

CIENCIA Y PODER AÉREO

Revista Científica de la Escuela de Postgrados de la Fuerza Aérea Colombiana

ISSN 1909-7050 E-ISSN 2389-9468

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



01

Vol. 15

Institución Universitaria, Resolución 1906 MEN, agosto del 2002

enero-junio de 2020 | pp. 1-193



www.publicacionesfac.com

CIENCIA Y PODER AÉREO

Revista Científica de la Escuela de Postgrados de la Fuerza Aérea Colombiana

ISSN 1909-7050 E-ISSN 2389-9468



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

Escuela de Postgrados de la Fuerza Aérea Colombiana

Director

CR. Oscar Javier Gómez Muñoz

Subdirector General

CR. Robert Santiago Quiroga Cruz

Comandante Grupo Académico

CR. Jorge Iván Marín Herrera

Comandante Escuadrón de Investigación

TC. Wilson Augusto Jaramillo García



Revista Ciencia y Poder Aéreo

Journal Science and Air Power
Revista Ciência e Poder Aéreo

Director | Director | Diretor
TC. Wilson Augusto Jaramillo García

Editor | Editor | Editor
Mg. Erika Juliana Estrada Villa

Equipo editorial | Editorial team | Equipe editorial

Editora Adjunta | Assistant Editor | Associative editor
TE. Lady Johanna Carvajal Parra

Editora Adjunta | Assistant Editor | Associative editor
Deisy Carolina Gutiérrez Rozo

Coordinación Editorial | Editorial coordination | Coordenação editorial
Juan David Ardila Suárez

Asistencia editorial | Editorial assistance | Assistência editorial
Ana María Castillo Montaña

Corrección de texto | Copyediting | Revisor de textos
Español: Angie Sánchez

Inglés: Leonardo Andrés Paipilla Pardo
Portugués: Nathalie Quiroga

Diseño editorial | Editorial Design | Design editorial
Escuadrón de Investigación y equipo editorial

Traducción de contenidos | Content translation | Tradução de conteúdo
Inglés: Leonardo Andrés Paipilla Pardo
Portugués: Nathalie Quiroga

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

Corrección de sintaxis | Proofreading | Revisor de textos
Hernán Medina Botero

Información técnica | Technical Information | Informações técnicas

Depósito Digital
Volumen 15 n.º 1 | Enero-Junio del 2020
Periodicidad semestral
ISSN versión impresa 1909-7050
ISSN versión electrónica 2389-9468
DOI: <https://doi.org/10.18667/issn.1909-7050>
Bogotá – Colombia (Suramérica), 2020

Comité editorial | Editorial Board | Comitê editorial

Ramón Fernando Colmenares
Postdoctorado en Ingeniería Aeroespacial
Universidad Cooperativa de Colombia

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

Juan Pablo Casas Rodríguez
Ph. D. in Mechanical and Manufacturing Engineering
Director de Ingeniería Mecánica
Universidad de los Andes, Colombia

Jose M. Garcia-Bravo
Ph. D. in Engineering, Fluid Power Specialization
M. Sc in Engineering, MA in Teaching of Spanish
Purdue University, EE. UU.

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

Comité científico | Scientific Board | Comitê científico

Cristina Cuerno Rejado
Doctorado en Ingeniería Aeronáutica
Universidad Politécnica de Madrid, España

Javier Alberto Pérez-Castán
Ph. D. in Aeronautical Engineering
Universidad Politécnica de Madrid, España

Avid Roman-Gonzalez
Ph. D. in Signal and Image Processing
Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur, Perú

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

Hernán Cerón-Muñoz
Doctorado en Ingeniería Mecánica
Universidade de São Paulo, Brasil

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

Pares académicos | Academic Peers | Pares académicos

Katherina Edith Gallardo Córdova

Ph. D. en Innovación y Tecnología Educativa
Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, México

María Mercedes Martin

Mg. en Procesos Educativos Mediados por Tecnologías
Universidad Nacional de la Plata, Argentina

Celso Gutiérrez Martínez

Doctorado en Ciencias, especialidad en Óptica
Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica, México

Hernán Paz Penagos

Maestría en Teleinformática. Ingeniería Eléctrica
Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Colombia

Fabio Emiro Sierra

Ph. D. en Ingeniería
Universidad Nacional de Colombia, Colombia

Pedro Jiménez

Maestría en Ingeniería Aeroespacial
Universidad de San Buenaventura, Colombia

Andrés Eduardo Fernández Osorio

Ph. D. en Derecho y ciencias políticas
Escuela Militar de Cadetes General José María Córdova, Colombia

Jerónimo Ríos Sierra

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

Raúl Benítez Manaut

Ph. D. en Estudios Latinoamericanos
Universidad Nacional Autónoma de México, México

Juan Daniel Gómez Rojas

Postdoctorado Center For Addiction and Mental Health
Pontificia Universidad Javeriana, Colombia

Jorge Luis Acosta Reyes

Doctorado en Epidemiología y Salud Pública
Universidad de Antioquia, Colombia

Orlando Torres Fernandez

Doctorado de Ciencia Biomédicas
Universidad del Valle, Colombia

Javier Valencia

Doctorado en sistemas propulsivos en medios de transporte
Fundación Universitaria Los Libertadores, Colombia

Albeiro Espinosa Bedoy

Ph. D. en Ingeniería
Universidad Nacional de Colombia, Colombia

Enrique Moguel

Ph. D. on Computer Science
Universidad de Extremadura, España

Naydu Acosta Ramírez

Doctorado en Ciencias en Salud Pública
Universidad Santiago de Cali, Colombia

Víctor Rico

Maestro en Ciencias, especialidad en Medicina Aeroespacial
Vicepresidente de la Asociación Mexicana de Medicina Aeroespacial

Mauricio Hernández Pérez

Maestría en Estudios Políticos y Relación
Universidad de la Salle, Colombia

Martha Patricia Fernández Daza

Doctorado en Psicología de la Salud
Universidad Cooperativa de Colombia, Colombia

Julián Sierra-Pérez

Ph. D. en Ingeniería Aeroespacial
Universidad Pontificia Bolivariana, Colombia

Luisa Fernanda Mónico Muñoz

Ph. D. en Sistemas Propulsivos en Medios de Transporte
Fundación Universitaria los Libertadores, Colombia

Para suscripciones o canjes, dirijase a:

Revista Ciencia y Poder Aéreo

Journal of Science and Air Power | Revista Ciência e Poder Aéreo

✉ cienciaypoderareo1@gmail.com

(057-1) 620 6518 Ext. 1700, 1715, 1722, 1730

Biblioteca Escuela de Postgrados de la Fuerza Aérea Colombiana

Para mayores informes:

Dirección postal | Mailing Address | Endereço postal

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

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

(057-1) 620 6518. Ext. 1700, 1715, 1722, 1730

www.publicacionesfac.com

Contenido

7-15

Editorial | Editorial | Editorial

Abraham Ortiz Miranda y Erika Juliana Estrada Villa

Seguridad Operacional y Logística Aeronáutica

16-23

Fortalecimiento del proceso de certificación aeromédica en la Fuerza Aérea Colombiana

Strengthening the Aeromedical Certification Process of the Colombian Air Force

Fortalecimento do processo de certificação aeromédica na Força Aérea Colombiana

Luis Alberto Saavedra Martínez

24-38

Apoio a la investigación de accidentes aéreos con el uso de RPAS

Supporting the Investigation of Aircraft Accidents Using RPAS

Apoio à pesquisa de acidentes aéreos com o uso de RPAS

Edgar Leonardo Gómez Gómez, Julio Enoc Parra Villamarín, Julieta Vélez Mejía

39-52

Herramienta de entrenamiento neuropsicológico para operadores de Aeronaves Remotamente Tripuladas Scan Eagle

Neuropsychological Training Tool for Scan-Eagle Unmanned Aerial Vehicles Operators

Ferramenta de treinamento neuropsicológico para operadores de aeronaves remotamente pilotadas ScanEagle

Gerson Adolfo Páez López, María Alejandra Corzo Zamora,

Alexander Díaz Ariza y Nohora Inés Rodríguez Guerrero

Gestión y Estrategia

53-70

El derecho operacional y la cultura de paz en la institución castrense

Operational Law and the Culture of Peace in a Military Institution

O Direito Operacional e a cultura da paz na instituição militar

Luis Antonio Martín Moreno

71-86

La Superioridad Aérea en las políticas de seguridad y defensa de Suramérica

Supremacy in South American Air Security and Defense Policies

Superioridade Aérea nas políticas de segurança e defesa da América do Sul

David González-Cuenca, Douglas Eduardo Molina-Orjuela

87-107

La inteligencia militar como actor fundamental en el afianzamiento de los escenarios de paz

Military Intelligence as a Key Player in the Consolidation of Peace Scenarios

A inteligência militar como ator fundamental na consolidação dos cenários de paz

Abdón Estibenson Uribe Taborda, Leonardo de Jesús Mesa Palacio

Tecnología e Innovación

108-134

Sustainable Design of a Nanosatellite Structure Type CubeSat as a Modular Platform for Tests

Diseño sostenible de una estructura nanosatélite tipo CubeSat como plataforma modular para pruebas

Design sustentável de uma estrutura de nanossatélites do tipo CubeSat como plataforma de teste modular

German Wedge Rodríguez Pirateque, Nelson Arzola de la Peña, Ernesto David Cortés García

135-151

Diseño e implementación de un control mecánico con cables tipo *Push-Pull* para un banco de pruebas en tierra de motores PT6

Design and Deployment of a Mechanical Control with Push-Pull Cables in a Ground Workbench for PT6 Engines

Desenho e implementação de um controle mecânico com cabos Push-Pull para um bancada experimental em terra para motores PT6

Juan Sebastián Solís Chaves, Jeison Ferney Barrios Rojas, Nelson Arturo Jiménez Acuña, César Geovany Quiroga Vargas, Ángela Paola Sánchez Alba

152-160

Revisión teórica y aplicación práctica de las ciencias del espacio para reducir el consumo de combustibles en cohetes y vehículos espaciales

Theoretical Review and Application of Space Science to Reduce Fuel Consumption of Rockets and Space Vehicles

Revisão teórica e aplicação prática das ciências do espaço para reduzir o consumo de combustíveis em foguetes e veículos espaciais

Guillermo Alberto Poveda Zamora

Educación y TIC

161-177

Mediación virtual en la enseñanza y la instrucción: avances y retos

Virtual Mediation in Teaching and Training: Advances and Challenges

Mediação virtual no ensino e a instrução: progressos e desafios

María del Pilar García-Chitiva

182-193

Instrucciones para autores | Guidelines for Authors | Instruções para autores



| Fotografía: Revista Aeronáutica, Fuerza Aérea Colombiana |

Editorial

Sesenta años no se cumplen todos los días, máxime si se considera que, en casi más de medio siglo, las sociedades tienden a crear y sortear diversos cambios estructurales que transforman sus perspectivas sobre la realidad. Un ejemplo de lo anterior es el conflicto armado interno, que ha atravesado la historia nacional y el reciente periodo de posacuerdo con miras a la concordia y la avenencia.

En tales circunstancias, de reinterpretación del pasado y de construcción de un futuro bajo la égida de la paz, es destacable la labor que ha realizado durante un centenario la Fuerza Aérea Colombiana (FAC). No obstante, los objetivos cumplidos y el sempiterno respaldo que la institución ha brindado a los colombianos con entrega y vocación, no hubiera sido posible sin el cabal desarrollo y constante mejoramiento en la calidad de la formación posgradual. Esta labor educativa es impartida al personal desde las aulas de clase y centros de investigación que componen la Escuela de Postgrados de la Fuerza Aérea Colombiana (EPFAC); dicha academia permite que la seguridad nacional ejercida desde los aires, se mantenga humanamente cercana a las necesidades de la población.

La EPFAC se ha construido como institución de educación superior debido a su amplia trayectoria de impecable formación militar y disciplinada educación posgradual en el ámbito aeronáutico. Tales características le permiten a la EPFAC impactar positivamente en todos los desarrollos, emprendimientos e innovaciones que actualmente se están llevando cabo en el país, en los sectores aéreo y espacial, siendo tal estandarte la consideración más apreciada en sus publicaciones científicas, entre ellas, el actual número al que tiene acceso todo el público lector de la *Revista Ciencia y Poder Aéreo*.

Esta gratificante labor es presentada por parte de la EPFAC, como el primer número de la presente revista científica para el año en curso. Esta se enarbola como mención honorífica en razón a que contiene diversos artículos científicos inéditos, que describen de manera sistemática, los resultados originales derivados de proyectos de investigación o desarrollo tecnológico, así como de profundos procesos de reflexión y revisión. Los mencionados escritos se encuentran ubicados en cada una de las secciones que se describen a continuación:

En la sección **Seguridad Operacional y Logística Aeronáutica** se incluyen tres artículos: en el primero, Luis Alberto Saavedra Martínez presenta un procedimiento para el “Fortalecimiento del proceso de certificación aeroméica en la Fuerza Aérea Colombiana”, que brinda alternativas para aumentar la objetividad de las decisiones en términos de certificación, tomando como punto de partida la propuesta de estratificar los certificados, acorde con el equipo que se opere y la responsabilidad ocupada en la aeronave, así como el fortalecimiento de la toma de decisiones aeroméicas.

Las reflexiones de los autores Edgar Leonardo Gómez Gómez, Julio Enoc Parra Villamarín, Julieta Vélez Mejía, en el artículo “Apoyo a la investigación de accidentes aéreos con el uso de RPAS”, constituye un análisis teórico inicial que busca definir un procedimiento estandarizado para la recolección de información en la escena de un accidente aéreo, haciendo uso de sistemas RPAS; lo anterior es la apertura para la creación del manual de investigación de accidentes aéreos. Se presenta un análisis de los tipos de RPAS que pueden ser usados para esta tarea, también se propone los procedimientos para la investigación usando estos equipos, y se analiza el tipo de información que el RPAS puede obtener.

En el artículo que cierra la primera sección, “Herramienta de entrenamiento neuropsicológico para operadores de Aeronaves Remotamente Tripuladas Scan Eagle”, sus autores, Gerson Adolfo Páez López, María Alejandra Corzo Zamora, Alexander Díaz Ariza y Nohora Inés Rodríguez Guerrero, de la Maestría en Seguridad Operacional de la EPFAC, presentan una herramienta de entrenamiento neurocognitivo autónomo para los operadores de ART en la Fuerza Aérea Colombiana, orientada al mejoramiento de habilidades y a potencializar el pensamiento automático intuitivo con menor carga cognitiva, como alternativa adicional para complementar el entrenamiento de los operadores de ART.

La sección **Gestión y Estrategia** cuenta con tres artículos: Luis Antonio Martín Moreno da apertura con su escrito “El derecho operacional y la cultura de paz en la institución castrense”. El propósito de este artículo es dejar entrever el debate existente entre el

Derecho Internacional Humanitario (DIH) y su importancia en los nuevos contextos de aplicación de la fuerza legalmente constituida, en razón a la fluidez con la que mutan las amenazas a la seguridad nacional.

En el segundo artículo, David González-Cuenca y Douglas Eduardo Molina-Orjuela abordan la temática de “La Superioridad Aérea en las políticas de seguridad y defensa de Suramérica”. Presentan una perspectiva del empleo del Poder Aéreo en Colombia frente a los retos de la Seguridad Multidimensional. Para este propósito, los autores aplicaron la metodología de revisión y análisis documental, lo que les permitió efectuar un examen comparativo de los elementos teóricos, conceptuales y prácticos del Poder Aéreo con un especial énfasis en la Superioridad Aérea.

El siguiente escrito es “La inteligencia militar como actor fundamental en el afianzamiento de los escenarios de paz”. Allí, sus autores Abdón Estibenson Uribe Taborda y Leonardo de Jesús Mesa Palacio muestran las perspectivas que deben tener las fuerzas militares; basados en las vivencias de otros países, que han sufrido etapas de conflicto y posconflicto, exponen un panorama de los posibles escenarios que se pueden presentar para Colombia y las capacidades que debe mantener o adquirir la inteligencia militar para contrarrestarlas.

En la tercera sección, titulada **Tecnología e Innovación**, los autores Germán Wedge Rodríguez Pirateque, Nelson Arzola de la Peña y Ernesto David Cortés García presentan el estudio “Sustainable Design of a Nanosatellite Structure Type CubeSat as a Modular Platform for Tests”, con el cual describen la aplicación y desarrollo del proceso de diseño sostenible en estructuras modulares de satélites de pequeña escala, bajo el estándar tipo CubeSat. En este trabajo los autores resaltan el aprovechamiento de dichas estructuras modulares, como medios para el desarrollo de pruebas de laboratorio y experimentación, con las que se pueden aproximar diferentes condiciones operacionales, como las que los satélites reales pueden requerir en su órbita de trabajo.

Posteriormente, los autores Juan Sebastián Solís Chaves, Jeison Ferney Barrios Rojas, Nelson Arturo Jiménez Acuña, César Geovany Quiroga Vargas, Ángela

Paola Sánchez Alba presentan la investigación "Diseño e implementación de un control mecánico con cables tipo *Push-Pull* para un banco de pruebas en tierra de motores PT6". El análisis se realizó en un banco de pruebas de motores turbohélice, para la operación en tierra, con mezcla de combustible fósil (JET-A1) y biocombustible (biodiesel). Mediante una metodología empírico-analítica, los investigadores realizaron pruebas funcionales del motor por medio de la operación de palancas y cables de control mecánico, con el fin de efectuar las pruebas de mezclas de biocombustible en todos los parámetros de funcionamiento del motor, desde mínimas a máximas revoluciones por minuto (RPM), para verificar los parámetros de flujo de combustible, temperatura, torque e integridad mecánica de los componentes del motor, obteniendo información veraz del comportamiento del mismo, para su uso con biocombustibles.

En el artículo "Revisión teórica y aplicación práctica de las ciencias del espacio para reducir el consumo de combustibles en cohetes y vehículos espaciales", del autor Guillermo Alberto Poveda Zamora, se demuestra la ventaja de la posición natural de la línea del ecuador en el planeta Tierra para el lanzamiento de vehículos espaciales y cohetes, todo a través reflexiones teóricas matemáticas. Dicha información permitirá a los lectores ahondar en las ciencias espaciales de manera sencilla, ya que allí encontrarán conceptos y análisis contextuales que, con el apoyo de diagramas y figuras, permiten el estímulo para una adecuada comprensión del tema. Por lo tanto, recomendamos especialmente este artículo con la intención de promover el saber espacial que, en palabras del autor, es una "fuente dinamizadora en la investigación de un campo poco estudiado hasta hoy, pero con inmensas posibilidades de exploración y múltiples perspectivas de beneficio social".

Finalmente, el presente número cierra con su sección de **Educación y TIC**, presentando un escrito de la docente María del Pilar García-Chitiva, en el que aborda la "Mediación virtual en la enseñanza y la instrucción: avances y retos". A partir de un estudio bibliométrico, la autora establece el alcance de las investigaciones que hasta la fecha se han desarrollado, en torno a la inclusión de mediciones virtuales en esta área. Su objetivo es identificar el contexto de antecedentes para desarrollar un modelo de instrucción, entrenamiento y evaluación para controladores de tránsito aéreo mediado por las TIC.

A partir de las descripciones de los artículos que integran la decimoquinta edición de la *Revista Ciencia y Poder Aéreo*, es factible considerar esta publicación como un insumo indiscutible para estudiantes y profesores universitarios, investigadores y profesionales del ámbito aeronáutico militar. El contenido propicia una lectura reflexiva y la interminable tarea de generar conocimiento en las temáticas desarrolladas en cada documento, alimentando los debates y perspectivas allí planteados.

No nos podemos despedir sin antes agradecer la colaboración de los autores, quienes con sus contribuciones elevan la rigurosidad científica de la Revista. También hacemos extensivo el agradecimiento al equipo de Pares Académicos quienes, con sus valiosas revisiones, recomendaciones y sugerencias, hicieron de esta, una publicación con un alto nivel de calidad, acorde con las nuevas exigencias de los sistemas de indexación y resumen nacional e internacional. Así mismo, damos la bienvenida y agradecemos la invaluable labor de nuestro Comité Editorial y Científico.

Abraham Ortiz Miranda
Erika Juliana Estrada Villa

Editorial

Sixty years are not celebrated every day, especially considering that in almost more than half a century societies tend to create and undergo various structural changes that transform their perspectives about reality. An example of this is the internal armed conflict, which has marked Colombian history and steered the recent post-agreement period toward an era of concord and a spirit of compromise.

In such circumstances, which call for reinterpreting the past and building a future under the aegis of peace, the role played by the Colombian Air Force (FAC) over one hundred years is more than remarkable. However, the goals accomplished and the everlasting support that this institution has provided to Colombian people with dedication and a strong vocation, would not have been possible without the full development and constant improvement in the quality of postgraduate education and training. This educational mission is bestowed from the classrooms and research centers that make part of the Postgraduate School of the Colombian Air Force (EPFAC, in Spanish), an academy that allows national security to be exercised from the air and to remain humanely close to the needs of Colombian population.

The EPFAC has been built as a higher education institution due to its long history of impeccable military training and disciplined postgraduate education within the aeronautical field. Such characteristics allow EPFAC to positively impact all the developments, ventures, and innovations currently taking place in the air and space sectors of our country, as well as clearly depict high quality standards through its scientific publications, among them, the current issue of *Ciencia y Poder Aéreo* journal, now available to all our readers.

This rewarding enterprise is presented by EPFAC through the first issue of this scientific journal for the current year, which is raised as an honorable creation containing various unpublished scientific articles that systematically describe the original results from research or technological development projects and profound reflection and review procedures. These manuscripts are incorporated in each of the sections described below.

Operational Safety and Aviation Logistics section includes three research papers. The first of these, prepared by Luis Alberto Saavedra Martínez, presents some guidelines for “Strengthening the Aeromedical Certification Process of the Colombian Air Force.” This work provides alternatives to increase the objectivity of decisions towards certification processes, taking as a starting point the proposal to stratify certification standards according to the equipment being operated and the responsibility held on the aircraft, thus strengthening aeromedical procedures decision-making.

