para medir la presión en la tobera de escape son buenos, el tubo Pitot se destaca por su uso en la industria aeronáutica (su gran precisión) representando una ventaja sobre los demás dispositivos, generando así que los conceptos que no cuentan con este dispositivo tuvieran una calificación más baja.

Conclusiones

- El desarrollo del diseño conceptual para un banco de pruebas para motores cohete tipo G y K, permitió comprender inicialmente las partes y funciones de los motores de cohería experimental, siendo la tobera y propelentes partes fundamentales en el funcionamiento de un cohete.
- El propelente sin importar su composición, se debe desarrollar con la misma geometría (cilíndrica) para facilitar su implementación en los motores cohete.
- Por medio del análisis funcional y las herramientas del diseño conceptual, se logró comprender la funcionalidad del banco y generar ideas de diseño, las cuales contribuyeron a investigar sobre diferentes dispositivos electrónicos y mecánicos. Este proceso creativo, también facilitó el análisis de los diferentes sensores de medición, permitiendo la selección adecuada de estos dispositivos y así lograr cumplir con los requerimientos iniciales.
- Por medio de la casa de calidad (HQ), se realizó una evaluación y comprensión de los 6 conceptos generados en la lluvia de ideas. En los conceptos diseñados con acero estructural se presenta una desventaja económica por el proceso anticorrosivo al que debe ser tratado, y es un material que tiene menos vida útil en comparación con el acero inoxidable, esto en función de la posible corrosión y/u oxidación del material. Si bien

los diferentes sensores electrónicos para medir la presión en la tobera de escape son buenos, el tubo Pitot se destaca por su uso en la industria aeronáutica (su gran precisión), representando una ventaja sobre los demás dispositivos.

- El concepto 1 es el diseño conceptual dominante, ya que el uso de acero inoxidable permite que el concepto cumpla con el requerimiento “durabilidad” por ser un material con propiedades anticorrosivas. Su geometría es la indicada permitiendo no solo una fácil operación, sino también brinda seguridad operacional, ya que posee un deflector de llama para evitar quemaduras. El uso del tubo Pitot le garantiza a este concepto ser uno de los mejores en cuestión de medidas de presión por la precisión que brinda este dispositivo; la implementación de termistores, caudalímetro y la celda de carga no solo permiten cumplir con la medición de parámetros operativos que requiere el cliente, sino también logra cumplir con el requerimiento “que sea económico” ya que estos dispositivos son de fácil adquisición, no necesitan de un mantenimiento periódico ni exhaustivo, y además poseen de una fácil instalación.
- El concepto uno se caracteriza por la combinación de perillas y botones pulsadores manuales, logrando ser un equipo bastante ergonómico. El sistema UFE410FLEX y su sistema de seguridad óptimo le brinda gran seguridad operacional al encargado de operar el BEMCO.
- Se logra concluir la importancia que tiene el desarrollo y estudio en los motores cohete tipo amateur con un BEMCO, ya que estos estudios brindan información de gran importancia teórica y experimental para la implementación de cohetes reales.

Referencias

- Acero, M. (2016). *Aceros maxi sitio web*. <https://www.maxiace-ro.com/aceros-estructurales.php#:~:text=El%20acero%20estructural%20se%20produce,concretas%20adaptadas%20a%20este%20prop%C3%B3sito>

- Alsina, G. (2019). *Diario electrónico*. <https://www.diarioelectronicohoy.com/sensor-digital-para-presion-de-aire-y-agua/>
- Cogollo, J. A. (2012). *Desarrollo de metodología para diseño conceptual*. Universidad del Norte .
- Correa, M. (2009). *Diseño Motor tipo G*. Universidad de San Buenaventura.
- De La Peña, N. A. (2011). *Metodología de Diseño para Ingeniería*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Eppingers, K. (2013). *Diseño y desarrollo de productos*. McGraw-Hill.
- Ertiza. (2019). *Ertiza sistemas de pesaje*. <https://www.ertiza.com/celda.php?id=4>
- González, J. J. (2011). *Banco de pruebas para motores cohete tipo K*. Universidad de San Buenaventura.
- Giovanny, I. (2015). *Proceso de comunicación en los sistemas hombres-máquina: controles ergonómicos*. <https://es.sli deshare.net/lrwingioO/controles-finalfinal1>
- Jalloul, C. (2014). *Blog Instrumentación sitio web*. <https://www.bloginstrumentacion.com/productos/temperatura/cmofunciona-termopar/>
- Longas, L. C. (2013). *Lanzamiento de la misión colombiana de cohetería experimental*. Universidad de los Andes.
- Lozano, C. (2021). *Generación de conceptos para diseño conceptual de BEMCO. Entrevista selección de materiales para un BEMCO*. Fundación Universitaria Los Libertadores.
- Mantilla, L. (2020). *Elaboración de una matriz QFD*.
- Mayori, A. (2017). *Resistencia de materiales*.
- Mecafenix, I. (2018). *Ingmecafenix sitio web*. <https://www.ingmecafenix.com/automatizacion/termistor-sensor-temperatura/>
- Melo, P. F. (2021). *Generación de conceptos para diseño conceptual de BEMCO. Entrevista selección de materiales electrónicos para un BEMCO*. Fundación Universitaria Los Libertadores.
- Nakka, R. (2015). *Teoría Sobre Motores Cohete De Propelente Solido*. Recuperado el 18 de Septiembre de 2019, de http://www.nakka-rocketry.net/th_nozz.html
- Pamplona, J. (2007). *Diseño de una sala de pruebas para motores alternativos de combustión interna*.
- Parczewski ´s, J. (2016). *Cohetería experimental amateur de Juan Parczewski ´s*. Obtenido de Juan Parczewski ´s amateur experimental rocketry WEB site: <http://www.jpcoheteria.com.ar/BancoEnsMot1.htm>
- PCE. (2011). *PCE-Ibérica sitio web*. <https://www.pce-iberica.es/medidor-detalles-tecnicos/sistemas/sensor-caudal-ss-20-400.htm>
- Rago. (2018). *Aceros rago sitio web*. <https://www.acerosrago.com/el-acero-inoxidable/>
- Reina, E. A. (2010). *Diseño y construcción de un motor cohete*. Universidad de San Buenaventura.
- Rodríguez, J. (2010). *¿Cómo funciona el tubo de Pitot?* <https://como-funciona.co/el-tubo-de-pitot/>
- Rodríguez, M. (2001). *Medición de peso con celdas de carga*. <https://dewesoft.com/es/daq/medicion-de-peso-con-celdas-de-carga>
- Rojas, F. A. (2012). *Proyecto uniandino. Obtenido de Misión Séneca VI*. <https://pua.uniandes.edu.co/doku.php?id=misiones:mision13>
- Rojas, N. Á. (2015). *Diseño de un banco de pruebas estático*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Sutton, G. P. (2001). *Rocket Propulsion Elements*. John Wiley & Sons, INC.
- Técnicos, O. (2004). *Electricidad, instrumentación industrial*. http://www.sapiensman.com/tecnoficio/electricidad/instrumentacion_industrial12.php
- Ullman, D. G. (2008). *The mechanical design process*. Higher education.
- Urrego, J. A. (2012). *Investigaciones en cohetería experimental*. Universidad de los Andes.
- Villajulca, J. C. (2010). *Ventajas, desventajas y principales aplicaciones de los caudalímetros de turbina*. <https://instrumentacionycontrol.net/ventajas-desventajas-y-principales-aplicaciones-de-los-caudalimetros-de-turbina/>

Contribución de las certificaciones internacionales a la dirección y gestión de la seguridad integral

| Fecha de recibido: 02 de junio 2021 | Fecha de aprobado: 08 de julio 2022 |

Julián Andrés Puentes Becerra

Magíster en Seguridad y Defensa Nacionales

Profesor e investigador.

Universidad Militar Nueva Granada
Colombia

Rol del investigador: teórico y escritura

<https://orcid.org/0000-0001-7609-8508>

✉ julian.puentes@outlook.com

Andrés Felipe Hernández Lozano

Magíster en Dirección y Gestión de la Seguridad Integral

Investigador independiente

Rol del investigador: teórico y escritura

✉ andresfernandez@hotmail.com

Cómo citar este artículo: Puentes Becerra, J. A., y Hernández Lozano, A. F. (2022). Contribución de las certificaciones internacionales a la dirección y gestión de la seguridad integral. *Ciencia y Poder Aéreo*, 17(2), 134-145. <https://doi.org/10.18667/cienciaypoderaereo.756>



Contribución de las certificaciones internacionales a la dirección y gestión de la seguridad integral

Resumen: Los desafíos del mundo actual han hecho que las organizaciones vinculen para su protección de activos, físicos y operaciones, a profesionales con las más altas calificaciones, ya sea como empleados directos o como consultores y, aunque, es una práctica que avanza para lograr un reconocimiento generalizado, las certificaciones profesionales, en las diferentes disciplinas de la seguridad integral, han venido en aumento, aunque la mayoría son limitadas a una norma internacional específica, u otorgadas por entidades de poco prestigio, así tengan carácter internacional que, por momentos, hace perder el contexto globalizado, holístico y sistémico que la seguridad integral demanda. En la actualidad, empresas tanto del sector productivo como del sector prestador de servicios, han reconocido en las certificaciones un sello de garantía a estos profesionales, debido al reconocimiento que las organizaciones globales hacen a estos profesionales, que automáticamente los ubican en estado de expertos de dicha disciplina, toda vez que experto es el nivel de reconocimiento por una comunidad profesional específica, más que por el mismo actor. Ante este amplio panorama, el presente artículo tiene como propósito establecer la contribución que tienen las certificaciones internacionales en la dirección y gestión de la seguridad integral, a través de la experiencia de profesionales certificados que prestan sus servicios como líderes dentro de las organizaciones o como consultores externos, con el fin de hacer un balance de la realidad y los retos al futuro de la gestión en la seguridad integral.

Palabras clave: certificaciones internacionales; seguridad integral; profesionales; operaciones; organizaciones.

Contribution of international certifications to the direction and management of comprehensive security

Summary: The challenges of today's world have made organizations link professionals with the highest qualifications for their protection of assets, physical and operations, either as direct employees or as consultants and, although, it is a practice that is advancing to achieve recognition generalized, professional certifications, in the different disciplines of integral security, have been increasing, although most are limited to a specific international standard, or granted by entities of little prestige, even if they have an international character that, at times, makes us lose the globalized, holistic and systemic context that comprehensive security demands. At present, companies from both the productive sector and the service provider sector have recognized a seal of guarantee for these professionals in the certifications, due to the recognition that global organizations make of these professionals, which automatically place them in the status of experts of said discipline, since expert is the level of recognition by a specific professional community, rather than by the actor himself. Given this broad panorama, this article aims to establish the contribution that international certifications have in the direction and management of comprehensive security, through the experience of certified professionals who provide their services as leaders within organizations or as consultants. external, in order to take stock of the reality and the future challenges of comprehensive security management.

Keywords: international certifications; comprehensive security; professionals; operations; organizations.