The reflections made by Edgar Leonardo Gómez Gómez, Julio Enoc Parra, and Julieta Vélez in the paper “Supporting the Investigation of Aircraft Accidents using RPAS” constitute an initial theoretical analysis to define a standardized procedure for collecting information at the scene of a plane crash by means of Remotely Piloted Aircraft Systems (RPAS). The foregoing is the starting point for the construction of the manual for aircraft accident investigation. This work presents an analysis of the types of RPAS that can be used for this task, as well as the procedures for using this equipment and the type of information retrieved by RPAS.

The work closing this section, titled “Neuropsychological Training Tool for Scan-Eagle Unmanned Aerial Vehicles Operators,” written by Gerson Adolfo Páez López, María Alejandra Corzo Zamora, Alexander Díaz Ariza, and Nohora Inés Rodríguez Guerrero, MA in Operational Safety at EPFAC, introduces an autonomous neurocognitive training tool for remote manned aircraft (RMA) operators at the Colombian Air Force. This tool is aimed at improving the skills and enhancing the intuitive automatic thinking of RMA operators with less cognitive load as an additional alternative to complement the training received by these professionals.

Management and Strategy section comprises three research works and is headed by a paper written by Luis Antonio Marín Moreno, titled “Operational Law and the Culture of Peace in a Military Institution.” The purpose of this article is to address the debate around International Humanitarian Law (IHL) and its importance in the new contexts of application of legally constituted forces, due to the rapid mutability of threats to national security.

The second work in this section, signed by David González-Cuenca and Douglas Eduardo Molina-Orjuela Orjuela, approaches the “Supremacy in South American Air Security and Defense Policies.” In their work, authors provide insights on the use of air force power in Colombia before the challenges of multidimensional security. For this purpose, documentary review and analysis was applied as methodology, allowing the researchers to carry out a comparative examination of the theoretical, conceptual, and practical elements of air force power with a particular focus on air supremacy.

The next contribution addresses the “Military Intelligence as a Key Player in the Consolidation of Peace Scenarios.” In this work, Abdón Estibenson Uribe Taborda and Leonardo de Jesús Mesa Palacio expose some future perspectives for the military forces based on the experiences of other countries that have experienced conflict and post-conflict periods. The authors also present an overview of the possible scenarios for Colombia in the post-conflict era and the capabilities that military intelligence must uphold or acquire in order to face them.

In the third section, named **Technology and Innovation**, researchers Germán Wedge Rodríguez Pírateque, Nelson Arzola De La Peña, and Ernesto David Cortés García present the study “Sustainable Design of a Nanosatellite Structure Type CubeSat as a Modular Platform for Tests,” which describes the development and application of a sustainable design process in a small-scale modular platform under the CubeSat standard. The authors highlight the use of these modular structures as a means for the development of laboratory tests and experiments with different operating conditions such as those real satellites experience in orbit.

Continuing, Juan Sebastián Solís Chaves, Jeison Ferney Barrios Rojas, Nelson Arturo Jiménez Acuña, César Geovany Quiroga Vargas, and Ángela Paola Sánchez Alba report the results of the research study Design and Deployment of a Mechanical Control with Push-Pull Cables in a Ground Workbench for PT6 Engines. The analysis was performed on a test bench for on-ground operation of turboprop engines fed with a mix of fossil fuel (JET-A1) and biofuel (biodiesel). By

means of an empirical-analytical methodology, the researchers carried out functional trials through the operation of levers and mechanical control cables in order to test biofuel mixes on all engine operating parameters (from minimum to maximum revolutions per minute [RPM]), with the aim of verifying parameters such as fuel flow, temperature, torque, and mechanical integrity of the engine components. This study allowed obtaining accurate information on the behavior of the engine when powered by biofuels.

The article “Theoretical Review and Application of Space Science to Reduce Fuel Consumption of Rockets and Space Vehicles,” written by Guillermo Alberto Poveda Zamora, validates the advantage of the natural position of the equator on planet Earth for the launching of space vehicles and rockets through theoretical mathematical reflections. This information will allow readers to dig into space science in a simple way, since they will find concepts and contextual analyzes that, with the support of diagrams and figures, allow a proper understanding of the subject. Therefore, we especially recommend this article for promoting spatial knowledge that, in words of the author, is a “dynamic source of research in a field that has been little studied until now, but that counts on immense possibilities for exploration and multiple perspectives for the benefit of society.”

Closing this current issue, the section **Education and ICT** introduces the research work by Professor María del Pilar García-Chitiva, who discusses the issue of “Virtual Mediation in Teaching and Training:

Advances and Challenges.” Based on a bibliometric study, the author establishes the scope of available studies on the inclusion of virtual measurements in air traffic control teaching and training. The aim of this research is to identify the background of this field of knowledge in order to develop an ICT-mediated instruction, training, and evaluation model for air traffic controllers.

From the information provided on the articles that make up the 15th edition of *Ciencia y Poder Aéreo* journal, it is reasonable to consider this publication as an indisputable input for students and university professors, researchers, and professionals in the military aeronautical field. These contents promote a thoughtful reading and the endless task of generating knowledge on the subjects developed in each work, contributing to the debates and perspectives hereby presented.

We cannot say goodbye without acknowledging the support of the authors, who raise the bar for the scientific rigor of the Journal through their contributions. We also recognize our team of academic peer-reviewers, who, with their valuable appraisals, recommendations, and suggestions, made this a publication with a high level of quality, in accordance with the new requirements of national and international indexing and abstracting systems. Likewise, we welcome and appreciate the priceless work of our Editorial and Scientific Committees.

Abraham Ortiz Miranda
Erika Juliana Estrada Villa

Editorial

Sessenta anos não se fazem todos os dias, especialmente quando é considerado que, em quase mais de meio século, as sociedades tendem a criar e confrontar diversas mudanças estruturais que transformam suas perspectivas sobre a realidade. Um exemplo do anterior é o conflito armado interno, que atravessou a história nacional e o recente período pós-acordo, com um propósito de conciliação e resolução.

Nessas circunstâncias de reinterpretação do passado e de construção de um futuro sob a égide da paz, é destacável o trabalho que a Força Aérea Colombiana (FAC) tem realizado durante o centenário. No entanto, os objetivos cumpridos e o apoio incondicional que a instituição tem prestado aos colombianos com dedicação e vocação, não seriam possíveis sem o pleno desenvolvimento e a melhoria constante da qualidade da formação de pós-graduação. Este trabalho educativo é ministrado aos funcionários desde as salas de aulas e centros de pesquisa que fazem parte da Escola de Pós-graduação da Força Aérea Colombiana (EPFAC). A escola permite que a segurança nacional, levada a cabo desde o ar, permaneça próxima às necessidades da população.

A EPFAC tem se constituído como instituição de educação superior devido à sua longa trajetória de impecável treinamento militar e disciplina da pós-graduação no campo aeronáutico. Estas características permitem à EPFAC impactar positivamente todos os desenvolvimentos, empreendimentos e inovações que atualmente estão acontecendo no país, no sector aéreo e no sector espacial, sendo esse distintivo a consideração mais apreciada em suas publicações científicas, entre elas, a publicação atual ao qual o público leitor da Revista Ciencia y Poder Aéreo tem aceso.

É gratificante pela EPFAC apresentar a primeira revista científica para o ano em curso. A qual faz menção honrosa, pois contém diversos artigos científicos inéditos que descrevem sistematicamente os resultados originais derivados de projetos de pesquisa ou desenvolvimento tecnológico, assim como processos de profunda reflexão e revisão. Os escritos mencionados estão localizados em cada uma das seções descritas abaixo.

Na seção **Segurança Operacional e Logística Aeronáutica** foram incluídos os seguintes artigos: no primeiro, Luis Alberto Saavedra Martínez apresenta um procedimento para o “Fortalecimento do processo de

certificação aeromédica na Força Aérea Colombiana” que fornece alternativas para reforçar a objetividade das decisões em termos de certificação, partindo da proposta da estratificação dos certificados, de acordo com o equipamento que for operado e a responsabilidade ocupada na aeronave, assim como o fortalecimento da tomada de decisões aeromédicas.

As reflexões dos autores Edgar Leonardo Gómez Gómez, Julio Enoc Parra e Julieta Vélez no segundo artigo “Apoio à pesquisa de acidentes aéreos como o uso de RPAS” estabelece uma análise teórica inicial que procura definir um procedimento padronizado para a coleta de informação na cena de um acidente aéreo fazendo uso do sistema RPAS. Tendo em vista que isso significa a abertura para a criação do manual de investigação de acidentes aéreos. Igualmente, é apresentada uma análise dos tipos de RPAS que podem ser utilizados para executar esta tarefa, são propostos os procedimentos para a investigação usando os equipamentos e é analisado o tipo de informação que o RPAS pode obter.

No artigo que encerra a primeira seção, “Ferramenta de treinamento neuropsicológico e fisiológico para operadores de aeronaves remotamente pilotadas ScanEagle” os autores Gerson Adolfo Páez López, María Alejandra Corzo Zamora, Alexander Díaz Ariza e Nohora Inés Rodríguez Guerrero, do mestrado em Segurança Operacional da EPFAC, apresentam uma ferramenta de treinamento neurocognitivo autônomo para operadores TARV na Força Aérea da Colômbia, com o objetivo de melhorar as habilidades e potencializar o pensamento automático intuitivo com menos carga cognitiva, como uma alternativa adicional para complementar o treinamento dos operadores de ART.

A seção **Gestão e Estratégia** está composta por três artigos, sendo o Luis Antonio Martín Moreno quem começa com seu texto sobre “O Direito Operacional e a cultura da paz na instituição militar”. O propósito deste artigo é deixar entrever o debate entre o Direito Internacional Humanitário (DIH) e a sua importância nos novos contextos de aplicação da força legalmente constituída, em razão da rapidez com que mudam as ameaças à segurança nacional.

No segundo artigo, David González-Cuenca y Douglas Eduardo Molina-Orjuela abordam a temática

da “Superioridade aérea nas políticas de segurança e defesa da América do Sul”. Eles expõem uma perspectiva do uso do poder aéreo na Colômbia que confronta os desafios da segurança multidimensional. Para este propósito, os autores aplicaram a metodologia de revisão e análise documental, que permitiu-lhes realizar uma análise comparativa dos elementos teóricos, conceituais e práticos do Poder Aéreo com uma ênfase especial na Superioridade Aérea.

A seguinte publicação ilustra as “A inteligência militar como ator fundamental na consolidação dos cenários de paz”. No artigo, os autores Abdón Estivenon Uribe Taborda e Leonardo de Jesús Mesa Palacio expõem a visão que as forças militares devem ter, com base nas experiências de outros países que sofreram etapas de conflito e pós-conflito, os autores apresentam um panorama dos possíveis cenários que podem surgir para a Colômbia e as capacidades que a inteligência militar deve manter ou adquirir para contrapô-las.

Na terceira seção chamada **Tecnologia e inovação** os autores Germán Wedge Rodríguez Pirateque, Nelson Arzola de la Peña e Ernesto David Cortés García apresentam um estudo sobre “Design sustentável de uma estrutura de nanossatélites do tipo CubeSat como plataforma de teste modular”, com o qual descrevem a aplicação e desenvolvimento do processo de design sustentável em estruturas modulares para pequenos satélites sob o padrão de CubeSat. Neste trabalho, os autores destacam o uso dessas estruturas modulares, com o propósito de desenvolver testes de laboratório e experimentação com as quais diferentes condições operacionais podem ser aproximadas, como aquelas com as que os satélites reais podem exigir em sua órbita de trabalho.

Subsequentemente, Juan Sebastián Solís Chaves, Jeison Ferney Barrios Rojas, Nelson Arturo Jiménez Acuña, César Geovany Quiroga Vargas e Ángela Paola Sánchez Alba mostram os resultados da pesquisa sobre o “Design e implementação de um controle mecânico com cabos Push-Pull para um banco de testes feitos em terra para motores PT6”. A análise foi realizada em um banco de testes de motores turboélice, para operação em terra, com uma mistura de

combustível fóssil (JET-A1) e biocombustível (biodiesel). Usando a metodologia analítica, os pesquisadores realizaram testes funcionais do motor através da operação de alavancas e cabos de controle mecânico com o objetivo de fazer testes de misturas de biocombustíveis em todos os parâmetros operacionais do motor, desde as mínimas até as máximas revoluções por minuto (RPM) para confirmar os parâmetros de fluxo de combustível, temperatura, torque e integridade mecânica dos componentes do motor, obtendo informação veraz sobre o comportamento do motor, para ser usado com biocombustíveis.

No artigo “Revisão teórica e aplicação prática das ciências do espaço para reduzir o consumo de combustíveis em foguetes e veículos espaciais”, do autor Guillermo Alberto Poveda Zamora, é demonstrada a vantagem da posição natural do equador no planeta Terra para o lançamento de veículos espaciais e foguetes, a través de reflexões teóricas matemáticas. Esta informação permitirá que os leitores aprofundem nas ciências espaciais de uma forma simples, dado que encontrarão conceitos e análises contextuais que, com o apoio de diagramas e figuras, estimulam uma melhor compreensão do assunto. Em vista disso, este artigo é recomendado com a intenção de promover o conhecimento espacial, e que em palavras do autor, “é uma fonte dinâmica de pesquisa em um campo pouco estudado até hoje, mas com imensas possibilidades de estudo e diversas perspectivas de benefício social”.

Finalmente, o presente dossiê conclui com a seção **Educação e TIC**, apresentando uma publicação da professora María del Pilar García-Chitiva, na qual

aborda a “Mediação virtual no ensino e a instrução: progressos e desafios”. Com base em um estudo bibliométrico, a autora estabelece o escopo das pesquisas realizadas até o presente, relacionadas à inclusão de medições virtuais nessa área. Seu objetivo é identificar o contexto de antecedentes para desenvolver um modelo de formação, treinamento e avaliação para controladores de tráfego aéreo mediado pelas TIC.

A partir das descrições dos artigos que compõem a revista a décima quinta edição da Revista Ciencia y Poder Aéreo, é possível considerar esta publicação como uma contribuição indiscutível para estudantes e professores universitários, pesquisadores e profissionais do campo aeronáutico militar. O conteúdo oferece uma leitura reflexiva e a contínua responsabilidade de gerar conhecimento sobre os temas desenvolvidos em cada publicação, alimentando os debates e as perspectivas planteadas.

Não podemos despedir-nos sem antes agradecer a colaboração dos autores, que com suas contribuições elevam o rigor científico da Revista. Igualmente agradecemos à equipe de pares acadêmicos que, com suas oportunas revisões, recomendações e sugestões, fizeram desta publicação, uma publicação de qualidade, de acordo com os novos requisitos dos sistemas de indexação e resumo nacionais e internacionais. Do mesmo modo, damos as boas-vindas e agradecemos o trabalho incalculável do nosso Comitê Editorial Científico.

Abraham Ortiz Miranda
Erika Juliana Estrada Villa

Fortalecimiento del proceso de certificación aeromédica en la Fuerza Aérea Colombiana

| Fecha de recibido: 27 de febrero del 2020 | Fecha de aprobación: 29 de abril del 2020 |

Luis Alberto Saavedra Martínez

Administrador Aeronáutico

Piloto comercial, Estudiante de Maestría en Seguridad Operacional

Rol de investigador: intelectual

<https://orcid.org/0000-0002-6071-7906>

✉ Pilcomt27@hotmail.com

Cómo citar este artículo: Saavedra Martínez, L. (2020). Fortalecimiento del proceso de certificación aeromédica en la Fuerza Aérea Colombiana. *Revista Ciencia y Poder Aéreo*, 15(1), 16-23. <https://doi.org/10.18667/cienciaypoderaereo.655>



Fortalecimiento del proceso de certificación aeromédica en la Fuerza Aérea Colombiana

Resumen: La certificación aeromédica en el mundo tiene un propósito primario: garantizar que el entorno aeronáutico cuente con personal capaz de operar en él de una forma segura. Los requerimientos de estados físico y mental pueden ser altos, dependiendo del ambiente en el cual se realicen las operaciones. Certificarlos contribuye sustancialmente a garantizar la seguridad, pero se requiere una revisión exhaustiva del balance, por una parte, los requisitos y procesos de certificación aeromédica y, por otra, la realidad y necesidades operativas del entorno para garantizar que los procesos sean una herramienta efectiva y no únicamente requisitos. En este artículo se plantean unas alternativas para aumentar la objetividad de las decisiones en términos de certificación. Se toma como punto de partida la propuesta de estratificar los certificados dependiendo del equipo del que se trate y de la responsabilidad en la aeronave. Se considera igualmente el fortalecimiento de la toma de decisiones aeromédicas (*ADM, Aeromedical Decision Making*) mediante el algoritmo propuesto por Navathe, Drane y Preitner para la Oficina de Medicina de Aviación de la Autoridad de Seguridad de la Aviación Civil en Canberra, Australia.

Palabras clave: Certificación aeromédica; seguridad operacional; toma de decisiones aeromédicas.

Strengthening the Aeromedical Certification Process of the Colombian Air Force

Abstract: Worldwide, aeromedical certification has a primary purpose: to ensure personnel capable of operating safely in the aeronautical environment. As a matter of fact, the requirements of physical and mental states may be high depending on the environment in which operations are executed. Enforcing these requisites contributes substantially to safety, although a thorough review of the balance between the requirements and processes of aeromedical certification versus the reality and operational needs of the environment is required in order to secure this becomes an effective tool and not just a list of requirements. Some alternatives are proposed to increase the objectivity of decisions in terms of certification, taking as a starting point a stratification of the certificates depending on the aircraft being operated and the position inside the cabin, as well as the strengthening of the aeromedical decision-making process (*ADM*) based on the algorithm proposed by Navathe, Drane, and Preitner for the Office of Aviation Medicine of the Civil Aviation Security Authority in Canberra, Australia.

Keywords: Aeromedical Certification; Aeromedical Decision Making; Operational Safety.

Fortalecimento do processo de certificação aeromédica na Força Aérea Colombiana

Resumo: No mundo, a certificação aeromédica tem um objetivo principal: garantir que o ambiente aeronáutico tenha o pessoal capaz de operar nele de uma forma segura. Os requisitos de estados físico e mental podem ser altos, dependendo do ambiente em que as operações sejam realizadas. Assegurá-los contribui substancialmente para garantir a segurança, mas requer uma revisão metódica do equilíbrio entre, por um lado, os requisitos e processos de certificação aeromédica e, por outro lado, a realidade e as necessidades operacionais do ambiente para assegurar que os processos sejam uma ferramenta eficiente e não apenas requisitos. Neste artigo são apresentadas alternativas para reforçar a objetividade das decisões em termos de certificação. A proposta da estratificação é considerada ponto de partida, dependendo do equipamento em questão e da responsabilidade da aeronave. Do mesmo modo, é considerado o fortalecimento da tomada de decisão aeromédica (*ADM, Aeromedical Decision Making*) por meio do algoritmo proposto por Navathe, Drane e Preitner para o escritório de Medicina da Autoridade de Aviação de Segurança da Aviação Civil em Canberra, Austrália.

Palavras-chave: Certificação aeromédica; Segurança operacional; Tomar decisões aeromédicas.

Introducción

En Colombia, los procedimientos establecidos para la obtención de la certificación aeroméica para la aviación comercial, regulada por la Aerocivil (RAC 67, 2017), y los de la aviación de Estado (Fuerza Aérea Colombiana, 2016) son similares. Al realizar una comparación se encuentra que, salvo en algunas excepciones, estos procedimientos pretenden estar en concordancia y alineación con la legislación nacional y la normatividad internacional.

Se aprecia además, que la realización de exámenes y pruebas es extensa, por ejemplo, para certificar la aptitud psicofísica de un tripulante que ya ha pasado por un proceso de selección inicial de ingreso al servicio activo, la Fuerza Aérea Colombiana (FAC) realiza veintitrés exámenes. Así mismo, son necesarios otros veintiuno para la evaluación psicofísica pre-vuelo. Finalmente, se requieren entre veinte y veintiocho más (dependiendo del sexo, edad o condiciones preexistentes) para los controles periódicos (Fuerza Aérea Colombiana, 2016).

La evidencia científica (Ricaurte et al., 2016) concluye que el riesgo de accidentes o incidentes aéreos en la población de pilotos certificados es menor. Se presenta una mayor tasa de incidentes en pilotos no certificados (aviación deportiva), por lo que no se cuestiona la necesidad de realizar el proceso, menos en un medio complejo como el de la operación militar. No obstante, mediante un sustento teórico se plantea que es pertinente revisar qué tan necesarios son cada uno de los exámenes requeridos por una certificación de la FAC o, si se quiere, la reestructuración de un proceso que ha tenido pocos cambios estructurales en el tiempo.

En una revisión de los documentos rectores (Ministerio de Defensa Nacional, 2014; Fuerza Aérea Colombiana, 2011), se encuentra que la normativa establecida hace parte de la gestión de la seguridad operacional, como lo deja ver de manera implícita el Manual de Gestión en Seguridad Operacional para la FAC. Explícitamente, el objetivo es reducir la posibilidad de que alguna condición patológica afecte la seguridad de vuelo. Sin embargo, no hay un contexto

científico-investigativo que demuestre la necesidad de realizar cada uno de estos test para mantener o reducir el nivel de riesgo de accidentes causados por incapacitación fisiológica y mantenerlo en unos márgenes aceptables.

El establecimiento de un método para la realización de una investigación que dé una base teórica para el fortalecimiento del proceso de certificación aeroméica en la FAC, hace parte de un proceso que involucra varias etapas complementarias entre sí. En el presente artículo se plantean tres fases para abordar esa futura investigación, que podría ser el sustento teórico necesario para la revisión y estructuración del proceso de certificación. Dichas fases son fruto de una revisión teórica, la cual condujo a su planteamiento.