Contribuição de certificações internacionais para a direção e gestão de segurança integral

Resumo: Os desafios do mundo atual têm feito com que as organizações vinculem profissionais com as mais altas qualificações para a proteção de seu patrimônio, físico e operacional, seja como colaboradores diretos ou como consultores e, embora, seja uma prática que avança para alcançar reconhecimento generalizado, certificações profissionais, nas diferentes disciplinas da segurança integral, vêm crescendo, embora a maioria esteja limitada a um padrão internacional específico, ou concedida por entidades de pouco prestígio, ainda que tenham um caráter internacional que, por vezes, nos faz perder o caráter globalizado, holístico e contexto sistêmico que a segurança abrangente exige. Atualmente, empresas do setor produtivo e do setor prestador de serviços têm reconhecido um selo de garantia para esses profissionais nas certificações, devido ao reconhecimento que organizações globais fazem desses profissionais, o que os coloca automaticamente na condição de especialistas do referido disciplina, pois especialista é o nível de reconhecimento por uma comunidade profissional específica, e não pelo próprio ator. Perante este amplo panorama, este artigo pretende estabelecer o contributo que as certificações internacionais têm na direção e gestão da segurança integral, através da experiência de profissionais certificados que prestam os seus serviços como líderes dentro das organizações ou como consultores externos, de forma a fazer um balanço da realidade e dos desafios futuros da gestão integral da segurança.

Palavras-chave: certificações internacionais; segurança integral; profissionais; operações; organizações.

Introducción

El ambiente volátil, incierto, complejo y ambiguo (VICA) (Mack, 2016) ha hecho que los líderes y representantes de la seguridad corporativa mejoren sus competencias, toda vez que la industria demanda, además de compromiso, habilidades que permitan enfrentar los retos más allá de la seguridad tradicional y se involucren en las actividades de la gobernanza a nivel empresarial. En la actualidad son pocos los profesionales que han validado sus competencias ante entes internacionales y reconocidos, que publican las mejores prácticas aplicables a la industria de la seguridad; en esta situación, el aporte de dichos profesionales a las organizaciones, no garantiza la capacidad que un profesional de seguridad certificado puede aportar a la organización. En ese sentido, muchos profesionales de seguridad que se han limitado a la aplicación del conocimiento empírico pueden encontrar en este artículo un primer acercamiento a las oportunidades que podrían mejorar sus competencias y así acceder a mejores opciones de trabajo, no solo en remuneración, sino de ambiente laboral, retos y desafíos de la misma gestión de seguridad.

En el campo de la seguridad, las certificaciones internacionales han venido ganando espacio dentro de los profesionales que se desempeñan como líderes dentro de las organizaciones o consultores externos, con el propósito de certificar sus habilidades y capacidades frente a la gestión de riesgos en la seguridad integral. La necesidad de especializarse en las diversas certificaciones internacionales que existen en relación a la gestión de la seguridad integral va más allá del desarrollo personal o profesional, el conocer y aplicar estas certificaciones permite crear valor en las organizaciones y apalancar la toma de decisiones a nivel estratégico en las tesis, argumentos y contraargumentos de los responsables de la seguridad corporativa; es así como las iniciativas de certificación internacional para profesionales, han hecho carrera de manera independiente, fortaleciendo competencias de manera específica. La contribución en este documento apunta a la articulación de cada una de las iniciativas en un

compendio guía, para que al profesional de seguridad se le facilite la comprensión, de manera transversal, de los problemas y oportunidades en la organización, considerando las condiciones del ambiente. Es importante precisar que en Colombia no es muy frecuente que los profesionales opten por capacitarse en las certificaciones internacionales, esto, desde una perspectiva experiencial, se da por algunos factores puntuales, principalmente por el desconocimiento de los procesos relacionados con la certificación y el aprendizaje empírico que se realiza al interior de las corporaciones.

Para indagar sobre el problema de la baja cantidad de profesionales especializados y conocedores de las certificaciones internacionales sobre gestión de la seguridad operacional en Colombia, se ha optado por una metodología descriptiva, refiriéndose a la realidad de situaciones, eventos, personas, grupos o comunidades que consideran un inventario de riesgos de seguridad y las herramientas que han tenido para superar con éxito (o con fracaso) los problemas presentados a nivel corporativo, tomando como referente las certificaciones internacionales descritas en el artículo. Para tal fin, se llevó a cabo una serie de entrevistas con especialistas en dichas certificaciones, lo que permitió examinar las características de la responsabilidad de la seguridad corporativa frente a los nuevos desafíos y si estos responsables han contado con el conocimiento previo, para prevenir o mitigar este tipo de riesgos. Así entonces, se usó el método Delphi indagando con una serie de expertos sobre la necesidad de apropiarse del conocimiento derivado de las certificaciones internacionales, los expertos fueron consultados a través de un cuestionario y las respuestas recibidas se tabularon y analizaron, resultado de ello se comparten los siguientes resultados.

Actualidad de las certificaciones

En el campo de la seguridad, las certificaciones internacionales han venido ganando espacio dentro de los profesionales de esta rama, todo con el propósito de certificar sus habilidades y capacidades frente a la

gestión de riesgos en la seguridad integral; diferentes organizaciones, comunidades de profesionales y académicas de diversas partes del mundo han liderado iniciativas. Para el caso de este artículo, se ha tomado como referencia las más representativas en los aspectos que se vinculan con la seguridad integral.

Especialmente en Colombia, las oportunidades de desarrollo personal, profesional y laboral son amplias, toda vez que el número de asesores y consultores acreditados está en aumento. De acuerdo con la Superintendencia de Vigilancia y Seguridad Privada, a través de su oficina delegada para la operación, en su informe del 25 de mayo de 2020, la relación de personal operativo, que a esa fecha era de 5382 asesores consultores en seguridad acreditados, evidencia que, potencialmente, un gran porcentaje de estos profesionales se estarían desempeñando como líderes o consultores de seguridad en organizaciones públicas y privadas en Colombia, dicha posición implica roles que vinculan grandes cargas de responsabilidad que incluyen en la toma de decisiones de dichas organizaciones.

Las razones por las que un profesional en seguridad no ha optado por la certificación se puede asociar al desconocimiento, costos en otras divisas o tal vez el mercado local no le ve ventaja y, en consecuencia, es poco atractivo para el profesional certificarse; por ello, a pesar de los avances en la cantidad de asesores especializados, se hace necesario realizar un balance de las principales certificaciones internacionales en el área de seguridad integral; a continuación, se señalarán algunas de las principales tomando como referencia, además de la información técnica frente a estas, la descripción que de ellas realizaron los expertos consultados.

Gestión de la seguridad integral

La certificación *Certified Protection Professional* (CPP) valida los conocimientos en áreas de la administración de la seguridad, revisando los dominios que hacen parte de las responsabilidades de un líder de seguridad corporativa, al nivel más alto de las organizaciones. La asociación *Risk Management Society* (RIMS)

certifica a profesionales expertos en el ámbito de la gestión de riesgos, a través de la denominación *Certified Risk Management Professional* (CRMP), la cual demuestra no solo el conocimiento si no la experiencia en este campo, que es vinculante a la seguridad integral. Otra certificación que aplica a diferentes campos y que cobra relevancia en los proyectos de seguridad integral es la Certificación *Project Management Professional* (PMP), la cual valida las competencias profesionales y establece las mejores prácticas en esta disciplina. Así mismo, en aspectos exclusivamente de seguridad o protección física de los activos, está la certificación *Physical Security Professional* (PSP), donde el profesional en seguridad física demuestra sus conocimientos en evaluación, aplicación, diseño e integración de los diferentes sistemas de protección y la implementación de medidas. En el ámbito de la seguridad informática, la certificación *Certified Information Security Systems Professional* (CISSP) otorgada por la *International Information Systems Security Certification Consortium* (ISC2) proporciona a los profesionales de la seguridad de la información de una objetiva medida de validez y profesionalidad para la adecuada gestión de riesgos, haciendo frente a las amenazas que usan como instrumento y, a su vez, blanco de los sistemas informáticos, promoviendo de esta manera herramientas de complemento para la seguridad integral, incluyendo la protección del sistema *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA) en el contexto del quinto dominio. No menos importante se encuentra la certificación *Certified Fraud Examiners* (CFE), que reconoce a profesionales que cuentan con conocimientos y experiencia para enfrentar situaciones relacionadas con el fraude, entre los que se encuentran casos de soborno y corrupción, siendo esta una herramienta para mejorar los procesos de cumplimiento en las organizaciones, en concordancia con la certificación *Certified Anti-Money Laundering Specialist* (CAMS), la cual es otorgada a los profesionales que se especializan en la gestión de riesgos de lavado de activos, financiación del terrorismo y proliferación de armas de destrucción masiva, en términos de detección y prevención. En el contexto de la seguridad integral es necesario abordar aspectos relacionados con la gestión de crisis y

continuidad del negocio, en este sentido, la certificación de profesional en continuidad del negocio *Certified Business Continuity Professional (CBCP)* otorga conocimiento y habilidades en continuidad del negocio y recuperación frente al desastre. Entendiendo como necesaria la actividad de investigar eventos en el ámbito corporativo, la certificación *Professional Certified Investigator (PCI)* provee una mejora en los conocimientos individuales y experiencia en la administración de casos, recolección de evidencias, preparación de informes y testimonios de hallazgos justificados.

Profesional Certificado en Protección (sobre la certificación CPP - *Certified Professional Protection*)

De acuerdo con el sitio web de ASIS International¹ *Certified Protection Professional (CPP)*, esta se considera el “estándar de oro” para los profesionales de gestión de seguridad. La certificación valida su conocimiento en todas las áreas de la gestión de seguridad, los requisitos de elegibilidad incluyen 7-9 años de experiencia en seguridad y 3 años a cargo responsable de una función de seguridad (ASIS International, s.f.). De acuerdo con los expertos entrevistados, la certificación otorga credibilidad, respaldo, reconocimiento, acreditación; considerando que quienes no poseen esta certificación tienen pendiente lograr demostrar sus competencias, dentro de las razones que se consideran, que varios profesionales no han optado por dicha certificación, se encuentran la falta de compromiso, desconocimiento y la falta de voluntad, toda vez que demanda un compromiso para mejorar el conocimiento de esta disciplina. De la misma manera recomiendan crear espacios en el ámbito profesional y académico para difundir información efectiva sobre las ventajas de la certificación y por ende de la membresía a ASIS International.

¹ ASIS International es la organización de seguridad de profesionales más grande del mundo, como base de 40 000 profesionales en más de 150 capítulos alrededor del mundo.