Desarrollo de un sistema de información aeroméico

Poseer un sistema de información aeroméico tiene muchas ventajas para la seguridad: a partir de este se pueden realizar estudios epidemiológicos; sirve como fuente para analizar las decisiones sobre certificación; es un insumo para realizar las matrices de riesgo de acuerdo con las estadísticas de enfermedades en una población, y para realizar análisis predictivos, entre muchas otras.

Se debe tener en cuenta que, incluso si se tienen las bases de datos, su integración no es fácil. Se requiere invertir tiempo y recursos para lograr la incorporación de los datos, que incluyen desde hojas de vida de los pacientes, hasta eventos de seguridad ocurridos; en algunos casos, se requiere incluso la realización de minería de datos. El primer paso en ese proceso es la conformación de un equipo interdisciplinario que establezca una fecha de inicio de recolección de la información a partir de un hito operacional, científico o histórico (por ejemplo, la entrada en vigencia del decreto 1796). Después de esto, se debe iniciar la recopilación de datos suficientes y, finalmente, se debe diseñar una métrica para medir patrones patológicos en una población determinada. El trabajo realizado

por el equipo de investigación en bioinformática del Instituto Civil de Medicina Aeroespacial (CAMI) es una muestra de este proceso. Este equipo reunió datos (de años tan lejanos como 1962) de toda la población de pilotos de Estados Unidos, recopilados de diferentes fuentes (Peterman et al., 2016).

Las ventajas del análisis de los datos va mucho más allá. Por medio del estudio de patologías predominantes en una población, es probable saber el impacto que un posible evento médico tendrá en términos de seguridad. Así se puede determinar qué exámenes son importantes y cuáles pueden ser eliminados en un proceso de recertificación. Como ejemplo, está el estudio *Aeromedical Certification of Aircrew and Controllers with Renal Calculi* (Drane et al., 2013), en el cual se establece una estratificación del riesgo a partir de la aplicación de un algoritmo que tiene en cuenta dentro de sus variables el tipo de vuelo (solo, cabina múltiple), para facilitar el proceso de toma de decisiones con respecto a la certificación.

Evaluación del riesgo aeromédico en la FAC como medio para reestructurar la certificación aeromédica

Adoptando el método desarrollado en el estudio *Assessing aeromedical risk: a three-dimensional risk matrix approach* (Gray et al., 2019), se puede realizar una reestructuración de los tipos de certificados y exámenes necesarios para su expedición. En dicha investigación se propone la generación de matrices de riesgo aeromédicas específicas para la operación por categorías de aeronaves (combate, transporte, helicópteros e inteligencia). Las matrices incluyen probabilidad e impacto y añaden el cargo desempeñado en la cabina, como una tercera dimensión (Gray et al., 2019).

No obstante, la evaluación de estas matrices supone un amplio conocimiento de las áreas de medicina aeroespacial, operaciones aéreas y seguridad

operacional. Estas tareas son usualmente el trabajo de un equipo multidisciplinario.

Esta evaluación debe tener un fundamento científico, como en el caso de la investigación que dio origen al cálculo de la probabilidad de accidentes derivados de una incapacitación. Esta investigación fue desarrollada en el Reino Unido, y nace de la regla de un 1 % de riesgo aceptable de accidentes por incapacitación en un año por cada 10^7 horas de vuelo. La investigación encontró que en realidad este valor puede estar alrededor de 0,1 % por cada 10^7 horas de vuelo por año. Además, encontró que adicionar un piloto a la ecuación reduce el riesgo por un factor de 1000. En una cabina de dos pilotos, el riesgo de sufrir un accidente por incapacitación médica es 1 por 10^{10} horas por año —se contempla aquí la incapacidad por un evento médico, como un infarto, en una de las fases críticas del vuelo: despegue, ascenso, aproximación o aterrizaje; (Evans, 2016)—.

Un ejemplo simple de esta evaluación se puede hacer tomando una cabina de tripulación múltiple, como las cabinas de aeronaves de transporte de la FAC.

En una matriz de probabilidad e impacto de 4×4 , en la que el impacto está definido por cuatro clases de eventos médicos (1 es el de mínimo impacto en el *performance* y 4 es la incapacitación total, véase en la tabla 1) y la probabilidad es de cuatro niveles (que van desde muy probable hasta altamente improbable), se atribuyeron valores lógicos para observar el comportamiento de la tercera variable: tripulación (representada en tres categorías diferentes: piloto-copiloto, navegante y otro cargo que no está ligado al control directo de la aeronave, como el de piloto supervisor de vuelo, maestro de carga o técnico de vuelo). Se encontró así una similitud con la realidad operacional de este tipo de equipos.

Una tercera dimensión marca la pauta para ofrecer diferentes tipos de certificados dependiendo de la influencia de cada cargo específico en la severidad del impacto dentro de una aeronave. En términos prácticos, después de un análisis por parte de la Dirección de Medicina Aeroespacial (DIMAE), un tripulante sin una función primordial en las fases críticas del vuelo

podría recibir un certificado con menos requerimientos para su operación durante la permanencia en el cargo. La evaluación de su condición física, más que obedecer a exámenes clasificatorios, obedecería a la aplicación de un algoritmo sencillo que facilite la toma de decisiones aeromédicas, lo que eliminaría la subjetividad del ejercicio.

Tabla 1
Matriz 4x4 por cargo en una aeronave de transporte

Piloto/Copiloto	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4
Muy probable	22	55	88	110
Probable	14	35	56	70
Improbable	6	15	24	30
Altamente improbable	2	5	8	10

Navegante	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4
Muy probable	22	30	35	70
Probable	14	30	30	35
Improbable	6	15	24	30
Altamente improbable	2	5	8	10

Otro cargo	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4
Muy probable	22	30	30	35
Probable	14	24	30	30
Improbable	6	15	24	30
Altamente improbable	2	5	8	10

Fuente: elaboración propia.

En la actualidad, hay tres categorías en el reglamento de aptitud psicofísica de ingreso y especial para la Fuerza Aérea Colombiana (I, II y III) para el personal que ingresa a la actividad de vuelo, realiza control periódico o cambia de especialidad, o el que realiza actividades denominadas “complementarias al vuelo”. Esta caracterización es susceptible de mejora si se involucran los resultados de la aplicación de matrices como la anteriormente descrita. Así, se daría lugar a una nueva tipificación que minimice el número de exámenes

realizados a los aspirantes a cada tipo de certificación. A la vez que, ampliaría el espectro de personal seleccionable sin afectar la seguridad operacional.

Es necesario comparar el proceso llevado a cabo en la FAC con algunos realizados en otras entidades, que han demostrado ser igualmente efectivos. Uno de estos es el que realiza la Fuerza Aérea de los Estados Unidos (USAF), que sigue los lineamientos del Departamento de Defensa (DOD). En este proceso se establecen tipologías de pruebas basadas en la actividad que el aspirante realizará o en las características de las aeronaves. Se crean así ocho tipos de certificación. Las certificaciones exigen mayores requisitos en la medida en que el riesgo de accidentalidad por incapacitación de la tripulación sea mayor.

La USAF realiza un total de doce exámenes para el ingreso al servicio activo (United States Department of Defense, 2018; Department of the Air Force, 2013). Los exámenes van desde medicina general hasta especialidades como oftalmología, optometría, audiometría y laboratorios. Este es un número bastante reducido si se lo compara con el número de exámenes realizados en la FAC. El protocolo de la USAF es solo un ejemplo de cómo se puede hacer un proceso de ingreso más acorde a las labores que se desempeñarán.

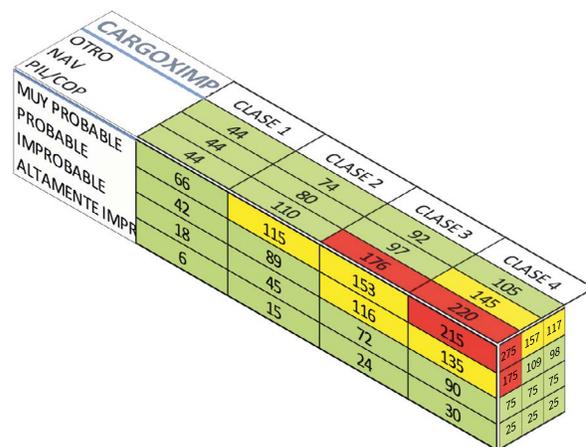


Figura 1. Representación tridimensional de las relaciones Cargo vs. Impacto, Clase vs. Probabilidad y Cargo vs. Probabilidad

Fuente: elaboración propia.

Adopción o generación de algoritmos como soporte para la toma de decisiones aeromédicas

La toma de decisiones aeromédicas se aplica en varios escenarios, como evacuaciones aeromédicas, tratamientos en teatros operacionales, certificación de tripulantes, entre otros. La certificación, a pesar de estar reglamentada y cumplir con unos parámetros definidos, siempre va a tener un componente de subjetividad, e incluso un componente emocional. Además, hay un margen de error natural en ella por tratarse de un proceso de medición.

Para minimizar los errores en la medición, existen varios desarrollos de algoritmos mundialmente conocidos que han fortalecido la ADM. Prácticamente todos ellos se fundamentan en el principio del manejo de riesgo aceptable. Si la condición psicofísica implica un riesgo mayor al nivel de riesgo aceptable entonces se busca un tratamiento antes de emitir el certificado (figura 2).

Lo que se quiere valorar con la propuesta aquí presentada (y no en la clasificación actual) es la capacidad funcional del individuo y su comparación con el tipo de certificado requerido. Un punto de partida para lograr esto, puede ser la adaptación del algoritmo de Navathe, Drane y Preitner a las necesidades institucionales. Este algoritmo contiene cinco entradas para la toma de decisiones, como se puede observar en la figura 2:

1. Determinación de la probabilidad de un evento clínicamente significativo para la condición de salud.
2. Determinación de la probabilidad de un evento de aviación indeseable derivado de la condición psicofísica.
3. Determinación de la aceptabilidad de los riesgos combinados (1 y 2).
4. Determinación del nivel de riesgo para la condición psicofísica después de la intervención clínica.
5. Gestión y determinación del nivel de riesgo después de las restricciones operativas para la condición psicofísica.

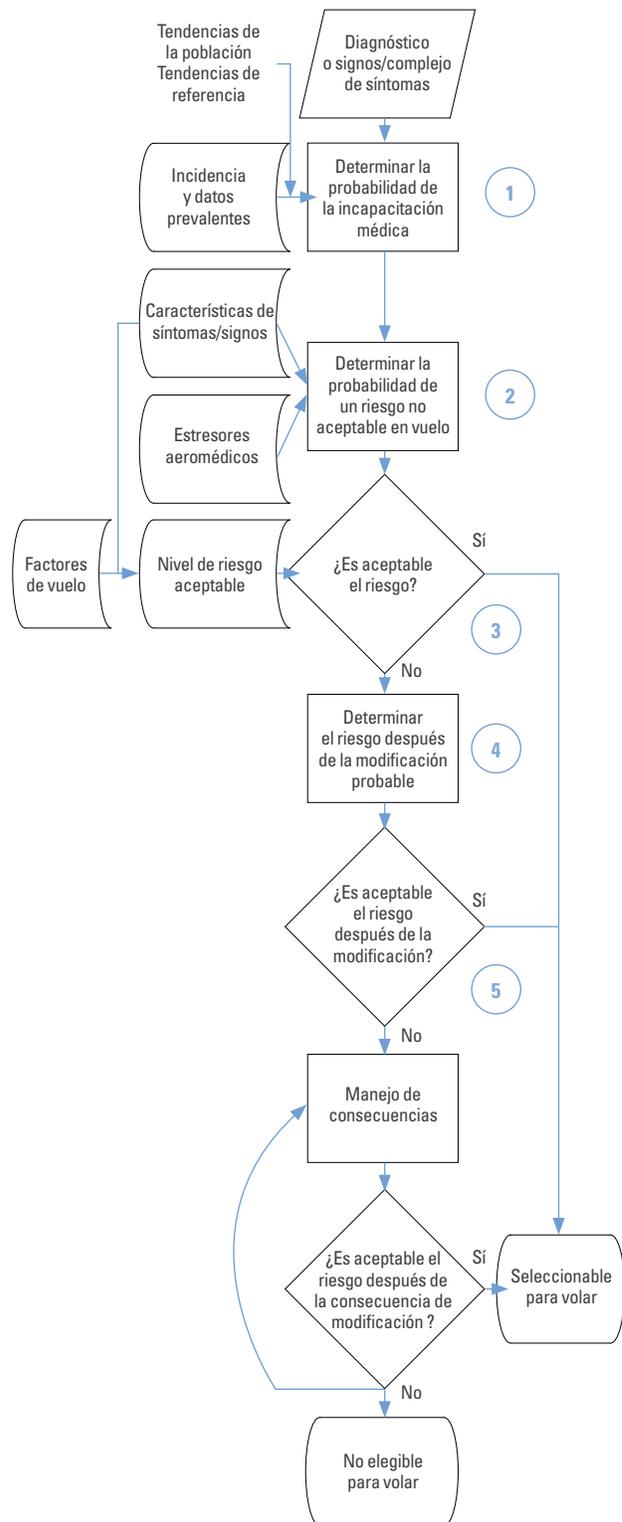


Figura 2. Algoritmo de Navathe, Drane y Preitner. Regulación de toma de decisiones aeromédicas

Fuente: Navathe et al. (2014).

El algoritmo es aplicable al caso colombiano porque sus criterios poseen un sustento teórico-científico mundial. Si bien la epidemiología en la FAC puede ser distinta a la analizada en los estudios realizados por los autores, estos no dejan de ser un referente importante. Su adaptación se puede lograr complementando estos estudios con datos de los casos presentados en la población de tripulantes en un periodo de tiempo observable. Con esto, se puede realizar una categorización de eventos de seguridad en términos de factores psicofísicos y de la teoría de los riesgos por patologías en el medio aeronáutico.

En el marco de la investigación *Development of an Aeromedical Scientific Information System for Aviation Safety*, otros algoritmos fueron desarrollados. Estos algoritmos son el producto de la creación del sistema de información aeromédico. Este sistema es complemento útil a la herramienta, pues permite determinar factores como el estado de los certificados, calcular la fecha de expiración de los certificados, los días efectivos de certificación por tripulante, determinar qué tripulantes han estado involucrados en eventos de seguridad, establecer códigos por patologías y determinar el tipo de certificado a otorgar (Peterman et al., 2008).

Conclusiones

En el mundo, la certificación aeromédica se ha fortalecido gracias a la evidencia científica. Esta certificación ha pasado de ser un proceso de selección por cumplimiento de requisitos psicofísicos, a ser un proceso de toma de decisiones en el cual confluyen herramientas para disminuir el riesgo por factores psicofísicos en el medio aeronáutico.

El proceso de certificación en la FAC es susceptible de mejora si se incorporan tres procesos que robustecen la ADM, fomentan la investigación en medicina aeroespacial e impactan de manera directa la seguridad aérea. Estos procesos son (1) la creación de un sistema de información aeromédico; (2) la evaluación de matrices de riesgo aeromédico, discriminada por tipos de operación, teniendo en cuenta los cargos y sus

requerimientos psicofísicos, y (3) la aplicación de algoritmos como soporte para la ADM.

Implementando una estratificación del riesgo para la certificación se logra otro impacto a nivel operacional, ya que es posible reducir el número de personal con certificación aeromédica (por cuanto los requisitos para determinados cargos de bajo riesgo son menores), sin afectar la seguridad operacional. Los tres procesos propuestos son complementarios entre sí, pero pueden ser desarrollados e implementados de manera independiente. Con base en la evaluación del riesgo, y dependiendo del tipo de certificación requerida, se debe establecer un diferencial de exámenes médicos, lo cual supone una disminución en los costos de los controles psicofísicos actuales.

Referencias bibliográficas

- Department of the Air Force. (2013). *AFI 48-123 Medical Examination Standards*. Department of the Air Force.
- Drane, A. M., Navathe, P., & Clem, P. (2013). Aeromedical Certification of Aircrew and Controllers with Renal Calculi. *Aviation Space Environment Medicine*, 84(10), 1074-1081. <https://doi.org/10.3357/ASEM.3604.2013>
- Evans, A. D. B. (2016). Aeromedical Risk a Numerical Approach, Practical Decision Making in aeromedical certification. En D. Gradwell y D. Rainford (eds.), *Ernsting's Aviation and Space Medicine* (5th Ed) (pp. 373-382). CRC Press.
- Fuerza Aérea Colombiana. (2011). *Manual FAC 3-007 público de gestión en seguridad operacional FAC*. Fuerza Aérea Colombiana.
- Fuerza Aérea Colombiana. (2016). *Reglamento de aptitud psicofísica de ingreso y especial para la Fuerza Aérea Colombiana* (4^{ta} ed.). Fuerza Aérea Colombiana.
- Gray, G., Bron, D., Davenport, E. D., d'Arcy, J., Guettler, N., Manen, O., Syburra, T., Rienks, R., & Nicol, E. D. (2019). Assessing aeromedical risk: a three-dimensional risk matrix approach. *Heart*, 105, 9-16. <https://doi.org/10.1136/heartjnl-2018-313052>
- Ministerio de Defensa Nacional. (2000, 14 de septiembre). *Decreto 1796 del 2000*. Diario Oficial 44.161. http://www.secretariosenado.gov.co/senado/basedoc/decreto_1796_2000.html
- Navathe, P., Drane, M., & Preitner, C. (2014). Aeromedical Decision Making: From Principles to Practice. *Aviation*

Space Environment Medicine, 85(5), 576-580. <https://doi.org/10.3357/ASEM.3561.2014>

Peterman, C. L., Rogers, P. B., Véronneau, S. J. H., & Whinnery, J. E. (2008). *Development of an Aeromedical Scientific Information System for Aviation Safety*. Civil Aerospace Medical Institute Federal Aviation Administration.

RAC 67. (2017). *Normas para el otorgamiento del certificado médico aeronáutico*. Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil.

Ricaurte, E. M., Mills, W. D., De John, C. A., Laverde-Lopez, M. C., & Porras-Sanchez, D. F. (2016). Aeromedical Hazard Comparison of FAA Medically Certified Third-Class and Medically Uncertified Pilots. *Aerospace Medicine Hum perform*, 87(7), 618-621. <https://doi.org/10.3357/AMHP.4360.2016>

United States Department of Defense. (2018, 6 de mayo). *DOD Instruction 6130.03. Medical standards for appointment, enlistment, or Induction into the military services*. United States Department of Defense.

Apoyo a la investigación de accidentes aéreos con el uso de RPAS*

| Fecha de recibido: 5 de marzo del 2020 | Fecha de aprobación: 29 de abril del 2020 |

Edgar Leonardo Gómez Gómez

Magíster en Ingeniería de Telecomunicaciones

Docente de tiempo completo,

Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Grupo de Investigación: GIDENUTAS

Rol de investigador: intelectual, comunicativo

<https://orcid.org/0000-0002-9544-0265>

✉ elgomezg@udistrital.edu.co

Julio Enoc Parra Villamarín

Ingeniero Aeronáutico

Docente de cátedra e investigador Independiente

Grupo de Investigación: TESDA

Rol de investigador: intelectual, experimental

<https://orcid.org/0000-0003-1309-5128>

✉ julioenocparra@outlook.com

Julieta Vélez Mejía

Abogada, piloto comercial
e investigadora Independiente

Grupo de Investigación: GINA

Rol de investigador: intelectual, experimental

<https://orcid.org/0000-0003-2208-5271>

✉ julietavelezm@gmail.com

* Artículo de investigación derivado del proyecto *Implementación de RPAS en la escena de accidentes aéreos*.

Cómo citar este artículo: Gómez Gómez, E. L., Parra Villamarín, J. E., Vélez Mejía, J. (2020). Apoyo a la investigación de accidentes aéreos con el uso de RPAS. *Revista Ciencia y Poder Aéreo*, 15(1), 24-38. <https://doi.org/10.18667/cienciaypoderareo.654>



Apoio a la investigación de accidentes aéreos con el uso de RPAS

Supporting the Investigation of Aircraft Accidents Using RPAS

Apoio à pesquisa de acidentes aéreos com o uso de RPAS

Resumen: Este documento presenta un estudio para la implementación de RPAS (por sus siglas en inglés, *Remotely Piloted Aircraft System*) en la investigación de un accidente aéreo. El propósito del estudio es evaluar la pertinencia de la implementación de dicha tecnología como herramienta válida y oportuna para el equipo de investigadores de accidentes aéreos. Para ello se realiza una revisión técnica de las capacidades generales de los RPAS y un análisis de *Base Line*. Este análisis se hace partiendo de una clasificación por peso, que remite a los datos de *performance* de cada aeronave, contenida en sus fichas técnicas de fábrica. Fueron analizados RPAS multirrotor con sensores especializados para misiones específicas y también las regulaciones que permiten su implementación en la escena del accidente aéreo. Se comparan además, los procedimientos actuales con aquellos que incluirían la utilización de RPAS en dicha escena. Para finalizar, se presta especial atención a la tecnología, clase de aeronave, sensórica, modos de operación, tiempo y costos. Se concluye que la implementación de los RPAS facilitarían la obtención de imágenes y otros datos en el lugar de los hechos. Esta tecnología, que evoluciona exponencialmente, podría ser incluida como una de las herramientas en la labor de un investigador de accidentes.

Palabras clave: Accidentes aéreos; drones; investigación; procesamiento de imágenes; RPAS (*Remotely Piloted Aircraft System*); seguridad operacional.

Abstract: This paper presents a study for the implementation of Remotely Piloted Aircraft System (RPAS) in the investigation of an aircraft accident with the purpose of evaluating the relevance of this technology as a tool for Accident Investigation Groups (AIG) worldwide. A technical review of the general capabilities of the RPAS and a "baseline" analysis based on a weight classification approach is carried out, making reference to the data of each aircraft contained in their corresponding data sheet, which would facilitate obtaining images and other data at the scene. Multi-rotor RPAS with specialized sensors for specific missions as well as the regulations that require their implementation at the scene of the plane crash were studied. In addition, currently used procedures are compared with those that would include the use of RPAS at the scene. Finally, special attention is paid to technology, aircraft class, sensory, modes of operation, time, and costs, which allow concluding that the implementation of RPAS facilitates obtaining images and other data at the scene of accidents. This technology could be included as one of the tools that accident investigators must use in their work.