La preparación para esta certificación se referencia en el manual de certificación de ASIS International (ASIS International, 2020), donde se brinda la información necesaria para conocer los requisitos, las áreas de conocimiento por desarrollar, y todo el procedimiento para presentar el examen para obtener la certificación

Profesional en Gestión de Riesgos Certificado (sobre la certificación RIMS-CRMP - *Certified Risk Management Professional*)

Según el sitio web de la sociedad de manejo de riesgos² (RIMS por sus siglas en inglés) RIMS-CRMP, esta es la única credencial en manejo de riesgos, la cual demuestra las habilidades y el conocimiento técnico, lo cual mejora el desempeño profesional y crea un valor agregado para la organización que posea este tipo de personal calificado (Risk Management Society, s.f.). Según los expertos entrevistados, esta certificación otorga acceso a otros círculos de alto nivel, una visión global en términos de riesgos, lo cual es relevante, ya que por ser una certificación internacional, tiene validez en todo el mundo; así mismo manifiestan que la certificación provee una ventaja sobre uno que no lo es, ya que concursos o procesos de selección le puede otorgar puntaje a favor; cuando se cuenta con gente certificada la credibilidad es automática, ya que esta aporta a la reputación positiva para este profesional. Los expertos reconocen que es necesaria la difusión en las áreas de capital humano y técnica que le compete, ya que se necesitan líderes que promuevan las certificaciones en cualquier ámbito. Resaltan la importancia de crear espacios académicos para que profesionales ya certificados expongan sus propias experiencias, no solo en cuanto al proceso de certificación, sino a los beneficios de dicha certificación. De acuerdo con *La guía de estudio para RIMS- CRMP*, se brindan los parámetros para

² Risk Management Security (RIMS), es la organización global reconocida como la principal organización dedicada a promover la profesión de gestión de riesgos, representa a más de 3500 entidades todo el mundo, brindando oportunidades a sus miembros, más de 10 000 profesionales de gestión de riesgos ubicados en más de 60 países.

presentar el examen y obtener la certificación, explicando el proceso, el material de estudio y los temas por tratar, además de las competencias por alcanzar para poder ser certificado.

Profesional en Gestión de Proyectos (sobre la certificación PMP - *Project Management Professional*)

El desafío de la gestión de proyectos requiere una revisión cuidadosa, como lo referencia el Instituto de Gestión de Proyectos³ en su portal de internet (Project Management Institute, s.f.), el PMP es el estándar de oro de la certificación de gestión de proyectos. Reconocido y exigido por organizaciones de todo el mundo, el PMP valida su competencia para desempeñarse en el rol de gerente de proyectos, liderando y dirigiendo proyectos y equipos. Dentro de las contribuciones a la vida del profesional, los expertos señalan entre las principales el fortalecer y profundizar competencias de conocimiento, dominio de estándares, respaldo de asociaciones internacionales, imagen, credibilidad y, por último, el *networking*, ya que ha contribuido a fortalecer y profundizar competencias, además amplía el conocimiento y dominio de estándares que cuenta con el respaldo de asociaciones internacionales brindando una promoción, imagen y credibilidad profesionales, así como las oportunidades de *networking*. Algunos profesionales han preferido mantenerse al margen de estas certificaciones, asumiendo que en el mercado tiene más valor los años de experiencia y el conocimiento empírico que el valor agregado que dan los conocimientos teóricos que soportan las certificaciones. De igual manera, recomiendan ampliar la conciencia en la comunidad compartiendo las bondades de la certificación para alcanzar un conocimiento público desde la validez de los contenidos y la relevancia

³ Project Management Institute (PMI), es la asociación líder mundial para aquellos que consideran la gestión de proyectos, programas o Carteras como su profesión. A través de la promoción global, la colaboración, la educación y la investigación, trabaja para preparar a más de tres millones de profesionales en todo el mundo.

de estos. Así mismo, como referencia, se recomienda la aplicación de los conocimientos en la gestión y dirección de proyectos (PMI).

Modelos de prevención

Profesional en Seguridad Física (sobre la certificación PSP - *Physical Security Professional*)

De acuerdo con el sitio web de ASIS International, el Profesional en Seguridad Física (PSP) demuestra sus conocimientos en evaluación de la seguridad física, aplicación, diseño e integración de los diferentes sistemas en seguridad física y la implementación de medidas (ASIS International, s.f.). Los expertos manifiestan que la certificación contribuyó al reconocimiento de algunos sectores de la industria de la seguridad, que mediante un estudio lograron incrementar los conocimientos aplicables al área funcional en el que laboralmente desempeñan funciones.

Debido al conocimiento de los estándares que ASIS exige para los certificados, se convirtió el ostentar la certificación en una ventaja competitiva; a diferencia de profesionales que no son certificados, en este caso existe la obligación de cumplir con estándares de calidad, que redundan en una mejor ubicación laboral, relacionamiento con pares en la industria bajo la misma terminología y mejoramiento en el perfil profesional; sin embargo, el desconocimiento de ASIS International, los beneficios asociados a la certificación, entre otros, han limitado el acceso de otros profesionales a este círculo profesional. Por lo anterior, se recomienda el desarrollo de actividades dentro del sector organizacional para difundir la certificación, conferencias con los representantes de ASIS internacional, de acuerdo con la ubicación geográfica de cada capítulo, por medio de *webinars*, talleres, conferencias y, sobre todo, ejercicios de simulación que denotan el débil o escaso conocimiento que hay al respecto de los estándares de ASIS. Según el documento de referencia, este brinda la información necesaria para conocer los

requisitos, las áreas de conocimiento por desarrollar, y todo el procedimiento para presentar el examen para obtener la certificación (ASIS International, 2020).

Profesional en Sistemas de Seguridad de la Información Certificado (sobre la certificación CISSP - *Certified Information Security Systems Professional*)

ISC⁴ en su página web menciona que obtener el CISSP demuestra que tiene lo necesario para diseñar, implementar y administrar de manera efectiva el mejor programa de ciberseguridad de su clase. Con un CISSP se valida su experiencia y se convierte en miembro (ISC), desbloqueando una amplia gama de recursos exclusivos, herramientas educativas y oportunidades de redes entre pares (Consortio internacional de Certificación de Seguridad de Sistemas de Información, s.f.). Según los expertos entrevistados, la certificación contribuyó en la adquisición de conocimiento en diferentes dominios, validó y confirmó conocimientos y experiencia en diferentes aspectos de seguridad, mejoró las calificaciones en oportunidades laborales y mejoró valores de los servicios de consultoría. También logró una diferenciación con respecto a sus pares que no son certificados, ya que la certificación entregó un reconocimiento inmediato en el sector de la seguridad, un derecho natural por buscar mejores valores en las negociaciones, tener la oportunidad de aplicar a ofertas laborales de alto nivel o a licitaciones importantes, así mismo aumenta el contacto por parte de otros interesados en concretar oportunidades de negocio. Los expertos coinciden en que es importante incluir como parte de los programas de educación, convenios y oportunidades los dominios de la certificación, no solo por abrir espacio para que los profesionales logren dicha certificación, sino que mejorar sus competencias. La guía de estudio para CISSP-CBK,

explica los requisitos y parámetros para presentar el examen y obtener la certificación, explica el proceso, el material de estudio y los temas por tratar.

Examinador Antifraude Certificado (sobre la certificación CFE - *Certified Fraud Examiners*)

El sitio web de ACFE guía a los interesados en certificarse como *Certified Fraud Examiner* (CFE), la cual está abierta a los miembros asociados que estén interesados en llevar su carrera al siguiente nivel al obtener el estándar de excelencia profesional en la profesión antifraude. La credencial de CFE se designa cada vez más como una credencial preferida en las prácticas de contratación de empresas, entidades gubernamentales y agencias de aplicación de la ley (ACFE, s.f.). De acuerdo con lo manifestado por los expertos en la encuesta desarrollada, la certificación contribuye a obtener un mayor reconocimiento, validación de conocimiento, globalización, estandarización de conocimientos, las cuales son un factor de diferenciación frente a los profesionales no certificados, igualmente, manifiesta que se requiere realizar mayor difusión y conferencias sobre la importancia de tener una validación internacional de conocimientos, no solo regional o nacional. El *Manual de examinadores de fraude* es el cuerpo de conocimiento definitivo para la profesión antifraude, brindando una guía integral para profesionales antifraude que ningún otro trabajo puede igualar (ACFE, 2018).

Especialista en Antilavado de Dinero Certificado (sobre la certificación CAMS - *Certified Anti-Money Laundering Specialist*)

ACAMS⁵ en su página web, refiere que CAMS es la credencial de Especialista Certificado en Antilavado de Dinero, es el estándar de oro en las certificaciones antilavado de dinero y es reconocida internacionalmente

⁴ ISC es una asociación internacional de miembros sin fines de lucro para líderes de seguridad de la información, comprometidos a ayudar a nuestros miembros a aprender, crecer y prosperar. Con más de 150 000 miembros certificados, fortalecemos a los profesionales que trabajan todos los aspectos de la seguridad de la información.

⁵ ACAMS es la mayor organización internacional de afiliados que se dedica a intensificar los conocimientos, las habilidades y la experiencia de los profesionales en antilavado de dinero (ALD) y contra el financiamiento del terrorismo (CTF, por sus siglas en inglés), y en la detección y prevención del delito financiero.

por instituciones financieras, gobiernos y reguladores como un compromiso serio para proteger el sistema financiero contra el lavado de dinero (ACAMS, s.f.), los expertos certificados mencionan que la certificación otorga un criterio profesional más asertivo, ventaja competitiva, entendimiento de la problemática global ampliamente y clientes satisfechos. Esta certificación ha contribuido en los expertos consultados a dar el paso de la experticia a la verdadera profesionalización, a tener un reconocimiento diferenciado de los clientes y el entorno, a un mejor aplomo en la aplicación de conocimientos y la facilidad para entender el requerimiento del cliente logrando resultados esperados. Existe un consenso por parte de los expertos en cuanto a asegurar que otros profesionales no han optado por la certificación, por los costos económicos y por la dedicación en tiempo que se requiere. Igualmente, reconocen que es necesario compartir con la comunidad las ventajas como el reconocimiento a nivel mundial, el criterio global, y el entendimiento de la problemática integralmente. El manual de referencia suministra guías, como lo que respecta al propósito de la certificación, los beneficios profesionales, y la guía de estudio para poder adquirir los conocimientos y poder presentar el examen de manera satisfactoria.

Modelos de control y recuperación

Profesional en Continuidad de Negocio Certificado (sobre la certificación CBCP - *Certified Business Continuity Professional*)

De acuerdo con la página web de DRI International⁶, *Certified Business Continuity Professional* (CBCP) es una certificación de continuidad de negocios más reconocida y apetecida en el mundo. Los BCPC son profesionales que han demostrado conocimiento y habilidad

⁶ El Disaster Recovery Institute International (DRI) es la organización sin fines de lucro más antigua y grande que ayuda a las organizaciones de todo el mundo a prepararse y recuperarse de los desastres al proporcionar educación, acreditación y liderazgo de pensamiento en continuidad del negocio, recuperación ante desastres, resiliencia cibernética y campos relacionados. Fundada en 1988, DRI ha certificado a más de 15 000 profesionales en resiliencia en más de 100 países, y al 95 % de las compañías Fortune 100.

en la industria de la continuidad del negocio y recuperación ante desastres. En su mayor parte, estos profesionales han estado trabajando en la industria como líderes y están buscando el reconocimiento que viene con la certificación (Disaster Recovery Institute, s.f.). Profesionales CBCP entrevistados manifiestan que la certificación apoya a tener mayor visibilidad en la comunidad de especialistas, reconocimiento como especialista en el mercado laboral, aceptación de los argumentos técnicos que soportan las actuaciones de la persona y mayores exigencias para mantener actualizado el estado del arte. Obtener esta certificación avala no solo el conocimiento, también la experiencia, ya que al profesional certificado se le exige estar en constante evolución. Las razones por las que un profesional en seguridad no ha optado por la certificación, se asocia a que hay desconocimiento de su existencia, o porque no están dispuestos a asumir los costos, tanto económicos como académicos, o prefieren no esforzarse considerando las dificultades de lograr la certificación. La difusión de normas y estándares, así como colegiar el saber, van a permitir difundir las bondades de la certificación e incorporarlas en los currículos académicos de instituciones de educación superior. Según el documento de referencia, este tiene como objetivo: ayudarlo a iniciar el proyecto y darle continuidad al negocio en su organización, comenzando con la necesidad de educar a la gerencia ejecutiva sobre el propósito, el proceso y la importancia de la certificación BCPC, ayudando a cubrir los pasos esenciales que incluyen la investigación, el desarrollo de un marco de continuidad del negocio, el establecimiento de un equipo de proyecto, la presupuestación y la programación de plazos para garantizar que el proyecto cumpla con las metas propuestas.

Investigador Profesional Certificado (sobre la certificación PCI - *Professional Certified Investigator*)

Otra certificación de ASIS Internacional es la de Investigador Profesional Certificado (PCI) (*Professional Certified Investigator*), que proporciona una prueba demostrable del conocimiento y la experiencia de un

individuo en la gestión de casos, la recopilación de pruebas y la preparación de informes y testimonios para corroborar los resultados (ASIS International, s.f.), en consulta con expertos, la certificación mejora la base académica, amplía el conocimiento de la seguridad y su aplicación a las organizaciones modernas, así mismo identifica la ventaja sobre un profesional que no es certificado en el sentido del entendimiento de los estándares internacionales de seguridad, basadas en las mejores prácticas de la industria, el profesionalismo que acredita ser certificado, la aplicación de criterios probados y la experticia son factores de diferencia en el competido mundo laboral. Entre las razones por las que profesionales en seguridad no han optado por la certificación se encuentran el desconocimiento de las certificaciones y algunas opiniones malintencionadas de personas que han tomado el examen y no lo han aprobado, entendiendo que esto requiere un esfuerzo superior al del promedio. Los expertos proponen el desarrollo de actividades dentro del sector organizacional para difundir la certificación, ya que se necesita más representación en el entorno de la seguridad y poder estar presentes en eventos académicos relacionados con la seguridad integral, donde los certificados se hagan más visibles. El manual de certificación de ASIS International brinda la información necesaria para conocer los requisitos, las áreas de conocimiento por desarrollar, y todo el procedimiento para presentar el examen para obtener la certificación.

Retos y desafíos en el mundo de hoy

Las características del ambiente VICA traen consigo retos y desafíos para los profesionales de seguridad, que no solo deben orientar sus esfuerzos a la administración de personas como guardas y/o escoltas; sino involucrarse con los riesgos de seguridad corporativa, aquellos riesgos que afectan la continuidad de las operaciones, riesgos que tienen origen doloso; en ese sentido, los líderes de seguridad deben mejorar sus competencias gerenciales, con el propósito de gestionar proyectos y programas de seguridad; técnicas que

demuestren su conocimiento en las prácticas de seguridad, y por último, la habilidad de tratar con personas (ASIS International, 2015). Particularmente, la competencia técnica tiene la mayor oportunidad de mejorar a través del logro de las competencias internacionales bajo el rigor y la exigencia de un esquema de certificación de personas, en respuesta a la velocidad de innovación tecnológica y creciente especialización del personal, que podría contrarrestar las diferencias de educación y formación y, por lo tanto, facilitar el mercado de trabajo global. Sin embargo, podrían ser necesarias alternativas distintas de la certificación para cargos en los servicios públicos y las operaciones oficiales o gubernamentales. De esta manera los retos de los profesionales de seguridad se enfocan al desarrollo de habilidades de gestión de forma integral, pero también en actividades de prevención, control y recuperación.

Transversalmente las certificaciones, así como la seguridad integral, vuelven explícito el concepto de la gestión de riesgos, o el enfoque basado en riesgo para promover el diagnóstico, el diseño, la implementación y la evaluación de programas de prevención, control y recuperación de pérdidas dentro del contexto de la protección patrimonial. La gestión de riesgos es un concepto que hoy en día está siendo utilizado por la mayoría de profesionales de seguridad, como línea de partida para la implementación de sistemas o programas de seguridad, como argumento para la justificación económica de proyectos de seguridad, e inclusive los sistemas de gestión se están remitiendo a esta práctica; si bien en cierto muchos profesionales de seguridad integral dan un enfoque apropiado, también se observa como otros solo mencionan el concepto en el título de una presentación. Es frecuente ver cómo algunos profesionales asisten a entrenamientos bajo el enfoque de riesgo corporativo, riesgo industrial y no particularmente sobre riesgos de seguridad (*security risk*), así mismo se encuentran argumentos donde marcan una diferencia entre la administración y gestión del riesgo, pero lo más crítico es que, aun así, algunos profesionales asumen esos contenidos como reales, aunque las aproximaciones a la gestión del riesgo tienen distintas rutas, así como diferentes salidas. Desde

el conocimiento y la experiencia es válido decir que es una herramienta fundamental (si no la única) para conducir una apropiada estrategia de seguridad corporativa, y es aquí donde encontramos otra imprecisión en la práctica, ya que la estrategia como concepto viene del oficio del general, dentro del escenario de la batalla, que se trasladó al campo corporativo asociado a la función de la alta gerencia, o liderazgo ejecutivo; entre más arriba esté la posición, mejor perspectiva tendrá del problema, de esa manera el alcance de un asesor/consultor externo resulta estar limitado si no tiene la suficiente experiencia en el alto nivel de una organización, y entonces la cuestión se ubica en los “lugares comunes” donde se diagnostican los riesgos que son comunes a todas las organizaciones (hurto, secuestro, extorsión, etc.), así se vuelve difícil comprender cómo se establece un contexto a control remoto, o con el criterio de quien se considera consultor, pero no experto.

La gestión de riesgos es una herramienta que se debe utilizar con responsabilidad para lograr el éxito en la gestión corporativa de seguridad, para esto el ejercicio riguroso, juicioso, dedicado y constante debe ser aplicado sin especulaciones y con la mayor objetividad posible. El mercado está demandando profesionales competitivos, con credenciales, con certificaciones retadoras y sobre todo pertinentes al campo del cual se infiere que es experto. Ahora con tantas motivaciones y con la profesionalización del oficio es mucho menos probable timar o engañar a líderes responsables de la seguridad a nivel corporativo, donde su objetivo principal es gestionar los riesgos equilibrando el costo de los medios de protección con el beneficio de manejar las pérdidas eficientemente a menor costo, el riesgo es el factor más importante que conduce al despliegue de la seguridad (ASIS Internacional, 2015, p. 23).

Cuando se hace referencia al uso responsable de la gestión de riesgos, es bajo la premisa de que proporciona a la gerencia información sobre la cual basa su toma de decisiones. ¿Es mejor siempre prevenir la ocurrencia de una situación? ¿Es esto siempre posible? ¿Deberá la política contener el efecto que pueda tener una situación de riesgo? ¿Es suficientemente sencillo reconocer que existe un potencial adverso y no hacer por ahora nada distinto a estar conscientes del

peligro? Todo lo anterior dependerá de la política sobre la seguridad que tenga cada empresa, por ello los efectos frente a cualquier situación podrían variar. La meta eventual del análisis es lograr un equilibrio económico entre el impacto de un riesgo sobre la empresa y el costo de implementar medidas protectoras y preventivas (Sennewald, 2016, p. 158). Ese uso responsable debe tener la capacidad de mostrar la situación actual, establecer las áreas que requieren mayor atención, documentar evidencia para justificar el costo de las contramedidas de seguridad, pero ¿cómo lograr el entendimiento de estas situaciones, si se está ajeno o apartado de los estándares internacionales y de las mejores prácticas de la industria?

El primer paso para establecer cualquier programa eficaz de gestión de seguridad corporativa implica la identificación de activos de la empresa, activos tangibles, intangibles y mixtos, los gerentes de seguridad deben incorporar los activos intangibles al diseño de la seguridad, algunas vulnerabilidades simplemente son las condiciones existentes o las prácticas de negocio que apoyan el cumplimiento de la misión (ASIS Internacional, 2015, p. 26). Un riesgo de seguridad es cualquier evento que pueda resultar en un compromiso de los bienes de la organización, el uso indebido, la pérdida, el daño, la divulgación o la modificación no autorizada de los activos de la organización con fines de lucro, intereses personales o intereses políticos de individuos, grupos u otras entidades constituye un compromiso del activo y también incluye el riesgo de daño a las personas; el compromiso de los activos de la organización puede afectar negativamente a la empresa, sus unidades de negocio y sus clientes; como tal, la consideración del riesgo de seguridad es un componente vital de la gestión de riesgos (Tabolt y Jakeman, 2011). Así, entonces la organización se pondrá en un estado de preparación para aquellos eventos cuyos factores de probabilidad son incontrolables. Una organización podría volverse resiliente⁷ a algunos

⁷ Una organización resistente es aquella que puede alcanzar sus objetivos centrales, incluso frente a la adversidad permite a las organizaciones adaptarse y crecer independientemente de la exigencias, eventos y riesgos dentro de su entorno operativo.

eventos disruptivos. La alta dirección ha considerado que la gestión de riesgos y el área de cumplimiento sean supervisados por ella misma, pero discretamente separados, sin embargo, su carácter de transversalidad podría llevar a la confusión de sus funciones, esto permite que el gobierno corporativo defina estándares propios que emergen de la legislación local, el código de conducta para hacer negocios y las buenas prácticas de la industria que requieren atributos mencionados en la estructura de los exámenes de certificaciones, como valores organizacionales, expectativas de comportamiento, la estrategia, los objetivos comerciales, los apetitos de riesgo⁸, las tolerancias, la cultura y el uso de la tecnología (Talbolt y Jakeman, 2011, p. 53).

La gerencia de seguridad integral, entonces, debe aplicar el desarrollo de prácticas conceptuales que proporcionen el marco para todas las áreas, en el segmento preventivo, las áreas de seguridad física, seguridad reputacional y seguridad de la información; en el de control, el área de manejo de crisis y en el de recuperación, el área de investigaciones; en cada una de las áreas la gerencia de seguridad debe comprender como prevenir⁹ y mitigar¹⁰ adecuadamente los riesgos de seguridad.

Conclusiones

Varios mitos se han creado alrededor de las certificaciones internacionales, y más cuando estas son exigentes y demandan tiempo y compromiso por parte de los interesados, algunas personas hacen cálculos sobre el porcentaje de profesionales certificados en la toma del examen, si logran su objetivo por primera, segunda y tercera vez, y sobre cuántas preguntas se pueden errar por tema, sobre si una pregunta tiene más

valor que otra, que si las preguntas son de memoria, si son de criterio, entre otras. En síntesis, lo único importante en este caso es obtener el puntaje suficiente, que siempre es superior al 75 %, y otras inclusive al 82 %, para eso no importa cómo o con quién se prepare, tampoco importa cuánto tiempo dure la preparación, lo único cierto es que, si no existe preparación a conciencia, hoy hay tal puntaje.