Keywords: Air Accidents; Drones; Investigation; Image Processing; RPAS (Remotely Piloted Aircraft System); Air Safety.

Resumo: Este documento apresenta um estudo para implementação de RPAS (Remotely Piloted Aircraft System) na investigação de um acidente de avião. O propósito do estudo é avaliar a relevância da implementação dessa tecnologia como uma ferramenta válida e oportuna para a equipe de investigadores de acidentes aéreos. Para isso, é realizada uma revisão técnica dos recursos gerais dos RPAS e uma análise de Base Line. Essa análise é feita baseada em uma classificação por peso, que faz referência aos dados de desempenho de cada aeronave, contidos em suas fichas técnicas de fábrica. Do mesmo modo, foram analisados RPAS multirrotor com sensores especializados para missões específicas e os regulamentos que permitem seu uso no local de um acidente aéreo. Os procedimentos atuais também são comparados com os que incluíram o uso de RPAS neste cenário. Finalmente, é prestada atenção especial à tecnologia, ao tipo de aeronave, sensórica, modos de operação, tempo e custos. Por tanto, conclui-se que a implementação dos RPAS facilitaria a obtenção de imagens e outros dados no local. Esta tecnologia que está evoluindo exponencialmente, poderia ser incluída como uma das ferramentas no trabalho de um investigador de acidentes.

Palavras-chave: Acidentes aéreos; Drones; Investigação; Processamento de imagens; RPAS (Remotely Piloted Aircraft System); Segurança operacional.

Introducción

Las condiciones del terreno de Colombia son muy especiales porque el país es atravesado de Sur a Norte por la cordillera de los Andes. Esta cordillera se divide en tres brazos y presenta tanto elevaciones de más de cinco mil metros sobre el nivel del mar como valles cercanos al nivel mar. Además, una vasta área del territorio colombiano está cubierta por la selva amazónica. El territorio ofrece una gran diversidad de patrones climáticos debido a la complejidad del terreno. La posición geográfica del país se encuentra en la región tropical ecuatorial, donde no hay estaciones meteorológicas; además, la ionosfera es más densa y dinámica que en otras latitudes (Bell, 2012).

Las condiciones mencionadas tienen una gran influencia en el tránsito aéreo, primordialmente debido a las concentraciones de población entre las cuales se mueve el transporte aéreo. Los principales aeropuertos y vías aéreas en Colombia están ubicados sobre las cordilleras de los Andes. La experiencia de los investigadores, comparada con la de entidades homologas de otros países miembros de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI, s.f.), refleja que una alta tasa de accidentes aéreos sucede en sitios remotos, de difícil acceso (Aerocivil, 2016). La investigación de los accidentes aéreos en Colombia enfrenta desafíos inusuales, en comparación con otras partes del mundo, debido a estas condiciones acceder a los lugares y tomar fotografías es una tarea difícil. El Grupo Colombiano de Investigación de Accidentes (AIG) ha dependido principalmente de helicópteros de la Fuerza Aérea (y, a veces, de helicópteros privados) para obtener imágenes aéreas. Estas imágenes han sido útiles, pero no son óptimas en la captura del ángulo o el detalle deseado. Además, muchas veces no se puede acceder a los helicópteros, aunque siempre ha existido la posibilidad de alquilar un helicóptero, pero esto es costoso. Finalmente, la organización de la operación requiere de bastante tiempo, lo que va en contra de la prioridad de limpiar el sitio del accidente tan pronto como sea posible.

Las imágenes aéreas del sitio del accidente son útiles para los investigadores de accidentes aéreos, pues pueden capturar detalles de todo el sitio. Se pueden capturar desde el punto de impacto inicial hasta el lugar final en el que se encuentra la aeronave accidentada. Cuando se trata de una aeronave de gran envergadura, las imágenes pueden detallar las marcas de su trayectoria en tierra y documentar daños que no se perciben con las imágenes desde tierra. Con esto se puede identificar cómo la aeronave golpeó el suelo. Dichas tomas aéreas son útiles para mostrar las posiciones relativas de obstáculos como árboles o edificios, que pueden haber sido golpeados en el impacto. Por otra parte, ayudan a revelar el terreno circundante y el entorno al cual el piloto se enfrentó en el momento del accidente.

En este contexto, es posible implementar el uso de RPAS en el escenario de accidentes aéreos, lo cual facilita la recopilación de información. De esta manera, la herramienta tiene como función principal apoyar al investigador para encontrar las causas del accidente aéreo en el menor tiempo posible. Esta tarea se cumple gracias a la implementación de equipos aéreos con cámaras para capturar videos, fotos e imágenes multi-espectrales y sobre las cuales el investigador tiene la plena potestad sobre la operación de los RPAS, los detalles de la escena y la calidad de la información obtenida. El término RPAS utilizado en la regulación civil de Colombia se considera similar al Sistema de Aeronave No Tripulada (UAS) y al término común dron o *drone* (Aerocivil, 2015) para este trabajo.

Metodología

Este trabajo tiene una orientación exploratoria, implementa una metodología analítica-descriptiva y toma como eje temático la integración de una nueva tecnología en un procedimiento claramente definido del tratamiento e intervención de la escena de un accidente aéreo. Los elementos constitutivos del análisis son (1) procedimientos para la investigación de accidentes

aéreos, (2) operación de RPAS en entornos de investigación y (3) tipo de información que el RPAS puede obtener. El enfoque investigativo se encuentra en la intersección temática de cada elemento de análisis (figura 1).



Figura 1. Diagrama del elemento de análisis
Fuente: elaboración propia.

En referencia a los elementos constitutivos del análisis, la investigación de accidentes aéreos es una actividad profesional, con la que se deben aclarar las causas de un accidente utilizando herramientas y equipos tecnológicos definidos en sus directrices (OACI, 2015). Estos elementos se utilizan para obtener información clara, objetiva y veraz. La inclusión de nuevas herramientas y tecnologías de apoyo debe estar claramente reglamentada para que no haya ambigüedades o imprecisiones en los procedimientos. Los RPAS se componen de un sistema de enlace de datos entre la aeronave y la estación terrestre, los cuales deben ajustarse al entorno de trabajo de un investigador de accidentes aéreos. Los sistemas de enlace de datos y estaciones terrestres pueden ser estandarizados y simplificados en la escena. Los RPAS implementados deben ser apropiados para cada etapa de la investigación, dependiendo del tipo de información que se requiere obtener en cada una de ellas.

Análisis para la implementación

Procedimiento para la investigación de accidentes aéreos

Para la investigación de accidentes aéreos, los procedimientos se establecen en el *Manual de investigación de accidentes e incidentes de aviación* (OACI, 2015). Este manual proporciona los datos necesarios para la investigación y el procedimiento para obtener pruebas y registros de los hallazgos en la escena del accidente. El Grupo de Investigación de Accidentes es la autoridad del Estado colombiano responsable de la investigación de los accidentes e incidentes aéreos de todos los eventos aéreos civiles que involucren una aeronave con matrícula de estado colombiana, ya sea que estos ocurran dentro o fuera de Colombia. Aunque el AIG es un organismo que depende de la Autoridad de Aviación Civil de Colombia (Aerocivil, 2016), tiene la autonomía para llevar a cabo investigaciones técnicas objetivas de accidentes e incidentes aéreos.

El objetivo del AIG es proporcionar el servicio de investigación sobre eventos aéreos para desarrollar una investigación técnica y objetiva, con el propósito de emitir recomendaciones de seguridad para evitar y prevenir eventos futuros en la industria aeronáutica. Su trabajo no tiene por objeto determinar la falta o responsabilidad de una organización o individuo de acuerdo con las regulaciones nacionales e internacionales (RAC 114, 2017; OACI, 2001).

La investigación de un accidente aéreo comienza en su escena tan pronto como sea posible y reúne un amplio espectro de experiencia técnica que es necesario para resolver complejos problemas de seguridad de transporte aéreo. Los miembros del equipo de reacción inmediata (*Go Team*) deben estar a disposición las veinticuatro horas del día, pues puede ser necesario que se desplacen a cualquier entorno del territorio nacional. Debido a que no hay manera de saber si la escena del accidente será en las montañas, valles o selvas, la mayoría de los miembros del *Go Team* no pueden tener una maleta completamente lista con la ropa

adecuada para el terreno, pero sí pueden tener listas las herramientas útiles, como llaves cuidadosamente seleccionadas, destornilladores y dispositivos especiales. Todos los investigadores deben llevar linternas, grabadoras, cámaras, cinta y otras herramientas. En el futuro, teniendo en cuenta los resultados presentados en este documento, podrían incluirse RPAS a la lista.

Según el procedimiento establecido para investigar un accidente, se debe reconocer el área, identificar las vías de acceso, y después desarrollar las actividades del personal del equipo de búsqueda y rescate. Pueden implementarse RPAS para tomar fotografías aéreas y apoyar las actividades de ubicación o vigilancia. Posteriormente, comienza la investigación del accidente. Es necesario empezar por localizar y recuperar la documentación y la grabadora de datos de vuelo en la escena del accidente para mantenerla en custodia e investigar los hechos. Después de esta recuperación, se identifica la posición de los componentes de la aeronave por medio de fotografías que permitan determinar su ubicación y estado físico. Estas fotografías permiten analizar las condiciones de cada uno de los componentes para identificar grietas, fracturas, deformaciones, entre otras.

Después del análisis de los componentes, se realiza un trazado de la distribución de los restos. En esta actividad se puede usar un RPAS para simular y recrear la trayectoria de la aeronave antes del accidente así como su huella en tierra y su altitud en el momento del accidente. Por otro lado, se incluyen las declaraciones de los testigos que presenciaron el suceso. Toda esta información debe recopilarse en el informe final de la investigación (OACI, 2015).

Tipo de información obtenida con RPAS

Los RPAS recopilan la información por medio de los sensores que poseen a bordo. Uno de los sensores más relevantes son las cámaras, que permiten obtener fotografías y videos desde múltiples puntos de vista y alta calidad de imagen. El tipo de información recopilada depende del procedimiento en el que se utilice el RPAS en la escena del accidente aéreo. Existen procedimientos normales y dentro de ellos se ha identificado

que las siguientes tareas pueden implementarse factiblemente en una aeronave remotamente pilotada:

- a) Inspección de la escena.
- b) Búsqueda de la aeronave accidentada.
- c) Determinación de la altura de los objetos presentes en la escena.
- d) Evaluación de seguridad de la escena del accidente.
- e) Reconstrucción y visualización de la trayectoria del vuelo.

Los sensores y RPAS deben seleccionarse de acuerdo con la información que quiere obtener. Por ejemplo, en la toma de imágenes de precisión, un estudio de la Facultad de Geología de la Universidad de Patras establece que se puede implementar un RPAS con cámaras de acción en *gimbal*¹. En esta configuración, las cámaras son capaces de capturar fotos a megapíxeles específicos, con longitud focal claramente definida y paso de píxeles en μm (Universidad de Patras, 2017). Además, el RPAS se equipa con un módulo de Sistema Satelital de Navegación Global (GNSS, por sus siglas en inglés) para lograr vuelos automáticos y con un doble sistema *gimbal* que le permite la captura simultánea de la misma escena en varios ángulos (por ejemplo, tomas verticales y oblicuas) con el fin de realizar diferentes vistas de la misma área (Universidad de Patras, 2017). Otro ejemplo es el uso de cámaras térmicas que ayudan a detectar incendios ocurridos en la escena del accidente y a determinar la línea de propagación del incendio. Así mismo, los sensores multiespectrales pueden llegar a tomar valores de seis bandas espectrales; se pueden seleccionar diferentes bandas mediante el uso de filtros. Debido a que estos sensores están diseñados para el estudio de parámetros relacionados con la reflexión de luz visible y no visible, sirven para diferenciar la vegetación y otros elementos en la escena de un accidente, como fluidos, capas

¹ Los *gimbal* son soportes con suspensión cardán que controlan y estabilizan el movimiento de la cámara.

vegetales removidas y materiales metálicos. Las bandas son seleccionadas en las gamas de verde, rojo e infrarrojo cercano. Según la banda, los elementos de la superficie presentan diferentes respuestas de absorción y reflectancia (Díaz, 2015).

En un RPAS, la georreferenciación mediante GPS es útil, pues ayuda a controlar la precisión de las imágenes. La precisión se determina en referencia al desplazamiento de una imagen con respecto a la siguiente tomada por el RPAS en movimiento. De este modo se pueden indicar los errores en la georreferenciación y en el área (Universidad de Patras, 2017). La suma de todas las imágenes tomadas en una misma área y con relación de desplazamiento, se define como mosaico. Por otro lado, la longitud focal de la cámara determina la precisión de las imágenes que se deseen utilizar en el RPAS. Para ello debe buscarse una escala adecuada; por ejemplo, si la cámara tiene una distancia focal corta, la fotografía aérea se ve afectada por factores como las nubes. Resultados de otras investigaciones indican que la precisión de la escala supera el 99,7 % y que la corrección de exactitud de la georreferenciación alcanza el 99,8 % (Universidad de Patras, 2017). Por lo tanto, el uso de imágenes tomadas con RPAS es una solución viable para la cartografía de alta precisión en las tareas de investigación de accidentes aéreos. Este proceso de tratamiento de mosaicos de imágenes aéreas se conoce como fotogrametría (Sánchez, 2007).

El propósito de la fotogrametría es describir la geometría de una escena con alta precisión, presentando las unidades en un marco absoluto. Esto es esencial para complementar la metrología de la escena. Un método convencional utilizado para aumentar la precisión metrológica en la fotogrametría aérea es tener puntos cuyas coordenadas se miden por topografía. Esos puntos se utilizan para convertir capturas relativas al sistema absoluto. Esta técnica es eficaz, pero las condiciones de la escena pueden limitar el procedimiento (por ejemplo, si la escena es inaccesible o insegura). La fotogrametría con RPAS georreferenciada con puntos de control, alcanza una exactitud absoluta típica de 1 a 5 cm (Santos, 2014). La fotogrametría puede realizarse con o sin puntos de control.

Inspección de la escena

Con la inspección de la escena del accidente aéreo se busca determinar las condiciones del lugar y delimitar la escena. Un RPAS puede ser usado para el levantamiento de información; es decir, para obtener imágenes y videos básicos con información preliminar fácil de interpretar. Esta información se puede obtener mediante transmisión en tiempo real al investigador desde diferentes perspectivas; no se requiere del acceso directo del investigador a la escena, lo cual reduce significativamente las posibilidades de verse contaminada. Al delimitar la escena es posible realizar tomas fotogramétricas que se procesan con *software* especializados de fácil acceso; con estas tomas se obtienen mapas completos de la escena.

Los RPAS se utilizan para determinar otros datos de la inspección; por ejemplo, para identificar ramas de los árboles que se rompen cuando la aeronave trata de aterrizar, para determinar la actitud de impacto de la aeronave a través de los mapas o para tomar fotografías detalladas de las evidencias distantes al suelo. Con los mapas y los demás detalles se construyen planos del accidente. Estos planos, cuando son tomados con helicóptero alteran la escena debido al *downwash*, que afecta a los árboles. Un RPAS es particularmente útil, cuando la aeronave necesita ser despejada rápidamente, para documentar escombros y marcas en una pista.

Búsqueda de la aeronave accidentada

En la búsqueda de la aeronave accidentada se pretende hallar el lugar en el que se encuentra la mayor parte de los componentes y de cualquier otro resto aislado de la aeronave, así como evidencias del impacto. Con las cámaras de un RPAS es posible encontrar objetos más pequeños mediante video de alta resolución en vivo. Estos videos e imágenes pueden albergarse en la memoria del equipo para que la información esté disponible después del vuelo y pueda ser analizada. De este modo se pueden realizar nuevas búsquedas detalladas que proporcionen información complementaria

en la investigación. Debido a que se cuenta con la posición georreferenciada del RPAS, se puede obtener una ubicación más precisa del objeto con el parámetro leído en una estación terrena. Algunos RPAS tienen sistemas de posicionamiento RTK (por sus siglas en inglés, *Real Time Kinematic*). Esta tecnología se basa en dos GPS, uno es el GPS móvil en el RPAS y el otro es un GPS fijo en la estación terrena. El sistema RTK soluciona la dispersión de la posición GPS, logrando así precisiones de centímetros (Villarreal et al., 2014). Esto es particularmente útil para escanear la escena y localizar marcas que son difíciles de identificar desde el suelo.

Otra tecnología utilizada para el estudio de áreas es la tecnología LIDAR (por las siglas en inglés para Detección de Imágenes Láser y su Rango). Esta se utiliza como fuente de información geográfica con niveles de detalle superiores a los de las demás tecnologías operativas. Esta tecnología permite obtener puntos georreferenciados de todos los elementos de la superficie de la tierra que son ajustados en el espacio gracias a los GNSS que se acoplan con el sensor en el RPAS y con estaciones de control en tierra (Martínez Tobón et al., 2013). Además, los RPAS con sensores hiperespectrales capturan información en intervalos de 400 nm y hasta 1000 nm. De esta manera toman datos hasta de 300 bandas, con los que logran la máxima información espectral (Díaz, 2015). Esta información ayuda a determinar los elementos presentes en la escena del accidente aéreo que por alguna condición del terreno no se pueden identificar fácilmente de manera visual (Salamanca Céspedes & Pérez Castillo, 2008); por ejemplo, fluidos y otros componentes de la aeronave.

Altura de los objetos presentes en la escena

El RPAS proporciona una lectura rápida de la altura que se muestra en el dispositivo de telemetría. Esta información ayuda a determinar la medida vertical de obstáculos o de evidencias del impacto en la escena (tales como edificios, árboles, entre otros) debido a que se puede volar el RPAS al nivel de la parte superior de estos objetos. Además, es posible tomar fotografías de los detalles de estos objetos sin afectar considerablemente la escena, pues el *downwash* de los rotores del

RPAS no es significativo si se lo compara con el de un helicóptero (Flight Safety Foundation, 2017). La altura del punto de despegue se calcula utilizando tanto el GPS y el sensor barométrico interno del RPAS, como sensores láser o ultrasónicos. Estos últimos son comercialmente implementados en aeronaves desarrolladas a base de tarjetas centrales derivadas de arduino que usan ultrasonido, y en aeronaves de ala fija de fabricación francesa que usan láser sin generar consumos de batería significativos.

Evaluaciones de seguridad de la escena del accidente

Los accidentes pueden representar riesgos físicos para los investigadores cuando hay componentes peligrosos, como químicos, combustibles, artillería a bordo, o cuando las condiciones orográficas son difíciles, como en las faldas de acantilados, entre otras. El RPAS puede utilizarse para volar cerca de los restos e identificar así su ubicación y estado. Esto proporciona información al equipo investigador o al de búsqueda y rescate, quienes se encuentran en una posición segura, con lo que se evita poner en riesgo al personal humano.

Reconstrucción y visualización de la trayectoria de vuelo

El RPAS ofrece un método de bajo costo para la obtención de información desde el punto de vista del piloto. La logística de carga de la aeronave puede reducirse a transportar el RPAS en un morral de espalda y a transportar sus baterías, que no superan los 500 g (en ocasiones, este peso incluye la aeronave con todos sus sensores). En el lugar del accidente, el RPAS puede ser armado y despegado en corto tiempo. El gasto y la logística que requiere operar un helicóptero, para recrear una trayectoria final estimada de la aeronave con el fin de reconstruir los sucesos previos al impacto, son mucho mayores. Por ejemplo, si la aeronave se estrelló por causa de una pérdida de potencia, entonces un video de la trayectoria final permite identificar las opciones que tuvo el piloto para realizar una maniobra de emergencia; o, si la aeronave golpeó un obstáculo, la

vista del RPAS permite revelar lo sobresaliente que era el obstáculo. Esta vista se puede obtener en diferentes momentos del día y en diferentes condiciones de iluminación (Airgomed.com, 2017), puesto que la operación del RPAS en cualquier momento es fácil y rápida.

Tipos de RPAS

Para las tareas que realiza un investigador con diferentes tipos de sensores, se deben evaluar las condiciones operativas del RPAS teniendo en cuenta sus características de rendimiento². Actualmente, los RPAS fabricados tienen varias similitudes con las aeronaves tripuladas. Se pueden encontrar RPAS cuya configuración y operación se basa en aeronaves de ala fija, de tipo avión, y ala volante; ala rotatoria como helicóptero, y multirrotor. Esta última configuración es la más común y los RPAS se clasifican de acuerdo con el número de rotores y su ubicación. Los siguientes son ejemplos de configuración multirrotor: configuración X, en la que ningún rotor está en el eje longitudinal, de tal manera que se forma una X con el número de rotores; la configuración T, en la que el eje longitudinal coincide con un motor delantero, y la configuración Y para

multirrotos con brazos impares. Los RPAS multirrotor tienen más de dos rotores (tres, cuatro, seis u ocho). Dependiendo del tipo de configuración de RPAS, el equipo puede ofrecer diferentes ventajas operativas. Los equipos multirrotor son más prácticos para áreas confinadas y capturas estáticas por sus características de vuelo estacionario. Los RPAS de ala fija son ideales para vuelos más largos, grandes coberturas aéreas y un largo recorrido de rutas. Los RPAS tienen una capacidad de carga que limita el peso máximo de despegue, dicho peso se denomina “carga paga”. El peso máximo de despegue está directamente relacionado con la autonomía de vuelo (tiempo total de vuelo) de una aeronave.

Como parte del proceso de análisis, se hizo una búsqueda de información relativa a los RPAS que se encuentran en el mercado. Aplicando el método de análisis de performance de aeronaves de Jan Roskam (2003), fue posible identificar tres segmentos de peso³: menores a 2,5 kg, entre 2,5 y 12 kg y mayores a 12,5 kg. En la figura 2, se presenta la relación entre peso y autonomía de RPAS comerciales, con pesos inferiores a 2,5 kg y autonomía inferior a 16 minutos. Esta figura muestra una dispersión grande entre modelos.