Los expertos consultados han suministrado información sobre su proceso de preparación, camino a las certificaciones, donde han recomendado algunos métodos, como hacer la mayor cantidad de preguntas con textos largos usando distractores (no, excepto, etc.), también mencionan que es recomendable que estas preguntas se obtengan directamente de los libros de referencia y no de resúmenes o conferencias. Así mismo, sugieren graficar todos los resúmenes a manera de mapa mental, dibujos y cuadros, que se utilicen diferentes colores; esto ayudará a activar la memoria y comprensión, aun cuando se lleva un buen tiempo sin estudiar; recomiendan también leer los apuntes en voz alta, grabarlos y reproducirlos todas las veces que sea posible (en el carro, en la oficina, en la casa, inclusive durmiendo). En una mirada objetiva se establece que no se pueden hacer sacrificios a medias, si se hizo esfuerzos por pagar una membresía, la aplicación del examen, la compra de los libros de referencia y hasta un curso preparatorio. Sin embargo, más allá del método, debe haber un interés genuino por el tema de estudio, es decir, disciplina e interés por el tema, capacidad mental de análisis y tener un buen ritmo de lectura y comprensión (considerando que algunos exámenes ofrecidos para las certificaciones solo están disponibles en inglés).

Las certificaciones revisadas, potencializan la actividad y maestría de los profesionales en las diferentes disciplinas de la seguridad integral; es un consenso que la obtención de dichas certificaciones mejora la práctica de la disciplina y que, a su vez, crea un reconocimiento entre sus pares y, en general, la comunidad. Así mismo, se convierte en una garantía para su cliente o empleador, ya que sus servicios como consultor son reconocidos en la industria como de máximo nivel, de igual modo que organizaciones de presencia global

⁸ Magnitud, cantidad y tipo de riesgo que una organización está dispuesta a buscar o retener.

⁹ Actividades de control de riesgos tendientes a la reducción de la probabilidad.

¹⁰ Actividades de control de riesgos tendientes a la reducción del impacto y la consecuencia.

van a requerir en su equipo al talento humano más capacitado, dichas certificaciones han alcanzado un nivel de reconocimiento en el área de aplicación, pero no tanto en los sectores empresariales, y particularmente en las áreas de selección, reclutamiento y gestión del talento humano, de tal forma que en muchos casos no se incluyen en perfiles que pueden contribuir de manera significativa en la protección corporativa de las organizaciones y el contexto de la seguridad integral.

Es necesario crear espacios tanto académicos como corporativos para promover la membresía a las organizaciones globales que entregan las certificaciones; así como las mismas certificaciones, las experiencias, los beneficios y las contribuciones que se hace, no solo al perfil profesional, sino a las empresas que contratan los servicios de un profesional calificado y reconocido en la industria. Se hace importante también apoyar a aquellos interesados que reconocen en las certificaciones una oportunidad para el desarrollo profesional, ya que en el mercado existen también certificaciones, pero que no reconocen el nivel de exigencia de las mencionadas en el presente artículo, ya que algunas tienen carácter local, regional y económico que responden a interés particulares, más que al interés de mejorar las competencias profesionales y de la comunidad en general.

Referencias

- ACAMS. (s.f.). *Association of Certified Anti-Money Laundering Specialists*. <https://acams.org>
- ACFE. (s.f.). *Association of Certified Fraud Examiner*. <https://acfe.com>
- ACFE. (2018). *ACFE key Findings*.
- ASIS International. (2015). *Protección de activos*. Alexandria: ASIS International.
- ASIS International. (s.f.). *ASIS International, página oficial*. <https://asisonline.org>
- ASIS International. (2020). *Manual de certificación*. Alexandria: ASIS International.
- Consortio internacional de Certificación de Seguridad de Sistemas de Información. (s.f.). *Página oficial*. <https://isc2.org>
- Disaster Recovery Institute. (s.f.). *DRI, página oficial*. <https://drii.org>
- ISC2. (s.f.). *Official (ISC)2 Guide to the CISSP-CBK (4.ª edición)*. ISC2.
- Mack, O. (2016). *Managing in a VUCA Worlds*. Springer.
- Project Management Institute. (s.f.). *PMBOK Guide and Standards*. PMI.
- Risk Management Society. (s.f.). *RIMS-CRMP Examination Study Guide*. RIMS.
- Sennewald, C. (2020). *Effective Security Management*. Butterworth Heinemann Books
- Talbot, J. y Jakeman, M. (2011). *Security risk management body of knowledge*. John Wiley & Sons.

Bases de datos académicas-científicas su uso para el desarrollo de la investigación y producción de las IES en el sector aeronáutico en Colombia*

| Fecha de recibido: 25 de octubre del 2021 | Fecha de aprobado: 09 de mayo del 2022 |

Alicia del Pilar Martínez Lobo

Psicóloga, magíster en Investigación y Educación
Investigadora asociada. Centro de Estudios Aeronáuticos CEA.
Colombia
Rol del investigador: teórico
Grupo de investigación Aeronáutica GINA
<https://orcid.org/0000-0001-9187-4181>
✉ alicia.martinez@aerocivil.gov.co;
alicia.martinezlobo@gmail.com

Bernardo Martínez Romero

Ingeniero Industrial. magíster en Logística
Docente e Investigador.
Universidad Sergio Arboleda
Colombia
Rol del investigador: teórico
Grupo de investigación Giloga
<https://orcid.org/0000-0002-1606-2711>
✉ bernardomaro@gmail.com.

* Proyecto financiado por el Centro de Estudios Aeronáuticos.

Cómo citar este artículo: Martínez Lobo, A. P., y Martínez Romero, B. (2022). Bases de datos académicas-científicas su uso para el desarrollo de la investigación y producción de las IES en el sector aeronáutico en Colombia. *Ciencia y Poder Aéreo*, 17(2), 146-156. <https://doi.org/10.18667/cienciaypoderaereo.736>



Bases de datos académicas-científicas su uso para el desarrollo de la investigación y producción de las IES en el sector aeronáutico en Colombia

Academic-scientific databases their use for the development of research and production of HEIS in the aeronautical sector in Colombia

Bases de dados acadêmico-científicas seu uso para o desenvolvimento de pesquisa e produção de IES no setor aeronáutico na Colômbia

Resumen: El presente artículo reflexivo da cuenta del proyecto de investigación “Propuesta Creación del Centro de I+D+i para el CEA”, y tiene por objetivo identificar y analizar el uso de los buscadores especializados como recurso tecnológico para el desarrollo de producción académica o científica en un grupo de docentes seleccionados de 10 instituciones de educación superior con al menos un programa académico aeronáutico en Colombia, seis del sector privado y cuatro públicas pertenecientes al sector militar. Para ello, este artículo aborda la función de investigación desde la conceptualización y clasificación de la educación superior. Luego, se realiza una caracterización de los grupos de investigación e investigadores reconocidos en Colombia para establecer la participación en el desarrollo de actividades de investigación, desarrollo e innovación I+D+i que las Instituciones de Educación Superior (IES), tienen en el Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SNCTI), para lo cual se tomó como base el análisis estadístico que de ellos hace Colciencias con los resultados de su convocatoria 833 de 2018. Posteriormente, se hace una revisión teórica general de las bases de datos más conocidas, describiendo las de acceso abierto y las que requieren suscripción para bajar documentos más especializados; y termina con el análisis de una encuesta aplicada a una muestra seleccionada de 164 docentes investigadores, con el fin de identificar si son usadas este tipo de herramientas para la recolección de la información académica o científica, y establecer una visión global del uso de bases de datos especializadas en la academia.

Palabras clave: bases de datos especializadas; información digital e investigación; comunidad científica; recursos tecnológicos.

Abstract: His reflective article gives an account of the research project “Proposal for the Creation of the R&D Center for the CEA”, and aims to identify and analyze the use of specialized search engines as a technological resource for the development of academic or scientific production. In a group of teachers from 10 higher education institutions with at least one aeronautical academic program in Colombia, six from the private sector and four public ones belonging to the military sector. To do this, this article addresses the research function from the conceptualization and classification of higher education. Then, a characterization of the research groups and researchers recognized in Colombia is carried out to establish participation in the development of research, development and innovation R+D+i activities that the Institutions of Higher Education (IES) have in the National System of Science, Technology and Innovation (SNCTI), based on the statistical analysis that Colciencias makes of them with the results of its call 833 of 2018. Subsequently, a general theoretical review of the best-known databases is made, describing those of open access and those that require subscription for access to more specialized documents. And it ends with the analysis of a survey applied to a selected sample of 164 research professors in order to identify if these types of tools are used for the collection of academic or scientific information, and establish a global vision of the use of databases. specialized in the academy.

Keywords: specialized databases; digital information and research; scientific community; technological resources.

Resumo: Este artigo reflexivo dá conta do projeto de pesquisa “Proposta de Criação do Centro de P&D para o CEA”, e tem como objetivo identificar e analisar o uso de buscadores especializados como recurso tecnológico para o desenvolvimento da produção acadêmica ou científica. Um grupo de professores de 10 instituições de ensino superior com pelo menos um programa acadêmico aeronáutico na Colômbia, seis do setor privado e quatro públicas pertencentes ao setor militar. Para isso, este artigo aborda a função de pesquisa a partir da conceitualização e classificação da educação superior. Em seguida, é realizada uma caracterização dos grupos de pesquisa e pesquisadores reconhecidos na Colômbia para estabelecer a participação no desenvolvimento de atividades de pesquisa, desenvolvimento e inovação I+D+i que as Instituições de Ensino Superior (IES) têm no Sistema Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação (SNCTI), com base na análise estatística que Colciencias faz deles com os resultados de sua convocação 833 de 2018. Posteriormente, é feita uma revisão teórica geral das bases de dados mais conhecidas, descrevendo aquelas de acesso aberto e aquelas que requerem assinatura para acesso a documentos mais especializados. E termina com a análise de uma pesquisa aplicada a uma amostra selecionada de 164 professores pesquisadores para identificar se esses tipos de ferramentas são utilizados para a coleta de informações acadêmicas ou científicas e estabelecer uma visão global do uso de bancos de dados na academia.

Palavras-chave: bases de dados especializadas; informação e pesquisa digital; comunidade científica; recursos tecnológicos.

Introducción

El desarrollo de este artículo se enmarca en el proyecto de investigación “Propuesta Creación del Centro de I+D+i para el CEA”, y con él se pretende hacer una exploración y análisis sobre el uso de los recursos tecnológicos como las bases de datos especializadas para el desarrollo de las actividades docentes e investigativas en la institución, así como identificar, con la muestra poblacional, aquellas más usadas para dicha función.

Las Instituciones de Educación Superior (IES), tienen como funciones sustantivas la docencia y la investigación, ello implica que debe garantizar a su comunidad académica el cumplimiento de condiciones institucionales que garanticen la calidad y sostenibilidad de sus programas ofertados. Contar con una estructura tecnológica y con recursos académicos para responder a las necesidades de formación e investigación es el reto que estas instituciones deben asumir, con el propósito de apoyar y fortalecer las competencias docentes e investigativas en su comunidad educativa; la búsqueda de información actualizada en las diferentes disciplinas y campos del conocimiento es fundamental para el desarrollo de producción académica y científica de los docentes.

El siguiente artículo reflexivo busca responder a la pregunta ¿los docentes de las IES seleccionadas en el estudio, ¿qué tanto utilizan las bases de datos especializadas con que cuentan para la producción académica y científica propia y de sus estudiantes?, para ello, se aplicó una encuesta a una muestra de 164 docentes pertenecientes a 10 Instituciones de Educación Superior con programas aeronáuticos, cuatro privadas y seis públicas, donde cuatro de ellas pertenecen al sector militar aeronáutico, y dos a la aviación y aeronáutica civil.

Como resultado se pudo evidenciar que para las IES y aún más para sus docentes, no es realmente prioritario la suscripción a este tipo de recursos tecnológicos, no obstante, si lo hacen, no hay una clara divulgación a la comunidad para el manejo de esas

bases de datos especializadas, encontrando en la población estudiada desconocimiento y uso de estas.

Igualmente, no se visibiliza la producción por parte de los docentes de la muestra, el 51 % afirma no usar las bases de datos para la publicación de su producción.

Marco teórico

El Ministerio de Educación Nacional (MEN) en Colombia (1994), conceptualiza la educación como “un proceso de formación permanente, personal cultural y social que se fundamenta en una concepción integral de la persona humana, de su dignidad, de sus derechos y de sus deberes” (p. 1) y la clasifica en cuatro grupos, educación preescolar, educación básica, educación media y educación superior. Partiendo de este precepto, este artículo se centra exclusivamente en la educación superior, por tanto, el estudio se hace tomando como referente algunas IES, entidades que son reconocidas para ofertar programas académicos a nivel de pregrado y posgrado en el territorio colombiano, y que tienen el aval por parte del MEN (Mineducación, 2020). Estas entidades se clasifican en instituciones técnicas profesionales, tecnológicas, universitarias o escuelas tecnológicas y universidades, y pueden ser de carácter privado o público, las cuales se relacionan a continuación, según el reporte del Observatorio de la Universidad Colombiana, a septiembre de 2019.

Tabla 1.
IES en Colombia 2019

Carácter	Naturaleza	Públicas	Privadas	Total
Universidades		33	53	86
Institutos universitarios		31	102	133
Institutos tecnológicos		10	37	47
Institutos técnicos profesionales		9	21	30
Total		83	213	296

Fuente. Datos tomados del Observatorio de la Universidad Colombiana (2019).
Fecha de revisión 2021.

La investigación para las IES

La docencia e investigación son funciones sustantivas de la educación superior, por ello, el MEN, mediante su normatividad Ley 30 de 1992, Ley 1188 de 2008, Decreto 1075 de 2015 y Decreto 1330 de 2019, establece requisitos que deben cumplir las IES en Colombia, “la institución deberá demostrar la disponibilidad, acceso y uso de infraestructura física y tecnológica coherente con los requerimientos de las labores formativas, académicas, docentes, científicas” (Decreto 1330, 2019, p. 10). Así mismo, determina que las IES deben contar con “licencias para la infraestructura tecnológica y recursos virtuales utilizados, conforme con las normas de derecho de autor y demás legislación vigente” (Decreto 1330, 2019, p. 10), recursos que facilitan a la comunidad educativa su desarrollo académico y garantizan la calidad en su producción.

Por su parte, con respecto a la función investigativa, el Decreto establece para el desarrollo de la investigación, innovación y/o creación artística y cultura, que:

La institución deberá establecer en su programa las estrategias para la formación en investigación y creación que le permitan a los profesores y estudiantes estar en contacto con los desarrollos disciplinarios e interdisciplinarios, la creación artística, los avances tecnológicos y el campo disciplinar más actualizado, de tal forma que se desarrolle el pensamiento crítico y/o creativo. (Decreto, 2019, p.13)

Así mismo, la investigación, desarrollo e innovación I+D+i en Colombia, es direccionada por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (Minciencias), ente encargado de fomentar y fortalecer el Sistema Nacional de Ciencia Tecnología e Innovación (SNCTI), cuya función principal es formular, articular, ejecutar e implementar la política pública para la generación de conocimiento, su difusión y el desarrollo de las actividades de I+D+i del país.

Para llevar el control y seguimiento de la I+D+i en el país, Minciencias tiene como procesos la realización de convocatorias para el reconocimiento de los

diferentes actores que pertenecen al SNCTI, dentro de los cuales se encuentran, investigadores, grupos de investigación e instituciones públicas y privadas, como IES, centros de investigación y las empresas innovadoras que fomentan y apoyan el desarrollo de las Actividades de Ciencia, Tecnología e Innovación (ACTel).

Coherentes con estas políticas de país, tanto en educación como en investigación, las IES aúnan sus esfuerzos para impulsar y promover al interior de su comunidad académica el desarrollo de la investigación formativa, básica y aplicada, dependiendo del nivel de formación y su compromiso con la función sustantiva de investigación.

Aunque en la siguiente información no se evalúa directamente el uso de las herramientas tecnológicas, como las bases de datos, sí es relevante para el estudio identificar el nivel de participación que las IES tienen frente al desarrollo de I+D+i. Según las estadísticas presentadas por Minciencias frente a los resultados de la convocatoria 2019 realizada para el reconocimiento de investigadores, en el país se cuenta con 16 526, como lo muestra la figura 1. (Minciencias, 2019a)

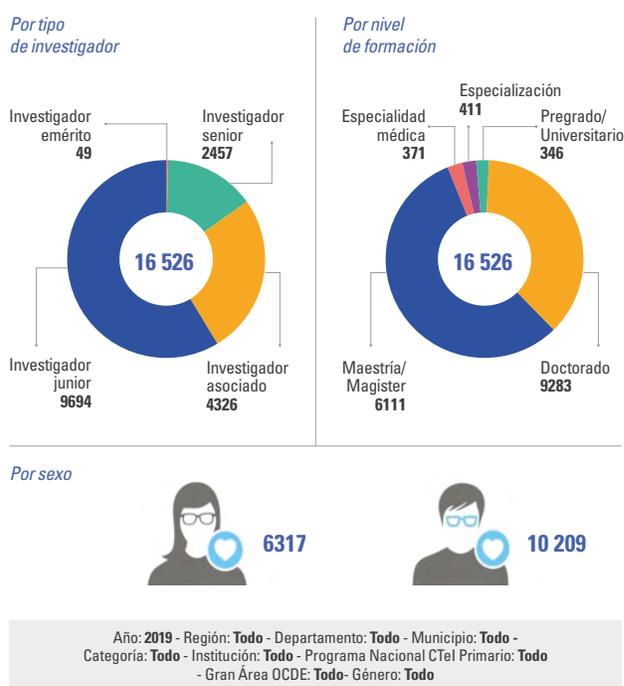


Figura 1. Investigadores reconocidos Colciencias 2019

Fuente: datos tomados de Minciencias (2019a). Fecha de revisión 2021.

Ahora bien, por su parte las IES también evidencian el desarrollo de la producción académica y científica a través de sus grupos de investigación, es así como para el mismo año 2019 se reconoció y categorizó un total de 5772, como se puede observar en la figura 2.

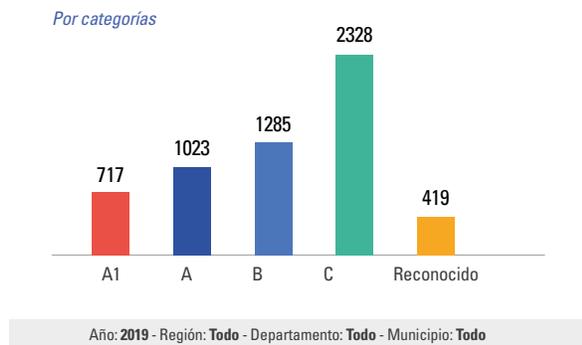


Figura 2. Reconocimiento de grupos de investigación
Fuente: datos tomados de Minciencias (2019a). Fecha de revisión 2021.

Bases de datos

El término *base de datos* fue usado en 1963 en un evento académico en California (Universidad Politécnica de Valencia, s.f.); no obstante, es hacia los años 70 que surgió para la comunidad científica la generación de bases de datos especializadas, como afirma Gil Rivera (1994, p. 4), “la expresión base de datos comenzó a popularizarse al principio de los años sesenta. Anteriormente, en el mundo de la informática se hablaba de archivos y conjuntos de datos”, dando respuesta a las necesidades de las revistas técnicas y científicas de hacer visibles sus publicaciones. Estas innovaciones tecnológicas de la comunicación y la información, permitieron optimizar los procesos editoriales y el desarrollo de publicaciones electrónicas, las cuales, como lo plantea Alonso y Reyna (2019, p. 25) “infundió una nueva dinámica a las bases de datos que eventualmente pudieron guiar al usuario hasta el texto completo de los documentos”.

Las bases de datos digitales son un recurso que permite a la comunidad educativa tener acceso a información actualizada en un área del conocimiento, son una fuente de orientación para la producción de un trabajo netamente académico o para el desarrollo de una investigación, soporte de una actividad del proceso de I+D+i. Codina (2017a, p. 6) indica que “su función principal es conseguir que los investigadores dispongan en cada caso de la información más relevante para el éxito de sus investigaciones”.

Codina (2017b, párrafo 16), en su página de sitio web define las bases de datos académicas y científicas como un “sistema de información que registra documentos y sus propiedades, que resultan de actividades académico-científicas, tales como artículos, actas de congresos y capítulos de libros”, y resalta la importancia que tiene para un investigador el poder contar con la posibilidad de acceder a información de investigaciones previas hechas en el mismo campo de su estudio, y que le garantice no estar replicando trabajos ya hechos, ni utilizar métodos no válidos que ya estén probados; otra gran ventaja de estas plataformas es facilitar las revisiones bibliográficas de manera sistemática.

En este orden de ideas, se entiende como base de datos bibliográficas o documentales, aquellas herramientas que recopilan publicaciones de contenido científico-técnico, como artículos de revistas, libros, tesis; eventos académicos, como congresos, simposios, encuentros de contenido temático, que tienen como objetivo reunir toda la producción bibliográfica posible sobre un área de conocimiento.

Estos documentos se encuentran en sistemas de información documental, programas más complejos que la simple búsqueda de información a través de navegadores por internet, conocidos como bases de datos científicas o de investigación, y pueden ser de búsqueda gratuita o por suscripción. Hoy en día se cuenta con una gran variedad de recursos tecnológicos, generando, como dice Codina (2018, p. 78), “un auténtico ecosistema, con diferentes nichos y relaciones entre los mismos”. En la siguiente figura se muestran las más reconocidas por la sociedad.



Figura 3. Navegadores y buscadores de internet
Fuente: Cabello (2016); Galileo (s.f.). Fecha de revisión 2021.

Los buscadores revolucionaron los métodos de consulta y adquisición de información actualizada, dado que arrojan una gran cantidad de resultados, sin embargo, sus publicaciones no cuentan necesariamente con un respaldo de fuentes creíbles que generen confianza en el investigador, quien requiere de la existencia de información en las diferentes áreas de conocimiento especializado que haya sido avalada por expertos, como las bases de datos que garantizan documentos evaluados y validados por la comunidad académica y científica.