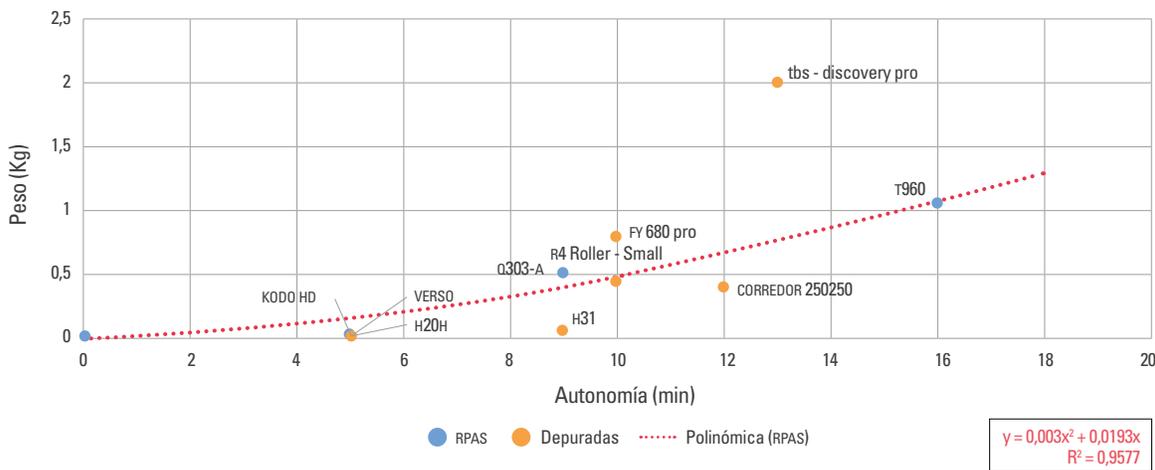


Figura 2. Rendimiento de RPAS (menos de 2,5 kg y 16 min)

Fuente: elaboración propia.

2 Es decir, el *performace* de cada tipo aeronave.

3 Entre los cerca de ochenta y cinco modelos de RPAS comerciales analizados.

La figura 3 muestra una tendencia de autonomía de RPAS comerciales con pesos entre 2,5 kg y 12 kg y una autonomía inferior a 250 minutos. En este segmento se encuentra la gran mayoría de RPAS con sensores destacados para actividades multipropósito. Estos RPAS tienden a tener un diseño portable y unas técnicas de armado y operación simples. Además, en este rango de pesos se encuentra la mayor cantidad de oferta en el mercado y la mayor cantidad de unidades producidas por modelo. Estos datos muestran una tendencia polinómica de 6^{to} grado, lo cual sugiere un crecimiento de la oferta de modelos dentro de ese mismo rango de peso. Además, se resalta la gran dispersión de los modelos en términos de autonomía, lo cual fortalece la hipótesis de que los RPAS presentan múltiples ventajas operativas y rangos de autonomía cada vez mayor (Gómez et al., 2017).

Adicionalmente, la figura 4 muestra una tendencia en la autonomía de RPAS encontrados en el mercado con pesos superiores a 12 kg. Se puede apreciar una

primera tendencia superior de baja autonomía y alto peso, que caracteriza a los RPAS utilizados para aplicaciones muy especializadas, que requieren de equipos de uso avanzado y tecnología robusta. Usualmente, esos equipos requieren de una infraestructura mayor para su operación. Se observa además una tendencia natural de aumento de la autonomía en cuanto el peso se reduce. Esto sugiere un desarrollo industrial con tendencia a la permanencia de esta tecnología, cada vez más precisa, para tareas especiales.

El análisis anterior determina que la mayoría de RPAS comerciales tienen pesos entre 2,5 kg y 12 kg. También se utilizan RPAS de más de 12 kg para cargar un equipo especial de alto rendimiento. Además, se encontró que las aeronaves cuya autonomía es superior a la de las demás, tienen una configuración de motor de combustión, a diferencia de las otras, que tienen una configuración de plantas motrices eléctricas. Este análisis de rendimiento puede permitir al AIG seleccionar equipos que se ajusten a sus necesidades operativas en el desarrollo de la investigación.

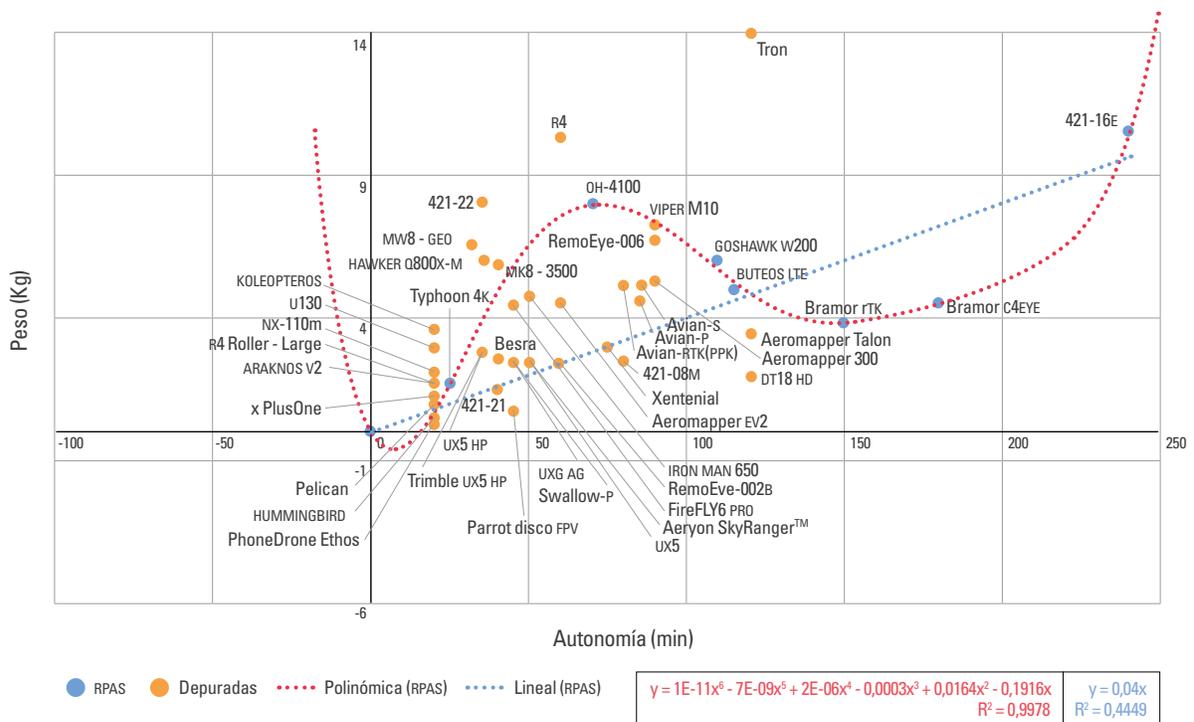


Figura 3. Rendimiento de RPAS (desde 2,5 kg hasta 12 kg) para una autonomía máxima de 250 min
Fuente: elaboración propia.

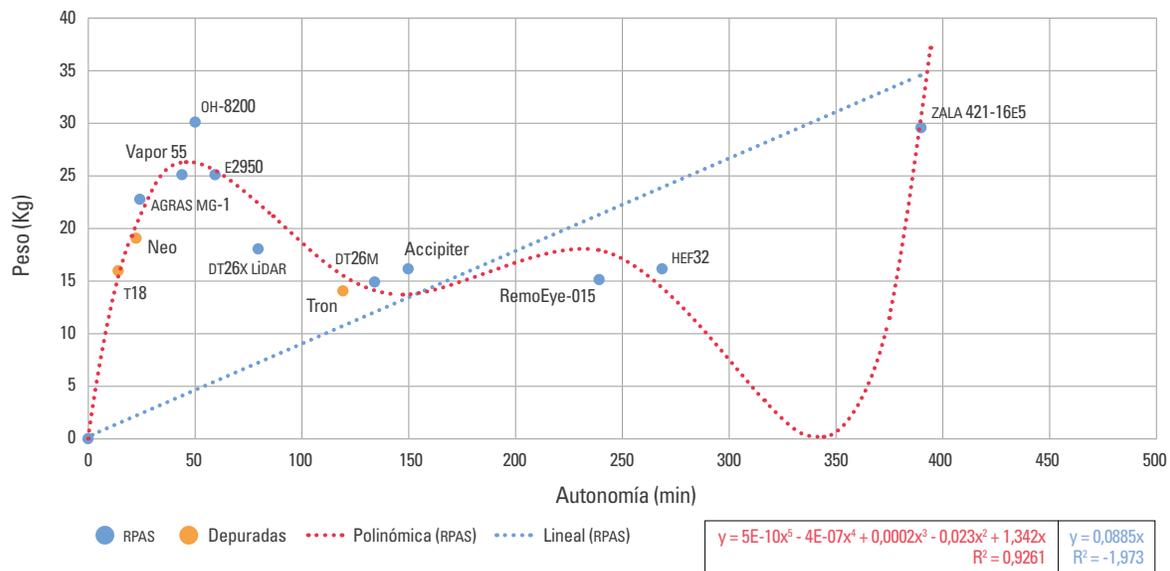


Figura 4. Rendimiento de RPAS de más de 12 kg

Fuente: elaboración propia.

Beneficios del software de fotogrametría para el procesamiento de imágenes de un accidente

Las imágenes aéreas de la escena de un accidente de aviación pueden ser procesadas con diferentes herramientas de *software* de fotogrametría disponibles comercialmente (Martorell, s.f.)¹. Este procesamiento trae una serie de beneficios, como el desarrollo de ortomosaicos y modelos tridimensionales 3D del terreno. El ortomosaico es también una herramienta útil para sitios de accidentes que abarcan grandes extensiones de terreno, pues permite unificar múltiples imágenes en una única gran imagen con las características de resolución de cada imagen componente. Esto permite analizar con mayor detenimiento la escena durante el estudio del accidente en la oficina del investigador, lo que abre la posibilidad de hallar evidencia que posiblemente no fue encontrada en el momento de la primera intervención y levantamiento. Por otro lado, un ortomosaico es un mapa y puede ser utilizado para planear la recuperación de los restos en escenas de accidentes que abarcan grandes extensiones de terreno. Así mismo, el *software* facilita obtener las mediciones de altura de curvas de nivel

en el terreno. En el mercado de *software* de fotogrametría se pueden encontrar diferentes soluciones que ofrecen diferentes características comerciales. Algunos de estos programas, de uso libre e ilimitado, vienen incluidos con compra del RPAS. Estos pueden llegar a procesar modelos de alta calidad y extensiones. Los niveles de calidad de la información dependerán, en general, de la altura de vuelo, el porcentaje de solapamiento de las imágenes, las características de la cámara y la técnica de procesamiento. Los tiempos y costos computacionales dependerán del equipo de cómputo y del *software*. La mayoría de los *software* ofrecen varias alternativas de procesamiento en la nube, con respuesta aproximada de resultados a las 24 horas.

El modelo 3D (figura 5) es muy útil para dar información a las personas que no han asistido al lugar del accidente. Con este modelo se puede interactuar acercando, alejando y rotando para mostrar todas las marcas de tierra y la distribución de los daños. En comparación con una serie de imágenes fijas (Serna, 2015), este modelo hace más fácil que las personas visualicen la escena del accidente. Los modelos 3D recrean entornos animados que pueden ser vistos por personas que no poseen el *software*. Además, si ha transcurrido un

tiempo entre el levantamiento de información del accidente y la redacción del informe, el modelo 3D permite refrescar la información. Sin embargo, hay límites para el modelo 3D. Este puede contener elementos que no son tan detallados como las imágenes iniciales utilizadas para crearlo, por lo que es un apoyo y no debe ser visto como un reemplazo de las imágenes sin procesar.

Es útil generar la mayor cantidad de productos que se pueda con el *software*, pues, por ejemplo, se ha identificado que en algunos casos la imagen ortomosaica de una escena del accidente es más útil que un modelo 3D (PIX4D, 2016). El modelo sirve efectivamente como una reconstrucción de la escena del accidente muy detallada y requiere de menor tiempo en comparación con el dibujo de un boceto del sitio. Si el investigador toma nota de los objetos, que es poco probable

que se vean en las imágenes aéreas, puede confiar en el ortomosaico para documentar las posiciones de las partes principales de la aeronave y sus posiciones relativas a las marcas en tierra. Siempre ha resultado difícil dibujar una trama de los daños a escala, pero el ortomosaico permite realizar esta labor. Por ello, el investigador puede cargar un ordenador portátil para comprobar la calidad del ortomosaico antes de tomar decisiones. Es muy importante hacer algunas mediciones manuales, usando una cinta métrica o un medidor láser, entre puntos que serán identificables en las imágenes, ya que esto permite comprobar la exactitud del modelo y del ortomosaico. Adicionalmente, estas medidas se pueden introducir en el *software* de fotogrametría usando la opción “Escala”, la cual reoptimiza el proyecto usando las distancias conocidas para reducir el margen de error (Vázquez-Tarrío, 2017).

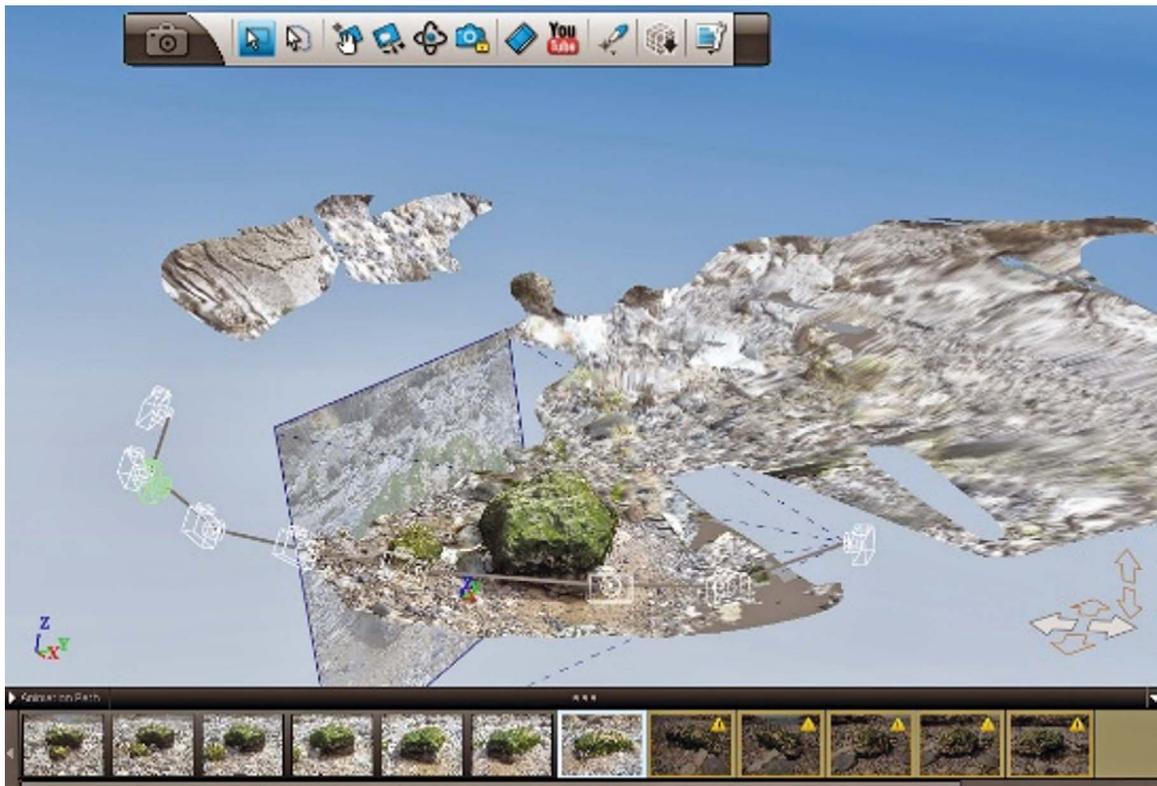


Figura 5. Levantamiento en tres dimensiones

Fuente: tomado de <http://intergalacticrobot.blogspot.com.co/2014/03/>

Regulación de RPAS

La regulación para cualquier práctica aérea en el mundo debe estar ceñida a las directrices de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI, s.f.). Sin embargo, esta organización no tiene procedimientos establecidos para la operación de RPAS en contextos estatales. Aun así, se considera que, debido a que varios países de la región latinoamericana están usando RPAS y desarrollando marcos regulatorios, la región debe adoptar un enfoque cooperativo para el desarrollo de la reglamentación. La OACI sugiere elementos generales para evaluar la clasificación de RPAS (Parra, 2017). No obstante, para fines específicos como el de investigar accidentes aéreos o similares, no se han definido límites claros. La Aerocivil ha avanzado en un modelo para orientar la operación de RPAS en aplicaciones comerciales, compilado inicialmente en la norma CR-5100-082-002 (Aerocivil, 2015). Esta norma fue reemplazada por la resolución 04201 del 27 de diciembre del 2018, en la cual se encuentran las indicaciones de operación de los RPAS, establecidas como anexo 13 del RAC 91 (Aerocivil, 2018).

En Colombia, los RPAS que no cumplen con los requisitos de la 04201 no están autorizados para operaciones de aviación civil (Romero & Gomez, 2017). La reglamentación sugiere que el RPAS debe utilizarse de manera que exista el menor riesgo para la integridad de las personas, las propiedades u otras aeronaves, de acuerdo con las condiciones del permiso otorgado según el tipo de operación. Esta es la filosofía central del sistema de SMS y el propósito de la Aerocivil. El funcionamiento del RPAS estará limitado a operar exclusivamente durante el día y en condiciones meteorológicas visuales (VMC, por sus siglas en inglés). Por otra parte, una persona no podrá operar un RPAS en Colombia sin cumplir con las condiciones de aeronavegabilidad y las habilidades técnicas establecidas. Además, se requiere de información del operador de RPAS, sistema de certificación para sus pilotos y su inclusión en la base de datos de RPAS de la Secretaría de Seguridad Operacional y de la Aviación Civil (Aerocivil, 2018).

Dado que un RPAS tiene la capacidad de maniobrar en vuelo, mantenerse, moverse en el aire, y transportar

cargas, debe cumplir con las condiciones establecidas en las definiciones de «Aeronaves» contenidas en el artículo 1789 del Código de Comercio de Colombia, en el RAC 1 (Aeronáutica Civil de Colombia, 2015) y en los anexos técnicos de la OACI. Los RPAS son aeronaves que se encuentran en el mercado para múltiples propósitos, como vuelos FPV, automáticos, para fotogrametría o similares; asistidos, para maniobras de reproducción de posibles trayectorias de la aeronave accidentada, y demás propósitos citados al principio del documento. Por lo tanto, los RPAS estarán sujetos a las condiciones técnicas determinadas por la autoridad de aviación civil. Se debe aclarar que estas normas son aplicadas para RPAS civiles comerciales. El uso de RPAS para la investigación de accidentes aéreos se clasificaría como aviación de Estado. Este tipo de aviación tiene sus directrices internas, similares en materia de seguridad a las de la aviación civil comercial, pero no se regula por las mismas normas de esta (Aeronáutica Civil de Colombia, 2015).

Propuesta para el uso de RPAS en investigaciones de accidentes aéreos

Para usar un RPAS en el proceso de investigación de un accidente aéreo, se requiere que las tareas antes mencionadas estén articuladas con las actividades que se encuentran descritas en el *Manual de investigación de accidentes e incidentes de aviación* (OACI, 2015).

Para la toma de muestras pictográficas de la escena del accidente aéreo, se identificaron las actividades que deben ser realizadas con respecto a la toma de fotografías y evidencias gráficas de la escena del accidente. En el *Manual de investigaciones de accidentes aéreos*, parte II, de la OACI (2015), se contemplan actividades por parte del grupo de fotografía. Estas actividades están descritas en el apéndice 2 del documento, el cual asigna al grupo de fotografía cuatro actividades específicas a desarrollar:

1. Actividad 16 - Fotografía del sitio (fase 1)
2. Actividad 30 - Fotografía del sitio (fase 2)
3. Actividad 63 - Análisis e informe del grupo fotografía/video
4. Actividad 65 - Análisis técnico y conclusiones

No obstante, el grupo fotografía/vídeo debe realizar tareas de actividades asignadas a otros grupos, como la toma de muestras de pictografías, según las necesidades específicas de las actividades que los investigadores realizarán. Por lo tanto, en el momento de tomar una fotografía, se debe tener en cuenta la nitidez de la imagen, además de tener una referencia escalar y una buena iluminación (que permite identificar su composición). De acuerdo con esto, para la toma de fotografías se deben tener en cuenta tres categorías:

Fotografía general

Según los estándares de procedimiento del manual *Investigación de accidentes e incidentes de aviación* (RAC 114, 2017) (basado en el manual de la OACI, 2015) y que contiene condiciones similares a la FAA (*Federal Aviation Administration*) se mencionan ocho fotos de la aeronave para la fotografía de accidentes aéreos, las cuales rotan cada 45 grados alrededor de la aeronave para una vista desde techo (siempre que la aeronave se encuentre completa en un mismo punto). En la figura 6 (b) se muestra, por medio de puntos, la toma clásica de imágenes. En comparación, se puede ver la imagen aérea básica con un RPAS en la figura 6 (a).

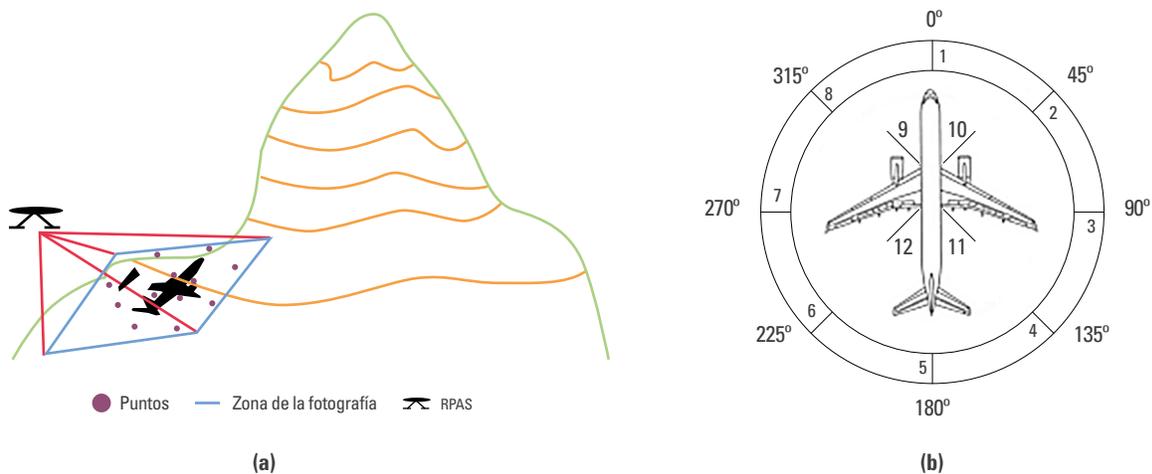


Figura 6. Esquema de fotografía con RPAS a y b
Fuente: elaboración propia.

Fotografía particular

Según los estándares de procedimientos para la fotografía en investigación de accidentes aéreos, se requieren cuatro fotos tomadas en las uniones ala-fuselaje para las zonas del borde de ataque y borde de fuga.

Fotografía detallada

Si el investigador detecta otra zona de la aeronave accidentada, se recomienda un ángulo de visión menor a 60 grados que permita enfocar la falla, golpe, fisura o las imperfecciones en la aeronave accidentada (Martín, 2008). Esta tarea puede ser apoyada con RPAS gracias a su autonomía, que normalmente está entre 15 y 25 minutos para RPAS de entre 2 y 12 kilogramos, de tipo multirrotor, de fácil portabilidad y operación. Además, dicho RPAS puede ser usado en un área transitada o en áreas rurales, lo que facilita la obtención de imágenes y videos desde ángulos óptimos. Del mismo modo, las tomas pictográficas de la zona ayudan a identificar los elementos ya analizados. Por esta razón, un RPAS es capaz de reconocer el área e identificar las vías de acceso con menor riesgo para asegurar un acceso rápido a un área específica (figura 7).

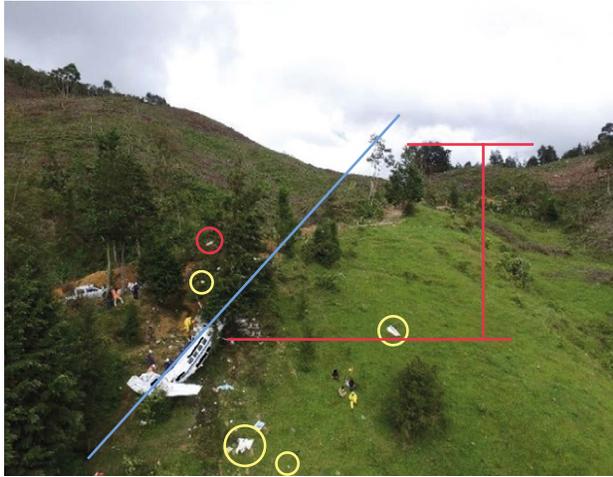


Figura 7. Ejemplo de una fotografía con RPAS en un accidente aéreo
Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

El RPAS permite la identificación de zonas específicas de accidentes. En esta identificación se debe dar prioridad a la identificación de los supervivientes y de posibles riesgos. El RPAS es capaz de tomar fotografías aéreas para identificar la distribución de las partes en el área del accidente. Además, tiene la capacidad de cubrir una gran área para tomar una fotografía a gran altitud, o realizar fotogrametría. Un RPAS es útil para la toma de imágenes y video, la inspección del sitio del accidente, la realización de la reconstrucción y visualizaciones finales de la trayectoria de vuelo. Un video en vivo de un RPAS puede ser usado también para buscar restos. Finalmente, el RPAS se puede desplegar en un tiempo corto en el sitio del accidente, y por lo tanto es capaz de documentar la escena sin ser afectado por las actividades de investigación y recuperación.

El *software* de fotogrametría se puede utilizar para crear mapas georreferenciados, imágenes ortomosaicas y modelos 3D de la escena del accidente. El modelo 3D es muy útil para informar a las personas que no han asistido a la escena del accidente con el fin de que tengan una clara idea de la escena al escribir el informe. El *software* permite tomar mediciones (hasta de un centímetro de precisión) de un sitio. Esto

significa una disminución en el tiempo en la escena del accidente, en comparación con las mediciones manuales y el dibujo de bocetos.

La información presentada en este artículo ofrece el análisis teórico inicial de un proyecto de investigación en el que se busca definir el procedimiento estandarizado que debería ser consignado en un *Manual de investigaciones de accidentes aéreos*. Se espera que este manual le sirva a la autoridad en materia de investigación de accidentes de cualquier Estado para que los RPAS se puedan utilizar de manera similar en la recolección de información en la escena de un accidente aéreo. De esta manera, se garantizará la calidad y la utilidad de los datos tomados con estas importantes herramientas. Además, se ampliará el espectro de información que un investigador de accidentes aéreos puede recopilar con los procedimientos convencionales.

En la segunda etapa del proyecto, se espera validar la propuesta de este manual, primero, con pruebas en campo, en un escenario controlado que simule un accidente de aviación, y luego en la escena real de un accidente. De este modo, se ajustará la propuesta inicial para que la autoridad aeronáutica ponga en funcionamiento el resultado de esta investigación.

Referencias bibliográficas

- Aerocivil. (2016, 13 de septiembre). *Investigación de accidentes e incidentes graves*. <http://www.aerocivil.gov.co/autoridad-de-la-aviacion-civil/investigacion-de-accidentes-e-incidentes-graves>
- Aerocivil. (2018). *Resolución 04201. Por la cual incorporan a la norma RAC91 de los Reglamentos Aeronáuticos de Colombia unas disposiciones sobre operación de sistemas de aeronaves no tripuladas UAS y se numeran como Apéndice 13, y se adoptan otras disposiciones*. Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil.
- Aeronáutica Civil de Colombia. (2015). *Reglamento Aeronáutico de Colombia*. Aeronáutica Civil de Colombia.
- Airgome.com. (2017, 20 de enero). *Northwestern presenta un currículo de drones para investigaciones y reconstrucciones de accidentes de tránsito*. <https://www.airgome.com/2017/01/20/deciding-on-a-drone/>

- Bell, P. L. (2012). *Colombia: manual Comercial e Industrial*. Banco de la República.
- Díaz, J. J. (2015). *Estudio de Índices de vegetación a partir de imágenes aéreas tomadas desde UAS/RPAS y aplicaciones de estos a la agricultura de precisión* [Tesis de Maestría no publicada]. Universidad Complutense de Madrid.
- Flight Safety Foundation. (2017, 22 de junio). *U.K. AAIB Lauds Use of Drones in Accident Investigations*. <https://flightsafety.org/u-k-aaib-lauds-use-drones-accident-investigations/>
- Gómez, L., Parra, J., Vélez, J., Avellaneda, J., & Ospina, L. (2017). Proposal to Use UAS in the Investigation of Aviation Accidents in Colombia. *IEEE/AIAA 36th Digital Avionics Systems Conference (DASC)*, 1-6. <https://doi.org/10.1109/DASC.2017.8102149>
- Martín, J. R. (2008). *Curso de fotogrametría digital*. Universidad Politécnica de Madrid.
- Martínez Tobón, C. D., Auneta Duarte, J. E., & Valero Fandiño, J. A. (2013). Aplicación de datos LIDAR en la estimación del volumen forestal en el parque metropolitano bosque San Carlos. *Ciencia E Ingeniería Neogranadina*, 23(1), 7-21. <https://doi.org/10.18359/rcin.229>
- Martorell, A. (s.f.). *Comparativa de programas para fotogrametría*. <https://geoinnova.org/blog-territorio/comparativa-de-programas-para-fotogrametria/>
- Organización de Aviación Civil Internacional (OACI). (s.f.). *Sobre la OACI*. https://www.icao.int/about-icao/Pages/ES/default_ES.aspx
- Organización de Aviación Civil Internacional (OACI). (2001). *Anexo 13. Investigación de accidentes e incidentes de aviación*. OACI.
- Organización de Aviación Civil Internacional (OACI). (2015). *Manual de investigación de accidentes e incidentes de aviación*. OACI.
- Parra, J. E. (2017, 3 de mayo). *Tendencia dron en Colombia*. Centro de Estudios Aeronáuticos. <http://www.aerocivil.gov.co/cea/panacea/Pages/Tendencia-drone-en-Colombia.aspx>
- Pix4D. (2016, 28 de diciembre). *Drones fly over aircraft accident scenes in UK: mapping wrecks, not causing them*. Medium. <https://medium.com/@Pix4D/drones-fly-over-aircraft-accident-scenes-in-uk-mapping-wrecks-not-causing-them-8c01171ffe53>
- RAC 114. (2017). *Investigación de accidentes e incidentes de aviación*. Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil.
- Roskam, J. (2003). *Airplane Design*. The University of Kansas.
- Romero, J., & Gomez, L. (2017). Proposal for RPAS integration into non-segregated airspaces. *2017 Integrated Communications, Navigation and Surveillance Conference (ICNS)*, Herndon, VA, 1-10.
- Salamanca Céspedes, J. E., & Pérez Castillo, J. N. (2008). LIDAR, una tecnología de última generación, para planeación y desarrollo urbano. *Ingeniería*, 13(1), 67-76. <https://doi.org/10.14483/23448393.2090>
- Sánchez, J. A. (2007) *Introducción a la fotogrametría*. UNSJ.
- Santos, D. (2014). *Fotogrametría usando plataforma aérea UAV*. Universidad Politécnica de Cataluña
- Serna, M. (2015). *Uso de aeronaves no tripuladas (RPAS) en la conservación preventiva de la propiedad cultural* [Proyecto de grado no publicado]. Universidad Politécnica de Valencia.
- Universidad de Patras. (2017). *UAV vs fotogrametría aérea clásica para estudios arqueológicos*. Patras.
- Vázquez-Tarrío, D., Borgniet, L., Liébault, F., & Recking, A. (2017). Using UAS optical imagery and SfM photogrammetry to characterize the surface grain size of gravel bars in a braided river (Vénéon River, French Alps). *Geomorphology*, 285, 94-105. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2017.01.039>
- Villarroel, D. D., Scaramuzza, F. M., Méndez, A. A., & Vélez, J. P. (2014). El posicionamiento satelital y sus sistemas de corrección. *Curso Internacional de Agricultura de Precisión*, 13, 175-182. https://inta.gov.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_c3-_el_posicionamiento_satelital_y_sus_sistemas_.pdf

Herramienta de entrenamiento neuropsicológico para operadores de Aeronaves Remotamente Tripuladas Scan Eagle*

| Fecha de recibido: 15 de octubre del 2019 | Fecha de aprobación: 29 de abril del 2020 |

Gerson Adolfo Páez López

Magíster en Seguridad Operacional

Fuerza Aérea Colombiana
Grupo de investigación: CIPAER
Rol de investigador: intelectual, comunicativo
<https://orcid.org/0000-0003-0284-7830>
✉ GapaezL78@hotmail.com

María Alejandra Corzo Zamora

Magíster en Fisiología y Salud Espacial

Especialista en Investigación,
Centro de Investigaciones Biomédicas
Aeronáuticas y Espaciales de la FAC
Grupo de investigación: CIPAER
Rol de investigador: intelectual,
experimental, comunicativo
<https://orcid.org/0000-0002-6462-6745>
✉ alejitaacor@gmail.com
✉ alejandrakorzo.sph@gmail.com

Alexander Díaz Ariza

Magíster en Neuropsicología

Fuerza Aérea Colombiana, Dirección de Medicina
Aeroespacial, Subdirector Psicología de Aviación
Grupo de investigación: CELSO
Rol de investigador: intelectual,
experimental, comunicativo
<https://orcid.org/0000-0002-0848-6063>
✉ adiaz7@gmail.com

Nohora Inés Rodríguez Guerrero

Magíster en Epidemiología Clínica

Universidad Militar Nueva Granada,
Asesora Escuela de Posgrados
Grupo de investigación: CIPAER, CELSO
Rol de investigador: comunicativo
<https://orcid.org/0000-0002-2064-639X>
✉ nirodrigu21@yahoo.com

* Artículo producto del proyecto *Respuestas fisiológicas y funcionamiento neuropsicológico en toma de decisiones de operadores de Aeronaves Remotamente Tripuladas Scan Eagle de la Fuerza Aérea Colombiana* de la invitación directa FAC-Colciencias 2017, código 56714.

Cómo citar este artículo: Páez López, G. A., Corzo Zamora, M. A., Díaz Ariza, A., & Rodríguez Guerrero, N. I. (2020). Herramienta de entrenamiento neuropsicológico para operadores de Aeronaves Remotamente Tripuladas Scan Eagle. *Revista Ciencia y Poder Aéreo*, 15(1), 39-52. <https://doi.org/10.18667/cienciaypoderaereo.658>



Herramienta de entrenamiento neuropsicológico para operadores de Aeronaves Remotamente Tripuladas Scan Eagle

Neuropsychological Training Tool for Scan-Eagle Unmanned Aerial Vehicles Operators

Resumen: Los eventos de seguridad no deseados en las Aeronaves Remotamente Tripuladas (ART) tipo Scan Eagle se han atribuido a los errores humanos, en particular, en la toma de decisiones y los errores durante la operación, los cuales pueden ser susceptibles a mejorar con entrenamiento específico como medida para mitigar el riesgo de accidentes. Este artículo propone una herramienta de entrenamiento basada en el funcionamiento neuropsicológico para los operadores de ART en la Fuerza Aérea Colombiana, para el mejoramiento de habilidades y gestión del riesgo, basada en el funcionamiento neuropsicológico y las áreas cerebrales. Se empleó un método de estudio no experimental de corte transversal analítico, realizando monitoreo de la actividad eléctrica cerebral mediante electroencefalografía (EEG) con el equipo B-alert x10, durante misiones reproducidas en simulador de Scan Eagle para identificar las áreas de actividad cerebral en frecuencia beta, y se aplicó la batería BANFE-2 para evaluar funciones ejecutivas y tipo de pensamiento. Se evaluaron 17 operadores masculinos de $28 \pm 2,7$ años, los resultados fueron analizados según la formación académica de los participantes en experiencia en vuelo, ingenieros y otras formaciones. Se encontró que las seis áreas más utilizadas en la operación de ART son las encargadas de desarrollar habilidad numérica, maniobras que requieren el uso de la mano contraria a la dominante, utilización de la imaginación, lenguaje hablado, razonamiento, y por último, el área de la percepción tridimensional. Los operadores con experiencia previa en vuelo presentan una actividad cerebral medial y orbital, tienen un pensamiento de tipo automático intuitivo con menor carga cognitiva en el monitoreo electroencefalográfico, mientras que los otros grupos sin experiencia previa en vuelo presentan un pensamiento frontal dorsolateral de pensamiento reflexivo con mayor carga cognitiva. Con los resultados obtenidos se diseñó una herramienta para el entrenamiento neurocognitivo autónomo y se proponen alternativas adicionales para complementar el entrenamiento de los operadores de ART, que permita potencializar el pensamiento automático intuitivo con menor carga cognitiva.

Palabras clave: ART; entrenamiento neurocognitivo; habilidades cognitivas.

Abstract: The unwanted safety events in the Scan-Eagle remote manned aircraft (RMA) have been attributed to human errors, particularly in decision-making processes and operational procedures, that may be overcome with specific training as a measure to mitigate the risk of accidents. This article proposes a training tool for ART operators in the Colombian Air Force based on neuropsychological functioning and brain areas, which intends to enhance their skills and make improvements on risk management. A non-experimental cross-sectional and analytical approach was used for this study, in which the electrical activity of participants was monitored by electroencephalography (EEG) using B-alert x10 device during simulated missions in the Scan-Eagle simulator in order to identify areas with high brain activity. In addition, BANFE-2 battery was applied to assess executive functions and thinking modes of the participants (17 male operators, $28 \pm 2,7$ years). Results were analyzed based on previous academic studies. Findings showed that the six most used areas during ART operation are those in charge of numerical ability, maneuvers that require the use of an individual's no-dominant hand, the use of the imagination, spoken language, the reasoning area, and the area of three-dimensional perception. Operators with previous flight experience showed a medial and orbital brain activity with an automatic intuitive thinking and lower cognitive load during EEG monitoring. In contrast, groups without previous flight experience showed a frontal dorsolateral reflexive thinking with higher cognitive load in EEG. A tool for autonomous neurocognitive training is designed and additional alternatives are proposed to complement RMA operators training and, therefore, boost an automatic intuitive thinking with less cognitive load.

Keywords: ART; Neurocognitive Training; Cognitive Skills.

Ferramenta de treinamento neuropsicológico para operadores de aeronaves remotamente pilotadas ScanEagle

Resumo: As ocorrências de segurança indesejadas nas Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARP) ScanEagle foram atribuídas a erros humanos, particularmente aos erros e decisões tomadas durante a operação, que podem ser melhoradas com o treinamento especialmente como uma medida para mitigar o risco de acidentes. Este artigo propõe uma ferramenta de treinamento baseada no funcionamento neuropsicológico para os operadores de ARP na Força Aérea Colombiana, para otimizar habilidades e gestão do risco, com base no funcionamento neuropsicológico e nas áreas cerebrais. Para o trabalho, foi utilizado um método de estudo não experimental de corte transversal analítico, para monitorar a atividade elétrica cerebral por eletroencefalograma (EEG) com o equipamento B-alert x10, durante missões que foram reproduzidas em um simulador ScanEagle para identificar as áreas de atividade cerebral com ondas de frequência beta. A bateria BANFE-2 foi aplicada para avaliar funções executivas e tipo de pensamento. Foram avaliados 17 operadores do sexo masculino de $288 \pm 2,7$ anos; os resultados foram analisados segundo a formação acadêmica dos participantes em relação a sua experiência de voo, engenheiros e outra formação. De acordo com os resultados, verificou-se que as áreas mais utilizadas na operação são aquelas que desenvolvem a habilidade numérica, manobras que requerem o uso da mão oposta à dominante, uso da imaginação, linguagem falada, raciocínio e, finalmente, a área de percepção tridimensional. Os operadores com experiência prévia de voo apresentam atividade cerebral medial e orbital, têm pensamento intuitivo do tipo automático com menor carga cognitiva no monitoramento eletroencefalográfico, enquanto os outros grupos sem experiência prévia de voo apresentam pensamento frontal de pensamento reflexivo com maior carga cognitiva. Com os resultados obtidos, foi desenhada uma ferramenta para o treinamento neurocognitivo autônomo e, são propostas alternativas adicionais para complementar o treinamento de operadores de ARP, que permita potencializar o pensamento automático intuitivo com menor carga cognitiva.

Palavras-chave: ARP; Treinamento neurocognitivo; Habilidades cognitivas.

Introducción

La operación de Aeronaves Remotamente Tripuladas (ART), también conocidas como drones, ha tenido un crecimiento exponencial a nivel mundial. Su importancia se ha incrementado gracias a la generación de nuevas oportunidades de negocio en ciertas áreas comerciales, tales como aerofotografía, estudios de fauna, reportes meteorológicos, vigilancia de zonas, envío de correspondencia, actividades recreativas, entre otras (Motoa, 2017). A nivel militar la situación es similar, por ejemplo, la Fuerza Aérea de Estados Unidos pasó de tener 15 ART en el 2007 a tener 60 en el 2011 (Murray & Park, 2013), y la Fuerza Aérea Colombiana (FAC), ingresó a este escenario con la utilización de modernas ART para realizar misiones típicas desde el 2005.

El aumento progresivo de la utilización de ART ha obligado a la implementación de normas internacionales destinadas a evitar su interferencia en la operación de aeronaves tripuladas, y catástrofes por colisión entre ellas (Organización de Aviación Civil Nacional [OACI], 2012). La evaluación de los diferentes eventos reportados con la operación de ART ha permitido evidenciar que existen factores como la ergonomía, impericia, falta de experiencia, indebida interacción entre el humano, la tecnología, y otros, que influyen en la operación del sistema, lo cual conduce a la necesidad de intervención y aplicación de métodos para la gestión del riesgo (Whitlock, 2014). De esta forma, se evidencia la gran responsabilidad que recae en un operador de ART, sobre quien debe ejercerse un control estricto, similar a un avión tripulado, ya que un error en toma de decisiones puede acarrear no solo la pérdida material del dron, sino, más grave aún, la de una vida.

En la aviación mundial se ha demostrado que el factor humano es el mayor contribuyente en eventos de seguridad no deseados, se presenta un porcentaje con evidencia de error humano del 70 % al 80 % de todos los accidentes aéreos (Shappell & Wiegmann, 2000). De acuerdo con estudios en accidentes de ART, se estima esta como causa entre el 21 % y el 67 % de los accidentes. Los factores humanos identificados incluyen errores de procedimiento y habilidades que

generan la consecuente manipulación inadecuada de las aeronaves (Zhang et al., 2016). Los problemas identificados se reúnen en 4 grupos: desempeño en situaciones multitareas, confianza en la automatización, conciencia situacional y carga del operador, todas asociadas con el error humano. Así mismo, se han descrito los errores de decisión, que representan el segundo porcentaje más alto en accidentalidad (Weigmann & Shappell, 2001; Williams, 2004). De igual forma, en la Fuerza Aérea Colombiana se han documentado eventos no deseados causados por fallas humanas (Inspección General Fuerza Aérea Colombiana, 2016).

La accidentalidad aérea ha llevado a una constante búsqueda de estrategias a nivel mundial para la reducción de eventos de seguridad operacional, entre las que se incluyen la automatización y el desarrollo de Aeronaves Remotamente Tripuladas. Sin embargo, esta automatización ha llevado a la identificación del síndrome de *out-of the loop*, en el cual los humanos que trabajan con automatización presentan una disminución en la habilidad para detectar errores del sistema y pueden responder a ellos con el uso de tareas manuales (Williams, 2006).