Es así como los sistemas de información documental especializados son herramientas que recopilan las referencias bibliográficas de diferentes publicaciones y permiten el acceso al repositorio de documentos, resumen o texto completo, de resultados de investigaciones y publicaciones científicas-académicas de diferentes editoriales, orientados a todas las áreas del conocimiento. En la siguiente tabla se hace una revisión global de algunas bases de datos que permiten tener acceso a diferentes documentos entre artículos de

revista, informes científicos, libros entre otros, las cuales pueden ser utilizadas por parte de las IES y de los diferentes actores del sistema de investigación.

Tabla 2.
Relación base de datos gratuitas

Nombre	Nombre
Google Académico	Microsoft Academic
REDIB	LA Referencia
Redalyc	Science Research
ScienceDirect	BASE
SciELO	DOAJ
Dialnet	Latindex
iSEEK Education	RefSeek
Biology Browser	Digital csic

Nota. Información obtenida de Bibliopoli blog (2009)
Fuente: elaboración propia.

Ahora bien, hay bases de datos que requieren suscripción para lograr el acceso a una gama de repositorios académicos y científicos, lo cual implica un costo para la institución; en la siguiente tabla se relacionan las más importantes que la IES en Colombia consideran asumir por su valioso aporte de documentos altamente especializados.

Tabla 3.
Bases de datos por suscripción

Nombre	Nombre
Ebsco	ScienceDirect
Thomson Reuters	Zentralblatt MATH
Scopus	HighBeam

Fuente: elaboración propia.

El Ministerio de Educación, a través de los criterios planteados para el sostenimiento de la calidad educativa en los programas de educación superior, ha estimulado a las IES por el fomento y adquisición de recursos y servicios académicos e investigativos que permitan fortalecer el desarrollo de la producción académica y científica, impulsando la inversión en la suscripción a bases de datos especializadas que le faciliten al docente e investigador el acceso a

documentos con la información completa y arbitrada por pares académicos que validan la calidad y veracidad de estos.

Metodología

Se utilizó una metodología de tipo exploratorio y descriptivo, con enfoque mixto cuantitativo y cualitativo; es exploratorio dado que no se evidenció suficiente literatura relacionada directamente con el objeto de estudio, la investigación se estructuró tomando cuatro referentes teóricos, el primero, correspondió a una revisión de la normatividad en educación superior asociada a la investigación; el segundo, a una recopilación de información secundaria donde se tomó la información publicada en Minciencias referente a los investigadores reconocidos en la convocatoria 833 de 2018; posteriormente, se estableció una búsqueda de aquellas bases de datos especializadas de acceso abierto y por suscripción más utilizadas; y, por último, se diseñó una encuesta que se aplicó a una muestra de 164 docentes de 10 IES del sector aeronáutico del país, tanto del sector público como privado. El criterio de esta muestra fue al azar, se basó en lo planteado por Mertens (2010) y Borg y Gall (1989) citados por Hernández (2014, p. 221) según “tamaños de muestras mínimos en estudios cualitativos”.

Como complemento a la revisión documental, y con el propósito de hacer una exploración de las bases de datos más usadas por algunos docentes, se diseñó una encuesta utilizando el programa de Microsoft Forms, y la interpretación de esta se hizo mediante el programa de Excel, el cual facilitó el desarrollo del análisis estadístico. Se tomó para la aplicación de la encuesta diez IES cuyos programas académicos son acreditados ante el Ministerio de Educación Nacional, y una muestra de 164 docentes de tiempo completo, teniendo en cuenta que son ellos realmente los responsables de cumplir la función investigativa.

Los resultados arrojaron que, más del 87 % de los docentes encuestados conocen las bases de datos que les ofrece la institución para el desarrollo de su trabajo

y en especial de sus investigaciones, aún existe un porcentaje del 13 % que afirma no conocer este tipo de herramienta en la institución.

Análisis de resultados

Frente a la revisión de investigaciones orientadas directamente a evaluar, medir o analizar el verdadero uso de las bases de datos por parte de los académicos para el desarrollo de sus actividades inherentes a su quehacer profesional e investigativo, se encontró muy poca información de investigaciones que profundizaran en esta temática.

Agudelo *et al.* (2003, p. 28) concluyeron que, “esencialmente se hace necesario revalorar los esfuerzos latinoamericanos para dar difusión y promover el uso y citación de las investigaciones vertidas en las revistas latinoamericanas, ya que, de lo contrario, estos recursos caerían en la categoría de «ciencia perdida»”.

Julián Cortés en el 2014 realizó una investigación asociada a la producción científica apoyada con el uso de las bases de datos, reveló en términos generales que con relación a las 27 universidades colombianas acreditadas para esa época, la producción de sus docentes de tiempo completo era muy débil, “Mientras 6 (22%) de las universidades acreditadas en el país hacen un uso eficiente de los recursos para el avance de la producción científica, más del doble —14 (53%)— se encuentra entre el 3º y 4º cuartil y que el uso de las bases de datos gratuitas o con costo era aún más deficiente, concluyendo que, no hay un uso eficiente de estos recursos en general” (Cortés, 2016, p.10).

Ahora bien, con relación a los resultados encontrados en la encuesta aplicada por parte de los autores, a una muestra de 164 docentes universitarios tanto de entidades públicas como privadas se puede establecer:

En cuanto a género se encontró que, de los 164 encuestados, predomina los hombres, 100 sobre 64 mujeres, dando un porcentaje del 69.98 % frente al 39.02 %.

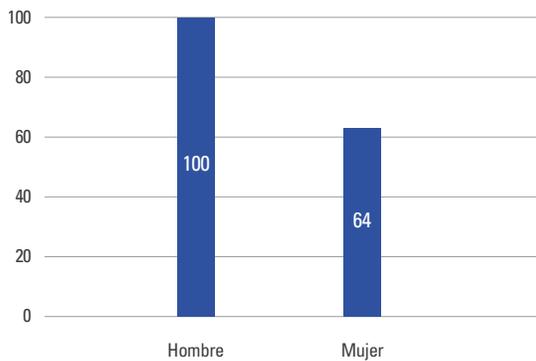


Figura 4. Encuesta por género
Fuente: elaboración propia (2021).

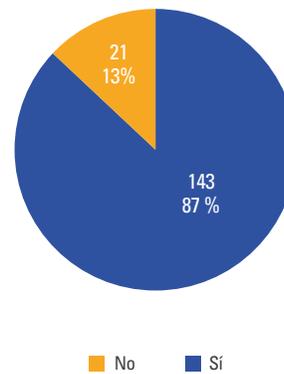


Figura 6. ¿Conoce las bases de datos a las que está inscrita su Institución de Educación Superior (IES)?
Fuente: elaboración propia (2021).

Resultados por pregunta

A la pregunta. ¿Realiza funciones de investigación? El 85 % de los encuestados afirma tener responsabilidades en investigación, frente a un 15 % que responden no tener funciones investigaciones en sus IES.

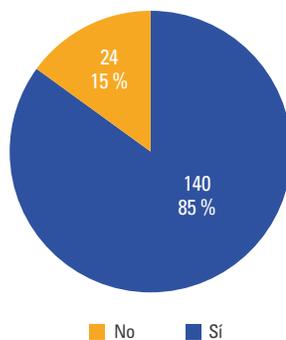


Figura 5. ¿Realiza funciones de investigación?
Fuente: elaboración propia (2021).

Con relación a esta pregunta, se identifica cómo algunos docentes no consideran como parte de sus funciones el desarrollo de la investigación.

En la encuesta se exploró el conocimiento que los docentes tienen de las bases de datos especializadas con la pregunta ¿Conoce las bases de datos a las que está inscrita su Institución de Educación Superior (IES)?

El 87 % respondió tener conocimiento de las bases de datos que la institución a la cual pertenece le facilita para el desarrollo de su función, no obstante, se evidencia que existe un porcentaje del 21 % que manifiesta no tener conocimiento de dichas bases.

Esta pregunta lleva a cuestionar qué tanta información la institución ofrece a su comunidad de la existencia de las bases de datos, y a cuáles está inscrita para que puedan tener acceso y hacer uso de estas.

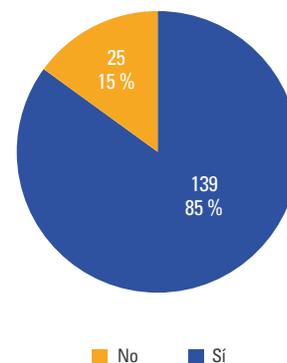


Figura 7. ¿Para el desarrollo de su función como docente y/o investigador, ha hecho uso del material de bases de datos especializadas?
Fuente: elaboración propia (2021).

Frente a la pregunta si para el desarrollo de su función en docencia e investigación ha hecho uso del material de base de datos especializadas, se encuentra que el 85 % sí las usa, frente al 15 % que no.

Analizando esta pregunta con la anterior, se puede observar que frente al 85 % que respondió conocer las bases de datos de la institución, un 6 % parece no hacer uso de estas para el desarrollo de sus investigaciones.

Con respecto a la promoción que ellos hacen del uso de las bases de datos en sus estudiantes, sigue siendo coherente con los porcentajes anteriores, dado que el 88 % motiva esta práctica para el desarrollo de actividades académicas al interior de su aula, pero un 12 % no la promociona entre sus estudiantes.

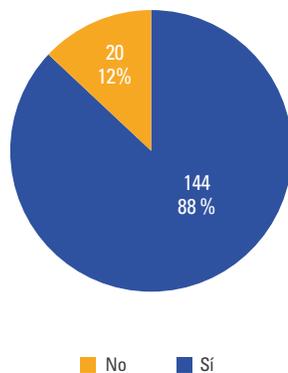


Figura 8. ¿Promueve en sus estudiantes el uso de las bases de datos a las que está inscrita su Institución de Educación Superior (IES)?

Fuente: elaboración propia (2021).

Es importante que el docente promocióne y fomentóne para el desarrollo de los trabajos de sus estudiantes el uso de las bases de datos que la institución tiene, lo anterior dado a que permite identificar la necesidad de aquellas bases de datos especializadas que se requieren para desarrollo profesional, y así gestionar la suscripción a estas.

Al querer evaluar e identificar el conocimiento que tienen los encuestados de las bases de datos y su uso, se evidencia en la siguiente figura el número de veces que nombraron una base de datos en particular, como recurso para sus investigaciones. Las cuatro primeras barras muestran las bases de datos más populares, por ejemplo, Scopus y ScienceDirect fueron nombradas más de 60 veces; las seis siguientes se refieren a las bases de datos mencionadas entre un rango de 10 a 13 veces, y las demás, menos de 10 veces. A continuación, se puede evidenciar las respuestas de los docentes.

Se puede evidenciar que los docentes que usan las bases de datos prefieren aquellas que cuentan con una suscripción, como: ScienceDirect, Scopus, Ebsco, dado que les garantiza que los artículos sean revisados por pares. Cabe resaltar que estas bases que, aunque muchos documentos se encuentran disponibles, otros de mayor relevancia investigativa y de conocimiento especializado requieren de la licencia de usuario para descargarlos.