El ambiente operacional de las ART es particular, se realiza de forma remota desde tierra dentro de un espacio en el cual existen aeronaves tripuladas, considerado como un ambiente “hostil”. Se hace a través de una interfaz gráfica que requiere habilidades para optimizar la toma de decisiones y obtener una operación segura; no obstante, la operación de ART también está expuesta a los accidentes que pueden estar relacionados con una alta demanda de tareas y tiempos, que comprometen el cumplimiento de la misión y la seguridad operacional (Murray & Park, 2013).

En Colombia, un estudio realizado por López (2014), encontró que el 62 % de los accidentes se debían a la gestión inadecuada de recursos, planeación indebida del trabajo, factores ambientales, errores del operador y violaciones rutinarias. López afirma que errores del operador, específicamente asociados a la toma de decisiones, serían responsables del 10,2 % de la accidentalidad en ART. Dichos hallazgos están de acuerdo con lo reportado en estadísticas mundiales de accidentalidad en ART (Thompson et al., 2005), en las

cuales se afirma que entre el 33 % y 43 % de los accidentes se presentan debido a factores humanos relacionados con procesos de selección, entrenamiento de operadores, errores en el trabajo en equipo, factores neurocognitivos y de destreza del piloto.

El desarrollo de competencias en los operadores de ART es una preocupación para la Fuerza Aérea Colombiana, a raíz del incremento en las misiones con disponibilidad de esta tecnología, pero también con el aumento de eventos no deseados causados por fallas humanas, asociadas a errores en la toma de decisiones y en la realización de procedimientos erróneos (Inspección General Fuerza Aérea Colombiana, 2016). En este contexto, se interroga si los eventos no deseados podrían estar relacionados con la ausencia de un entrenamiento cognitivo diferente a la instrucción de operación, que intervenga específicamente en las habilidades y competencias requeridas por los operadores ART, para incidir favorablemente en la seguridad operacional.

Para mitigar el riesgo de accidentalidad en ART se plantean intervenciones específicas, como la investigación sobre habilidades neurocognitivas con técnicas de entrenamiento de psicoestimulación con estímulos, en favor de la neuroplasticidad y la activación de las capacidades intelectuales, emocionales y de interacción. En el contexto educativo, se han propuesto estrategias para el desarrollo de habilidades cognitivas y tecnológicas con un proyecto de aprendizaje móvil (Vargas et al., 2013), y el uso de videojuegos que podrían fomentar la plasticidad y el aprendizaje del cerebro, mantener las habilidades cognitivas, aumentar el desempeño, aprender a desarrollar nuevas tareas, mejorar la memoria de corto plazo, la cognición espacial, la capacidad multitareas, y algunos aspectos de la función ejecutiva (Colder Carras et al., 2018).

El uso frecuente de estas herramientas ha mostrado mejoras en algunos aspectos de la cognición y ciertas facultades mentales como la atención, el procesamiento rápido de la información, la flexibilidad para cambiar de una tarea a otra y la rotación mental de un objeto (Bavelier & Green, 2016). Por lo anterior, el desarrollo de herramientas acorde a la operación de ART podría tener potencial en el entrenamiento para el personal de operadores.

Habilidades neurocognitivas y operación de ART

Pocos antecedentes se encuentran en la literatura sobre las habilidades neurocognitivas requeridas para ser operador de ART, varios de los estudios son el resultado de la preocupación de diferentes fuerzas militares para identificar estas características y aplicarlas en un proceso de selección de los operadores; de igual manera, estos estudios han sido realizados con la aplicación de baterías orientadas a la selección de personal, mas no en orden inverso desde las habilidades durante la operación de la aeronave para realizar una selección de personal.

Para esta identificación de habilidades, es fundamental tener en cuenta la interfaz de operación de las aeronaves y su alto nivel de automatización, lo que permite su operación de manera remota. Así las cosas, la selección se hace teniendo en cuenta principalmente los dominios cognitivo y psicomotor, con componentes de memoria a corto plazo, tiempos de reacción, manejo de multitareas, priorización y secuenciación (Kay et al., 1999).

Basados en la participación del factor humano en la accidentalidad de ART desde el punto de vista de las habilidades cognitivas y la multitarea propia de su operación, la presente investigación busca identificar las áreas cerebrales con mayor actividad cognitiva y las funciones ejecutivas presentes en misiones de operadores de Aeronaves Remotamente Tripuladas Scan Eagle, en escenarios simulados de confort y emergencia. Lo anterior, con el fin de proponer estrategias de entrenamiento para disminuir la accidentalidad operacional.

Este proyecto hace parte del macro proyecto FAC-colciencias: *Respuestas fisiológicas y funcionamiento neuropsicológico en toma de decisiones de operadores de Aeronaves Remotamente Tripuladas Scan Eagle de la Fuerza Aérea Colombiana*, convocatoria: 995-2017, el cual presenta una propuesta innovadora para optimizar el entrenamiento de los operadores que manipulan estas aeronaves. Entre sus objetivos, se encuentra el determinar si la toma de decisiones

en los operadores de ART se presenta en un nivel superior de procesamiento racional, influenciado por conocimientos previos del operador o en un nivel anterior con características pre-rationales.

Metodología

Participantes

Se realizó un estudio no experimental de corte transversal, con una muestra inicial de 22 operadores militares de Scan Eagle sin enfermedad neurológica y con aptitud psicofísica para la operación de ART. Su selección se realizó por medio de un muestreo probabilístico por conveniencia, cuyos criterios de inclusión fueron pertenecer a la Fuerza Aérea Colombiana y haber completado la simulación de vuelo sin interferencia o ayuda del instructor durante la simulación. Los registros de 5 participantes fueron excluidos por no cumplir todos los requisitos en la simulación. Por último, se incluyeron en la investigación los datos de 17 operadores de ART con edad promedio de $28 \pm 2,7$ años, todos de sexo masculino.

Instrumentos

Registros electroencefalográficos. Se realizó registro electroencefalográfico durante toda la simulación mediante el equipo B-ALERT x10 (Advance Brain Monitoring compatible con Biopac). El equipo contaba con calibración de fábrica y con grabación de variables preconfiguradas. La electroencefalografía es aceptada como una de las mejores herramientas para capturar la función cerebral en el contexto en que los procesos cerebrales ocurren (Michel & Brunet, 2019).

Funcionamiento neuropsicológico. Se administró la Batería Funciones Ejecutivas BANFE-2 (Flores et al., 2008). La BANFE-2 evalúa diferentes procesos cognitivos originados principalmente en la corteza prefrontal, como las funciones ejecutivas, y permite identificar el tipo de pensamiento que predomina en el individuo. Esta batería incluye 15 pruebas con validez

convergente y clínica, con una confiabilidad del 80 % y alta validez de constructo. Adicionalmente, proporciona un índice general de desempeño en tres áreas prefrontales: orbitomedial, dorsolateral y prefrontal anterior, y funciones específicas, a partir de puntuaciones normalizadas de las pruebas (1 a 10).

Procedimiento

El estudio contó con el aval del comité de ética de la Escuela de Postgrados Fuerza Aérea Colombiana (EPFAC) mediante el acta n.º 001 del 2017. Todos los sujetos participaron voluntariamente y firmaron un consentimiento informado. A los participantes se les avisó la posibilidad de desistir en cualquier momento de su participación y que los datos serían codificados mediante códigos numéricos para evitar su identificación y mantener así su carácter confidencial.

En primera instancia, se realizó la identificación de los escenarios de confort y riesgo en la operación de ART, con instructores de la Escuela Básica de ART (EBART) de la Fuerza Aérea Colombiana. Los escenarios identificados fueron utilizados y estandarizados por los instructores para la configuración del simulador Scan Eagle presente en la EBART. Se inició con la identificación de los escenarios más comunes utilizados en instrucción, luego se seleccionaron cinco, de los cuales dos representan escenarios tranquilos o de confort y tres representan escenarios de emergencia en los cuales la toma de decisiones es vital para el éxito de la misión. En la tabla 1, se enumeran los escenarios escogidos y su posterior categorización para el análisis en escenario de confort y de emergencia.

Tabla 1
Escenarios de la simulación y categorías para el análisis

Código	Escenario	Categoría
1	System check and take off	Confort
2	Chequeo de comunicaciones	Emergencia
3	Falla de generador	Emergencia
4	Skyhook	Emergencia
5	Aterrizaje y fin de simulación	Confort

Fuente: elaboración propia.

La invitación a los operadores de ART para participar en la investigación se realizó una vez completaron el chequeo final del control anual. El participante ingresó a la investigación posterior a la firma del consentimiento informado, momento en el cual se le dio identificación con código alfanumérico. Después, se diligenció un cuestionario de información sociodemográfica de los participantes, incluyendo el equipo de ART que operaba: horas totales de operación en ART, operación previa de aeronaves tripuladas, horas de vuelo en aeronaves tripuladas y formación académica previa.

Al final, los participantes fueron expuestos a la simulación con los escenarios de confort y riesgo, y se les aplicó la prueba neuropsicológica BANFE-2 por parte de un neuropsicólogo.

Durante toda la simulación se realizó registro electroencefalográfico mediante el equipo B-ALERT X10 (Research Advance Monitoring). Los datos quedaron automáticamente grabados en tiempo real en el *software* Aqknowledge (receptor del sistema BIONOMADIX), y el inicio y final de cada escenario fue marcado en el *software* de recepción. Más adelante, los registros fueron exportados a formato MATLAB para obtener las imágenes por tipo de onda cerebral en EEGLAB V4.3, desarrollado por el Swartz Center for Computational Neuroscience en MATLAB R2018b, para identificar los sectores con mayor actividad beta durante las simulaciones.

Posterior a la determinación de habilidades, se hizo una búsqueda de ejercicios y recomendaciones prácticas que estuvieran acorde a cada una de ellas, buscando las que más se ajustaran a las necesidades del participante.

Análisis de datos

Se llevó a cabo un análisis descriptivo de los resultados obtenidos en relación con las áreas cerebrales en las que se presentó la mayor actividad beta, a través de medidas de tendencia central. Los datos fueron agrupados por formación académica previa:

- Grupo 1: experiencia en vuelo. Contempla a los operadores con experiencia previa en vuelo de cualquier equipo de la Fuerza Aérea Colombiana.

- Grupo 2: ingenieros. Aquellos con pregrado en Ingeniería de Sistemas o Electrónica.
- Grupo 3: otros, con carreras diferentes a las mencionadas.

Para el análisis de las variables derivadas de las pruebas BANFE-2, se realizó un análisis intergrupar no paramétrico con la prueba Kruskal-Wallis. Así mismo, se implementó un análisis no paramétrico en términos de variables fisiológicas evaluadas, este se hizo teniendo en cuenta la formación académica previa y si existía o no un escenario de emergencia. El análisis se ejecutó mediante el estadístico Kruskal-Wallis y la U de Mann-Whitney como post hoc para identificar diferencias significativas entre pares de grupos ($p < 0.05$, IC 95 %).

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos, se efectuó una revisión de ejercicios prácticos con amplia fundamentación teórica, buscando su aplicación al personal requerido teniendo en cuenta su campo operacional.

Resultados

El análisis de los datos se realizó en función de la formación académica previa de los participantes.

Actividad cerebral

Para ejecutar el análisis cuantitativo de los datos obtenidos, se realizó una asignación numérica a cada uno de los principales colores del espectro obtenidos en EEGLAB en la frecuencia beta (22Hz), debido a que son las ondas de mayor actividad y representación de un alto proceso cognitivo que genera una variable categórica ordinal, para registrar el resultado por electrodo, véase figura 1 y tabla 2. Los resultados de la actividad cerebral de los operadores participantes se presentan en la tabla 3.

Al analizar las zonas de activación cerebral en onda beta, se observó que en el grupo 1 con experiencia previa en vuelo en los escenarios de confort y riesgo y en el grupo 2, de ingenieros, se presentó mayor actividad beta a nivel parietal izquierdo en los escenarios de emergencia 3 y 4, y a nivel frontal izquierdo en el escenario 4, mientras el grupo 3 de otras carreras, obtuvo activación a nivel frontal izquierdo.

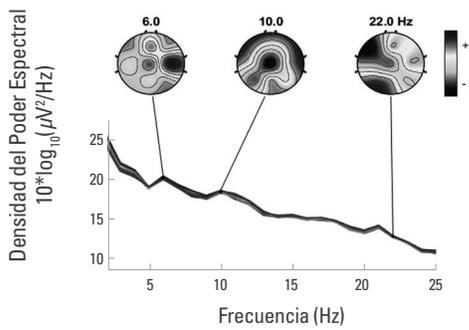


Figura 1. Ejemplo de resultados de poder espectral obtenidos en EEGLAB
Fuente: elaboración propia.

Tabla 2
Asignación numérica por cada uno de los colores derivados del análisis de poder espectral en EEGLAB

Color espectro	Código	Nivel de actividad
Rojo	1	Máxima
Naranja	2	Alta
Amarillo	3	Alta intermedia
Azul claro	4	Intermedia
Aguamarina	5	Intermedia baja
Azul medio	6	Baja
Azul oscuro	7	Muy baja

Fuente: elaboración propia.

Funcionamiento neuropsicológico

En la tabla 4 se presentan los resultados obtenidos por los participantes en la prueba BANFE-2. En estos no se obtuvieron diferencias significativas en el rendimiento entre los grupos; sin embargo, se observa mayor desempeño en el área prefrontal anterior en el grupo 1 con experiencia en vuelo, en el área dorsolateral en el grupo 2 de ingenieros y en el área dorsolateral en el grupo 3.

Tabla 4
Resultados batería de funciones ejecutivas (BANFE-2)

Rol previo	Orbitomedial	Prefrontal anterior	Dorsolateral
Experiencia en vuelo	94,71 ± 20,7	102,14 ± 9,42	95,29 ± 11,91
Ingenieros	82,14 ± 22,9	92,43 ± 14,02	96,57 ± 12,27
Otros	104 ± 12	92 ± 8,185	104,67 ± 10,21

* Diferencia estadísticamente significativa $p \leq 0,05$.

Fuente: elaboración propia.

Tabla 3
Actividad cerebral consolidada para onda beta (22Hz), por escenario en cada grupo

		Zonas de activación cerebral en ondas beta (22Hz)																										
Rol	n	Esc	F3		F2		F4		C3		CZ		C4		P3		PZ		P4									
			Nivel	%																								
1	7	1	7	42,9	4	42,9	4	28,6	4	5	28,6	4	42,9	3	57,1	1	3	42,9	3	28,6	3	42,9						
		2	6	42,9	7	57,1	6	42,9	4	43,9	4	42,9	5	42,9	1	42,9	4	5	28,6	3	4	28,6						
		3	1	6	7	28,6	4	42,9	5	42,9	5	28,6	3	5	28,6	4	57,1	1	57,1	2	3	4	28,6					
		4	6	42,9	7	42,9	5	6	7	28,6	5	28,6	2	3	28,6	3	42,9	1	57,1	4	4	42,9	4	57,1				
		5	1	28,6	4	42,9	4	42,9	3	5	28,6	4	57,1	3	42,9	1	42,9	3	4	28,6	2	42,9	2	42,9				
		Total	6	28,6	7	34,3	5	28,6	5	25,7	4	28,6	3	37,1	1	28,6	4	28,6	3	31,4								
2	7	1	7	42,9	7	57,1	7	57,1	3	42,9	3	42,9	4	42,9	1	2	28,6	4	57,1	3	5	28,6						
		2	7	42,9	5	57,1	7	42,9	3	42,9	3	42,9	4	42,9	5	42,9	3	42,9	4	42,9	4	42,9						
		3	3	42,9	3	5	7	28,6	4	5	7	28,6	4	42,9	5	42,9	3	4	5	28,6	1	4	28,6					
		4	1	28,6	4	28,6	5	28,6	1	3	28,6	4	57,1	3	4	5	28,6	1	4	42,9	2	42,9	4	7	28,6			
		5	7	28,6	3	6	28,6	4	6	7	28,6	3	57,1	4	5	42,9	3	4	28,6	3	42,9	4	7	28,6				
		Total	3	17,1	7	28,6	7	37,1	3	40	5	34,3	4	34,3	1	31,4	4	34,3	4	34,3	4	28,6						
3	3	1	1	3	7	33,3	3	66,7	3	4	5	33,3	3	66,7	5	100	3	66,7	1	2	4	66,7	1	3	4	33,3		
		2	1	2	5	33,3	3	66,7	5	66,7	3	66,7	3	4	5	33,3	1	4	5	33,3	1	3	5	33,3	3	4	5	33,3
		3	1	100	1	3	4	33,3	1	4	5	33,3	2	66,7	5	66,7	2	3	5	33,3	4	66,7	3	666,7	1	2	4	33,3
		4	1	3	6	33	6	66,7	4	6	7	33,3	3	66,7	4	66,7	2	5	7	33,3	6	66,7	2	3	7	33,3		
		5	1	66,7	4	66,7	6	66,7	1	3	4	33,3	4	33,3	4	66,7	2	3	6	33,3	2	4	6	33,3	3	66,7		
		Total	1	53,3	3	40	4	5	6	26,7	3	46,7	5	46,7	5	33,3	1	26,7	1	3	26,7	3	40					

* Resultados presentados en porcentajes.

Fuente: elaboración propia.

Discusión

El propósito del presente estudio ha sido identificar las áreas cerebrales más destacadas y las funciones ejecutivas presentes durante la operación de escenarios de confort y emergencia en operadores de ART, con el fin de determinar herramientas que permitan complementar el entrenamiento de los operadores y contribuir a la reducción de eventos de seguridad durante la operación de ART.

En relación con la monitoría cerebral, los resultados muestran que las seis áreas más utilizadas en la operación de Aeronaves Remotamente Tripuladas son la encargada de la habilidad numérica, la que se activa durante maniobras que requieren el uso de la mano contraria a la dominante, la que hace presencia durante la utilización de la imaginación, la que se ocupa del lenguaje hablado, la encargada del razonamiento y, por último, la de percepción tridimensional.

Los datos consolidados de actividad en áreas cerebrales con ondas beta (22Hz) se presentan en la tabla 5, en ella se hace una comparación de las habilidades por actividad del área cerebral y su discriminación por grupos. Al analizar las áreas de mayor nivel de actividad para los tres grupos, se encontró el área del electrodo P3 en nivel 1, el cual refleja la habilidad numérica.

Basado en las zonas de representación cerebral de habilidades (Flores & Otrosky, 2012), se realiza un análisis comparativo observacional en los tres grupos, identificando que en el personal de operadores con experiencia previa en vuelo las áreas de mayor activación se encontraron en los puntos P3, C3 y F3 que corresponden a las habilidades de razonamiento, habilidad numérica y lenguaje hablado; mientras que en los grupos de ingenieros las áreas fueron F3, POZ y P3 con las habilidades de razonamiento, control de mano y habilidad numérica; y para el grupo de otros, las áreas de mayor actividad fueron P3, C4 y P4, correspondientes

Tabla 5
Promedio de puntajes generales operadores de ART y habilidades correspondientes

Descripción zonas	Otros		Experiencia en vuelo		Ingeniero	
F3: razonamiento Fz: retentiva F4: intuición C3: lenguaje hablado Cz: conocimientos previos C4: imaginación P3: habilidad numérica Pz: control de mano P4: percepción tridimensional	Ranking de zonas					
	Zona	Nivel	Zona	Nivel	Zona	Nivel
	Cz	4	F3	3	F3	1
	C4	3	C3	3	C3	3
	P3	1	C4	4	P3	1
	Pz	4	P3	1	Pz	1
P4	3	pZ	4	P4	3	

Fuente: elaboración propia.

a las habilidades de razonamiento, imaginación y percepción tridimensional. Estas habilidades son similares a las encontradas por Barnes et al. (2000), las cuales incluyen comunicación, procesos conceptuales, razonamiento, tiempos de reacción, procesos visuales, habilidades psicomotoras y motricidad gruesa mediante la utilización del sistema de evaluación de profesiones, Job Assessment Software System (JASS), y el Enhanced Computer-Aided Testing (ECAT), aplicado a 30 operadores de ART del Ejército de los Estados Unidos de Norteamérica.

En este contexto, se observa que el personal de operadores con experiencia previa en vuelo presenta menos áreas con mayor activación en comparación con los otros grupos, esto debido a que, por su experiencia en vuelo, tienen una apropiación de las habilidades derivadas de su exposición a vuelo tripulado.

Las habilidades de razonamiento o habilidades cognitivas superiores presentaron gran actividad en los grupos 2 y 3, debido a que se requiere realizar un proceso mental más elaborado para transformar la información derivada de las coordenadas y demás componentes de la operación remota de los ART, ya que al no tener experiencia en vuelo tripulado deben realizar el proceso mental sin tener referencia previa visual sobre terrenos y otras características físicas.

En términos de la habilidad de lenguaje hablado, es más exigente en los grupos 2 y 3 debido a que, al no tener experiencia previa en vuelo, no han estado expuestos a las densas comunicaciones con tránsito aéreo que son requeridas para el vuelo tripulado. Cabe anotar que la diferencia también radica en que el personal con experiencia previa en vuelo fue expuesto a este tipo de habilidad en momentos tempranos de su formación previa a comparación de los otros grupos, por lo que tienen consolidada esta habilidad. Como evidencia se tiene que en el personal con experiencia previa, esta zona, se encuentra con una actividad intermedia baja con nivel 5 en 22 Hz.

Al comparar los resultados de los monitoreos cerebrales con los de BANFE-2, se aprecia una correspondencia entre los resultados obtenidos. Por tanto, se observa que el grupo de experiencia en vuelo presentó el mayor puntaje en el área prefrontal, mientras

que el grupo de ingenieros y otros lo presentaron en el área dorso lateral. Esto implica que el personal con experiencia previa en vuelo muestra una baja carga cognitiva por procesos automatizados, derivados de la experiencia previa en vuelo, lo que genera un pensamiento rápido e intuitivo, caso contrario con el grupo de ingenieros y otros, quienes presentan una carga cognitiva más alta constituida por procesos más analíticos y razonamiento abstracto del entorno, lo que permite identificar una toma de decisiones reflexivas que generan un pensamiento más lento durante su actividad.