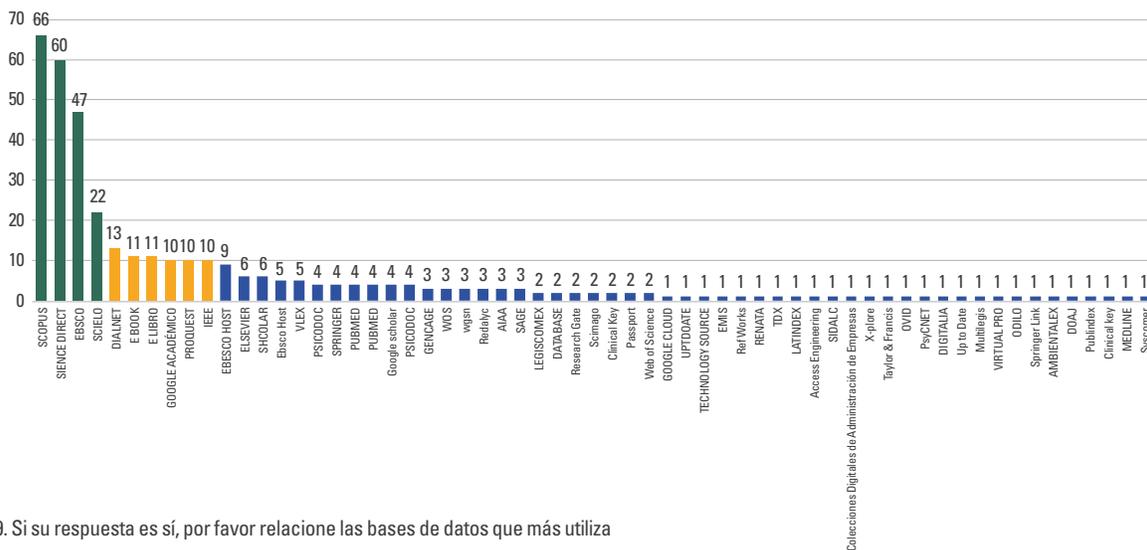


Figura 9. Si su respuesta es sí, por favor relacione las bases de datos que más utiliza

Fuente: elaboración propia (2021).

Ahora bien, ante la pregunta, ¿tiene publicaciones especializadas?, se puede ver que aumenta de forma significativa el porcentaje en que no se visibiliza la producción por parte de los docentes de la muestra, incrementado a un 51 % la respuesta de no publicar.

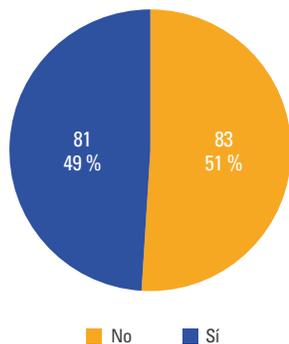


Figura 10. ¿Tiene publicaciones especializadas?
Fuente: elaboración propia (2021).

Lo interesante por resaltar de la anterior figura es que, a pesar de que en todas las preguntas acerca de si los docentes conocen, utilizan y promover en los estudiantes las bases de datos especializadas, las respuestas positivas son más del 85 % de los encuestados; no obstante, cuando la pregunta es si tienen publicaciones especializadas, solo el 49 % de los encuestados contesta que sí.

Lo anterior refleja que los docentes de la muestra realmente no hacen un uso eficiente de las bases de datos para dar a conocer a la comunidad académica y científica los resultados de su producción, y que solo ven en este recurso la posibilidad de buscar información, mas no la oportunidad de publicar para aportar al campo de su conocimiento.

Conclusiones

Las bases de datos bibliográficas son en la actualidad una de las herramientas más utilizadas para el acopio y consolidación de documentos académicos y científicos especializados, se han convertido en una

estrategia para la recopilación de información de fuentes secundarias y le permiten al investigador abordar su investigación a partir de otros estudios asociados a su área de conocimiento.

Las bases de datos académicas son, como lo afirma Codina (2017), el principal recurso de ideación para un investigador, y garantiza no estar replicando trabajos ya hechos, ni invirtiendo energías en métodos que se han probado poco útiles en investigaciones anteriores.

El propósito de este estudio buscó identificar en una población de docentes de 10 IES, el uso de los recursos tecnológicos, en este caso las bases de datos que tienen las Instituciones de Educación Superior estudiadas, para el desarrollo de producción académica y científica por parte de su comunidad.

Cabe resaltar que son pocos los estudios realizados frente a evaluar el impacto del uso de los recursos de información digital por parte de los docentes y, dado que como no se ha investigado y profundizado lo suficiente, sería muy importante establecer una línea de investigación orientada a este campo del conocimiento.

Se encuentra que estos recursos no son lo suficientemente utilizados y aprovechados por la comunidad académica de las IES evaluadas, las razones pueden ser varias: por desconocimiento de su existencia, por falta de difusión y divulgación, por la dificultad de acceder a estas o por los altos costos que implica tenerlas por parte de las instituciones.

El principal problema que se presenta con algunas de las bases de datos académicas gratuitas es que ellas, únicamente, dan información del documento y su publicación, convirtiéndose en un directorio bibliográfico, dificultando así el acceso a la información completa que se requiere para los soportes teóricos y referentes de una investigación.

Se identifica en este estudio cómo algunos de los docentes no consideran parte de sus funciones el desarrollo de la investigación, motivo por el cual su producción es tan baja.

Para que la producción de los docentes e investigaciones tenga el nivel de calidad, impacto y viabilidad, se debe promover y estimular en la comunidad

académica y científica la cultura de buscar en esas bases de datos especializadas la información requerida; así mismo, conviene incentivar la publicación de resultados de sus investigaciones.

Referencias

- Agudelo, E., Sandoval, E. y Chávez, S. (2003). La ciencia perdida y las nuevas tecnologías de divulgación del conocimiento: el proyecto - Redalyc. *Educación y Ciencia*, 7-13.
- Alonso, J. O. y Reyna, F. (2019). Revistas latinoamericanas de ciencia, tecnología y medicina en la base de datos. *Iberisid: Revista de Sistemas de Información y Documentación*, 21-28.
- Bibliopoli. (29 de abril de 2020). *Bases de datos de acceso abierto*. <https://bibliopoli.wordpress.com/12-bases-de-datos-de-acceso-abierto/>
- Buitrago, R. (2019). Análisis bibliométrico sobre la producción científica en distribución en planta en la red Redalyc durante el periodo 207-2017. *Scientia et Technica*, 1.
- Cabello, C. (7 de julio de 2016). *Navegadores web: ¿hay uno mejor que otro? Nobbot. Tecnología para las personas*. <https://www.nobbot.com/redes/navegadores-web-uno-mejor/>
- Codina, L. (Febrero de 2017a). *Investigación con base de datos. Análisis de componentes y estudio de caso*. Universitat Pompeu Fabra.
- Codina, L. (Febrero de 2017b). *Investigación con bases de datos. Estructura y funciones de las bases de datos académicas, análisis de componentes y estudio de caso*. Universitat Pompeu Fabra. https://repositori.upf.edu/bitstream/handle/10230/28135/Codina_2017_estrucbd.pdf
- Codina, L. (2018). Sistemas de búsqueda y obtención de información: componentes y evolución. *Anuario ThinkEPI*, 78.
- Codina, L. (11 de agosto de 2020). *Estructura y funciones de las bases de datos académicas: fundamentos generales | El registro*. <https://www.lluiscodina.com/bases-de-datos-academicas-registros/>
- Cortés, J. D. (2016). Eficiencia en el uso de bases de datos digitales para la producción científica en universidades de Colombia. *Española de Documentación Científica*, 1-15.
- Galileo. (s.f.). *Historia de los buscadores o motores de búsqueda*. <https://sites.google.com/a/galileo.edu/proyecto-9310/>
- Gil, M. D. (Julio-septiembre de 1994). La base de datos. Importancia y aplicación en educación. *Perfiles Educativos*, (65), 1-9. <https://www.redalyc.org/pdf/132/13206506.pdf>
- Hernández, R. (2014). *Metodología de la investigación* (6.ª edición). McGraw-Hill.
- Minciencias. (26 de abril de 2019a). *Estadísticas generales, grupos e investigadores*. <https://minciencias.gov.co/la-ciencia-en-cifras/estadisticas-generales>
- Minciencias. (20 de abril de 2019b). *Grupos de investigación reconocidos*. <https://minciencias.gov.co/la-ciencia-en-cifras/grupos>
- Ministerio de Educación. (28 de diciembre de 1992). *Ley 30 de 1992. Por el cual se organiza el servicio público de la educación superior*. Bogotá.
- Ministerio de Educación. (25 de abril de 2008). *Ley 1188 de 2008. Por la cual se regula el registro calificado de programas de educación superior y se dictan otras disposiciones*. Bogotá.
- Ministerio de Educación. (26 de mayo de 2015). *Decreto 1075. Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Educación*. Bogotá.
- Ministerio de Educación. (25 de julio de 2019a). *Decreto 1330 de 2019. Por el cual se sustituye el capítulo 2 y se suprime el capítulo 7 del título 3 de la parte 2019*. Bogotá.
- Ministerio de Educación. (8 de febrero de 1994). *Ley 115 de 1994. Ley general de educación*. Bogotá: Congreso de la República.
- Ministerio de Educación. (25 de julio de 2019b). *Decreto 1330 de 2019. Por el cual se sustituye el capítulo 2 y se suprime el capítulo 7 del título 3 de la parte 5 del libro 2 del Decreto 1075*. Bogotá.
- Ministerio de Educación. (17 de mayo de 2020). *Sistema educativo colombiano*. <https://www.mineducacion.gov.co/portal/Educacion-superior/Sistema-de-Educacion-Superior/231235:Sistema-Educativo-Colombiano>
- Observatorio de la Universidad Colombiana. (9 de septiembre de 2019). *Ya va en 296 el número de IES en Colombia*. <https://www.universidad.edu.co/ya-va-en-296-el-numero-de-ies-en-colombia/>
- Universidad Politécnica de Valencia. (s.f.). *Historia de las bases de datos. Blog de la asignatura Historia de la Informática de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática de la Universidad Politécnica de Valencia*. <https://histinf.blogs.upv.es/2011/01/04/historia-de-las-bases-de-datos/>

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/cienciaypoderaereo>) o al correo cienciaypoderaereo@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.
- 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/cienciaypoderareo/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/cienciaypoderareo>

Dirija sus inquietudes al correo electrónico:

✉ cienciaypoderareo@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 and 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
- 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

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

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
- 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.

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



02

Vol. 17

Institución Universitaria, Resolución 1906 MEN, agosto del 2002

Julio-diciembre del 2022 | pp. 1-168

CIENCIA Y PODER AÉREO

Revista Científica de la Escuela de Postgrados Fuerza Aérea Colombiana

Vol. 17 n.º 2 | julio-diciembre del 2022 | pp. 1-168 | ISSN 1909-7050 E-ISSN 2389-9468

Doi: <https://doi.org/10.18667/issn.1909-7050> | Bogotá, Colombia | Periodicidad semestral