De los resultados conseguidos, se observa que el grupo de ingenieros es el que requiere más refuerzo en las habilidades identificadas para la operación del equipo Scan Eagle, pues son el grupo que mayor actividad cerebral presenta en diversas zonas del cerebro, en contraposición al grupo con experiencia en vuelo que tiene menor actividad, lo que indicaría que durante la operación del equipo su accionar requiere menor esfuerzo, pues sus habilidades están más desarrolladas. Este comportamiento se puede basar en la sensibilidad previa al vuelo que adquieren aquellos que tienen experiencia y pueden integrar la información real del vuelo con la información presentada en los equipos de operación remota del Scan Eagle, a través del proceso de recuerdos y vivencias.

Así mismo, se aprecia que las zonas de habilidad numérica (P3), control de mano (POz) e imaginación (C4), son comunes en todos los grupos. Así mismo, este hallazgo permite evidenciar el proceso de la operación remota del Scan Eagle, en el que gran parte de la información se entrega a través de formatos numéricos como coordenadas y nivel de vuelo, lo que genera que se realice un proceso de transformación de la información en un proceso más complejo de pensamiento, esto anclado al control de mano derivado del uso del *joystick* para el control de la aeronave, y a la imaginación, que permiten una integración sensorimotora guiada por procesos cognitivos. Resultados similares a los encontrados en estudios previos en operadores de ART del Ejército de los Estados Unidos (Barnes et al., 2000).

Para el entrenamiento de estas habilidades de forma integrada, se propone presentar una guía con

la presentación de diferentes escenarios operacionales en la instrucción propia del equipo con el uso del simulador de vuelo, los cuales deben ser personalizados según el perfil previo del operador y su tiempo de ejecución en el equipo. Para este fin, los resultados de la investigación permitieron establecer diferencias entre los operadores, según su experiencia previa, que orientan la instrucción.

Sin embargo, cada habilidad puede ser entrenada de forma separada, en este caso las de razonamiento numérico, imaginación, control de mano, retentiva y percepción tridimensional, pueden ser reforzadas a través de ejercicios. Dichas actividades, pueden ser realizadas de forma remota en momentos diferentes a las simulaciones, también pueden ser cambiadas en diferentes situaciones, lo que permitiría desarrollar mejores habilidades para la integración final en el ámbito operativo directo del Scan Eagle.

Este tipo de entrenamientos se utiliza principalmente en el campo clínico en pacientes en los que se requiere rehabilitación cognitiva por diferentes trastornos de este tipo. No obstante, para fines de este estudio las herramientas y ejercicios se pueden utilizar para potencializar en menor tiempo funciones ejecutivas que permitan el desarrollo de un pensamiento más automático y rápido para la operación, e incluyen la orientación, la memoria de fijación y la atención como se sugiere en el trabajo de Retureta et al. (2012), en el cual se observó mejoría con el uso de estos entrenamientos en personas con deterioro cognitivo.

Otra forma de entrenamiento se encuentra inmersa en el uso de recursos digitales para apoyo a niveles de pensamiento medio y superior (Vargas et al., 2013). Entre estos se encuentran los dispositivos móviles que permiten una experiencia atractiva y actual para los estudiantes, como es el caso los operadores de ART. En este marco, podría plantearse a futuro el desarrollo de una *app*, derivada de los resultados obtenidos, que incluya los ejercicios de forma personalizada para la población de operadores, con el beneficio de acceso instantáneo en cualquier momento y lugar, para de esta forma mantener un estímulo intermitente y autónomo de las habilidades necesarias para la operación real.

Un recurso digital adicional de probable utilidad para los operadores es el uso de videojuegos, en especial aquellos de acción con componentes de estrategia, que han mostrado evidencia de rehabilitación cognitiva en pacientes con lesiones traumáticas cerebrales (Vakili & Langdon, 2016). De igual manera, permiten fortalecer los procesos mentales superiores por medio de la recompensa, lo que influye positivamente sobre el estado de ánimo (Moreno & Lopera, 2010), asociados a la integración sensoromotora y el ambiente de percepción tridimensional que generan y los convierten en una opción para tener en cuenta como complemento en el entrenamiento de los operadores (Bavelier & Green, 2012).

Los videojuegos de acción que incorporan disparos y ritmos vertiginosos han demostrado que pueden mejorar la atención, el rápido procesamiento de la información, así como una mayor flexibilidad para cambiar de una tarea a otra y optimizar la rotación mental de objetos (Bavelier & Green, 2016). Este tipo de herramientas permitirían el refuerzo de las habilidades identificadas en este proyecto. Así mismo, y basado en las diferencias encontradas con la prueba BANFE-2, para conseguir un pensamiento más rápido e intuitivo, la exposición a videojuegos permite explotar de forma más eficiente la información del entorno para realizar tareas de forma eficaz, permitiendo la supresión de fuentes de información irrelevante y con distractores potenciales. Además, refuerza las habilidades durante escenarios que requieran talentos multitarea (Bavelier et al., 2012).

En los antecedentes del uso de videojuegos como complemento al entrenamiento de personal de ART, se encuentra el desarrollo de un videojuego por parte de la Fuerza Aérea de Israel en 1994, hecho por Gopher, Weil y Bareket. El videojuego se desarrolla en un ambiente aeronáutico de combate y enfatiza habilidades conceptuales de alto nivel requeridas en la planeación de vuelo. A su vez, incluye el estímulo de habilidades psicomotoras y de combate, necesarias durante el entrenamiento (Barnes et al., 2000).

Para finalizar, la incorporación de estas novedosas propuestas al entrenamiento ya existente, permitirá el fortalecimiento conjunto del proceso cognitivo complejo para entregar operadores de ART más atentos

a sus procesos de aprendizaje más allá de los controles anuales, y contribuirá con el desarrollo de capacidades de aprendizaje complementario de forma autónoma. Del mismo modo, la adquisición de habilidades de tipo automático se puede conseguir a través de la presentación de estímulos que permitan la potencialización de capacidades intelectuales, emocionales y físicas de forma integral, lo que en conjunto permitirá la reducción de eventos de seguridad aérea y la mitigación del riesgo por factor de error humano.

Descripción de la herramienta

Como resultado del análisis de las pruebas BANFE-2, monitoreo cerebral, y posterior a la identificación de habilidades con apoyo de la literatura, se diseñó una herramienta de entrenamiento en forma de cartilla, la cual corresponde a un compilado de ejercicios encontrados en la literatura compuesta por 5 capítulos, estructurados por tipo de habilidad a desarrollar (Habilidad numérica, control de mano no dominante, imaginación, lenguaje hablado y percepción tridimensional); adicionalmente en todos los capítulos se incluyen ejercicios de razonamiento, lo cual hace parte de las habilidades más activas durante las pruebas realizadas.

Esta herramienta puede ser utilizada de forma individual, en cualquier momento, con el fin de mantener la pro-eficiencia en las diferentes actividades.

Conclusiones

Del presente estudio es posible concluir que las principales habilidades necesarias en un operador de Aeronaves Remotamente Tripuladas son el razonamiento y habilidad numérica, lenguaje hablado, imaginación, percepción tridimensional, control de mano y conocimientos previos. Teniendo en cuenta la actividad de la onda beta, se observa cómo el personal de operadores con experiencia previa en vuelo presenta una carga cognitiva menor frente aquellos que no la tienen.

Estos hallazgos se complementan con los resultados de la BANFE-2, en la cual el grupo con experiencia en vuelo presenta un pensamiento más automático e intuitivo, mientras que los otros dos grupos son reflexivos, lo que en el campo operacional se traduce en una toma de decisiones más rápida y efectiva.

A su vez, se identificó que la experiencia previa en vuelo es uno de los factores que permite mayor adquisición de habilidades para la operación de ART, y hace posible la adquisición progresiva de un pensamiento más automático. La automatización de varias de estas habilidades permite la reducción de la carga cognitiva beta que se registra en el grupo de operadores con experiencia en vuelo, frente a la alta carga en un mayor número de áreas cerebrales de los otros dos grupos.

Derivado de las habilidades encontradas y el tipo de pensamiento que se desea observar en todos los operadores de ART del presente estudio, se propone llevar una herramienta a dispositivo móvil que contenga ejercicios de razonamiento numérico, imaginación, control de mano, retentiva y percepción tridimensional, los cuales permitirán su realización fuera de la utilización del simulador de vuelo, en cualquier momento y lugar.

De igual manera, se recomienda esta herramienta complementaria al simulador de ART para desarrollar un pensamiento automático e intuitivo en los operadores que no poseen una experiencia previa en vuelo tripulado, así como la utilización de videojuegos de estrategia y combate que no solo permiten el aumento de estas habilidades sino también su mantenimiento fuera de los momentos de entrenamiento en simuladores de vuelo. También este personal puede ser expuesto a simuladores de vuelo tripulado e inclusive a vuelos tripulados reales para crear una mayor sensibilidad al ambiente que finalmente se traduce en un pensamiento automático y de intuición que lleva a una menor carga cognitiva durante la operación de ART.

Limitaciones y recomendaciones

Una de las limitaciones encontradas fue el tamaño de la muestra, por lo que se sugiere que para futuras investigaciones se involucre a un mayor número de

participantes por grupos, con el fin de validar los resultados obtenidos. Se proyecta realizar una segunda fase de ejecución, en la cual se aplique la herramienta, se transfiera a un medio digital mediante una *app* y se estudie el antes y el después de la aplicación para determinar su utilización periódica en los operadores de ART.

Referencias bibliográficas

- Barnes, M. J., Knapp, B. G., Tillman, B. W., Walters, B. A., & Vellicki, D. (2000). *Crew Systems Analysis of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Future Job and Tasking Environments*. United States Army, Army Research Laboratory. https://www.researchgate.net/publication/235049816_Crew_Systems_Analysis_of_Unmanned_Aerial_Vehicle_UAV_Future_Job_and_Tasking_Environments
- Bavelier, D., Green, C., Pouget, A., & Schrater, P. (2012). Brain Plasticity through the Life Span: Learning to Learn and Action Video Games. *Annual Review of Neuroscience*, 35, 391-416. <https://doi.org/10.1146/annurev-neuro-060909-152832>
- Bavelier, D., & Green, C. (2016). Videos que potencian el cerebro. *Investigación y Ciencia*, 480(2), 18-24. <https://www.investigacionyciencia.es/revistas/investigacion-y-ciencia/efectos-cerebrales-de-los-videojuegos-679/videojuegos-que-potencian-el-cerebro-14460>
- Colder Carras, M., Van Rooji, A., Spruijt-Metz, D., Kvedar, J., Griffiths, M. D., Carabas, Y., & Labrique, A. (2018). Commercial Video Games as Therapy: A New Research Agenda to Unlock the Potential of a Global Pastime. *Frontiers in Psychiatry*, 8, 300. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2017.00300>
- Flores, J., & Otrrosky-Solís, F. (2012). *Desarrollo neuropsicológico de lóbulos frontales y funciones ejecutivas*. Manual Moderno.
- Flores, J., Otrrosky-Solis, F., & Lozano, G. (2008). Batería neuropsicológica de funciones ejecutivas y lóbulos frontales: presentación. *Revista Neuropsicología, Neuropsiquiatría y Neurociencias*, 8(1), 141-158.
- Green, C. S., & Bavelier, D. (2012). Learning, Attentional Control, and Action Video Games. *Current biology. Current biology*, 22(6), R197-R206. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2012.02.012>
- Inspección General Fuerza Aérea Colombiana. (2016). *Investigaciones Aeronaves Remotamente Tripuladas*. Fuerza Aérea Colombiana.
- Kay, G., Dolgin, D., Wasel, B., Langelier, M., & Hoffman, C. (1999). *Identification of the Cognitive, Psychomotor and Psychosocial Skill Demands of Uninhabited Combat Aerial Vehicle (UCAV) Operators*. Naval Air Systems Command. <https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a368578.pdf>
- López, N. (2014). Análisis y clasificación de factores humanos en eventos no deseados de seguridad operacional. (*EVENTOS*) de aeronaves remotamente tripuladas (ART) de la Fuerza Aérea Colombiana en el 2012, 5.
- Michel, C., & Brunet, D. (2019). EEG Source Imaging: A practical Review of the Analysis Steps. *Frontiers in Neurology*, 10(325). <https://doi.org/10.3389/fneur.2019.00325>
- Moreno, C., & Lopera, F. (2010). Efectos de un entrenamiento cognitivo sobre el estado de ánimo. *Revista Chilena de Neuropsicología*, 5(2), 146-152.
- Motoa, F. (2017, 3 de mayo). Jóvenes empresarios les apuestan a los drones. *El Tiempo*. <https://www.eltiempo.com/bogota/santiago-espitia-y-felipe-castillo-empresarios-que-incursionan-en-el-negocio-de-los-drones-84286>
- Murray, C., & Park, W. (2013). Incorporating Human Factor Considerations in Unmanned Aerial Vehicle Roting. *IEEE Transactions on systems, Man and Cybernetics: Systems*, 43(4), 860-870. <https://doi.org/10.1109/TSMCA.2012.2216871>
- Organización de Aviación Civil Internacional OACI. (2012). *Manual sobre sistemas de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS)*. <https://www.icao.int/SAM/Documents/DSOSYMP12/Aeronaves%20pilotadas%20a%20distancia%20RPA%20MUL.pdf#search=sobre%20sistemas%20de%20aeronaves%20pilotadas%20a%20distancia>
- Retureta, B., Rodríguez, B., López, Y., & Travieso, M. (2012). Terapia de rehabilitación con entrenador mental en el adulto mayor con deterioro cognitivo. *Medimay*, 18(2), 3-11. <http://revcmhabana.sld.cu/index.php/rcmh/article/view/543>.
- Shappell, S., & Wiegmann, D. (2000). *The Human Factors Analysis and Classification System—HFACS*. U.S. Department of Transportation Federal Administration Aviation.
- Thompson, W., Tvaryanas, A., & Constable, S. (2005). *U.S. Military Unmanned Aerial Vehicle Mishaps: Assessment of the Role of Human Factors Using Human Factor Analysis and Classification System (HFACS)*. United States Air Force.
- Vargas, L., Gómez, M., & Gómez, R. (2013). Desarrollo de habilidades cognitivas y tecnológicas con aprendizaje móvil. *Revista de Investigación Educativa del Tecnológico de Monterrey*, 3(6), 30-39 <https://www.rieege.mx/index.php/rieege/article/view/76/40>

- Vakili, A., & Langdon, R. (2016). Cognitive Rehabilitation of Attention Deficits in Traumatic Brain Injury Using Action Video Games: A Controlled Trial. *Cogent Psychology*. <https://doi.org/10.1080/23311908.2016.1143732>
- Weigmann, D., & Shappell, S. (2001). *A Human Error Analysis of Comercial Aviation Accidents Using the Human Factors Analysis and Classification System (HFACS)*. U.S. Department of Transportation Federal Administration Aviation.
- Whitlock, C. (2014, 20 de junio). Part One: When the Drones Fall from the Sky. *The Washington Post*. https://www.washingtonpost.com/sf/investigative/2014/06/20/when-drones-fall-from-the-sky/?tid=sm_fb&utm_term=.ee7b2cc02cd0
- Williams, K. (2004). *A summary of Unmanned Aircraft Accident/ Incident Data: Human Factors Implications*. U.S. Department of Transportation Federal Administration Aviation.
- Williams, K. (2006). *Human Factors: Implications of Unmanned Aircraft Accidents: Flight-Control Problems*. Department of Transportation Federal Administration Aviation.
- Zhang, W., Feltner, D., J, Shirley, J., Swangnetr, M., & Kaber, D. (2016). Unmanned Aerial Vehicle Control Interface Design and Cognitive Workload: A Constrained Review and Research Framework. *2016 IEEE International Conferences on Systems, Man and Cybernetics (SMC)*. <https://doi.org/10.1109/smc.2016.7844502>

El derecho operacional y la cultura de paz en la institución castrense*

| Fecha de recibido: 24 de febrero del 2020 | Fecha de aprobación: 29 de abril del 2020 |

Luis Antonio Martín Moreno

Magíster en Estrategia y Geopolítica

Docente-investigador, Escuela Superior de Guerra

Grupo de investigación: Memoria histórica, construcción de paz, derechos humanos, DICA y justicia

Rol de investigador: intelectual, comunicativo

<https://orcid.org/0000-0002-0415-5638>

✉ luis.martin@esdegue.edu.co

* Artículo de reflexión asociado al grupo de investigación de la Maestría en Derechos Humanos y Derecho Internacional de los Conflictos Armados de la Escuela Superior de Guerra. Derivado del proyecto *Esclarecimiento de la verdad histórica sobre la violencia cultural en Colombia, provocada al medio ambiente y a las víctimas en el conflicto: Aporte de las Fuerzas Militares en la reconstrucción del tejido social*. Financiado por ESDEGUE.

Cómo citar este artículo: Martín Moreno, L. A. (2020). El derecho operacional y la cultura de paz en la institución castrense. *Revista Ciencia y Poder Aéreo*, 15(1), 53-70. <https://doi.org/10.18667/cienciaypoderaereo.649>



El derecho operacional y la cultura de paz en la institución castrense

Resumen: En Colombia, las estrictas razones humanitarias aliviaron el horror y los excesos de la violencia hasta lograr la vigencia del Derecho Internacional de los Conflictos Armados (DICA), en un ambiente operacional incierto y complejo. El derecho operacional surge como fortaleza y complemento en las misiones desplegadas por las Fuerzas Militares y la transición hacia la cultura de la paz, cumpliendo con las exigencias de los organismos internacionales en articulación con una noción constructivista para coadyuvar a la reducción de la violencia y legitimar cada vez más los métodos pacíficos como salida al conflicto. Sin embargo, las nuevas amenazas, acompañadas de un sinnúmero de factores de inestabilidad, dificultan su entendimiento y entorpecen la aplicación de los procedimientos operacionales junto al accionar de la fuerza pública. En este sentido, se crea la urgencia de educar mucho mejor a la población castrense en cuanto a la aplicación de las normativas jurídicas nacionales e internacionales para tal fin, pues ni siquiera la teoría del *justum bellum* ofrece respuestas claras en la justificación de las nuevas formas de conflicto armado.

Palabras clave: Cultura de la paz; derecho operacional; derecho internacional de los conflictos armados; humanización del conflicto y nuevas amenazas.

Operational Law and the Culture of Peace in a Military Institution

Abstract: In Colombia, strict humanitarian reasons alleviated the horror and excesses of the violence, achieving the validity of the international law of armed conflict in an uncertain and complex operational environment. Operational law emerges as a strength to the missions deployed by the military force, complementing the transition towards a culture of peace and complying with the demands of international organizations, while articulating a constructivist notion to contribute to the reduction of violence and legitimizing peaceful methods as a way to solve conflicts. However, new threats, accompanied by countless instability factors, make it difficult to understand operational laws and make it difficult to apply operational procedures and actions by the defense forces. Therefore, the urgency to educate the military population and broaden their understanding in the application of national and international regulations for this purpose becomes paramount, since even the *justum bellum* theory does not offer clear answers in the justification of these new forms of armed conflict.

Keywords: Culture of Peace; Operational Law; International Humanitarian Law; Humanization of the Conflict and New Threats.

O Direito Operacional e a cultura da paz na instituição militar

Resumo: Na Colômbia, estritas razões humanitárias aliviaram o horror e os excessos da violência até a entrada em vigor do Direito Internacional dos Conflitos Armados (DICA), em um ambiente operacional complexo e incerto. O Direito Operacional surge nas missões realizadas pelas Forças Militares e na transição para uma cultura de paz, atendendo às demandas das organizações internacionais e articulando uma noção construtivista para contribuir à redução da violência e desta forma, legitimar cada vez mais os métodos pacíficos como uma saída do conflito. No entanto, as novas ameaças acompanhadas de vários fatores de instabilidade dificultam sua compreensão prejudicando a aplicação de procedimentos operacionais junto a ação da força pública. Nesse sentido, a urgência de educar melhor a população militar quanto à aplicação das normas legais nacionais e internacionais é criada para esse efeito, pois nem mesmo a teoria do *justum bellum* oferece respostas claras na justificativa das novas formas de conflito armado.

Palavras-chave: Cultura da paz; Direito Operacional; Direito Internacional dos Conflitos Armados; Humanização do conflito e Novas ameaças.

Introducción

La desaprobación frente a las dos grandes guerras mundiales generó la necesidad de humanizar los conflictos armados. Esta humanización comenzó con la transformación del derecho internacional clásico desde 1945 y dio paso a la aplicación de nuevas normativas, tratados internacionales y demás jurisprudencia para promover la paz, la solución pacífica de las controversias y la prohibición de la guerra.

Desde el nacimiento de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), el derecho internacional contemporáneo pasó a ser la herramienta principal en el proceso para tramitar los conflictos hacia la concepción de una cultura de paz, dejando de ser una utopía. En tal sentido, el derecho operacional no es la excepción pues en un campo más amplio recoge todas las regulaciones, principios, tratados y normativas propias de los derechos humanos y del Derecho Internacional Humanitario (DIH) ratificados por Colombia.

En Colombia, el derecho operacional es parte de una política integral del derecho internacional implementada por el Ministerio de Defensa Nacional, de obligatorio conocimiento y cumplimiento en el interior de la institución castrense. En particular, el derecho internacional ha sido incorporado a través del bloque de constitucionalidad al ordenamiento jurídico colombiano, según el artículo 93 de la Constitución Política de Colombia:

[...] Los derechos y deberes consagrados en esta Carta, se interpretarán de conformidad con los tratados internacionales sobre derechos humanos ratificados por Colombia. El Estado colombiano puede reconocer la jurisdicción de la Corte Penal Internacional en los términos previstos en el Estatuto de Roma (1991).

Del mismo modo, el artículo 94 incorpora la condición frente a los derechos innominados al precisar que “la enunciación de los derechos y garantías contenidos en la Constitución y en los convenios internacionales vigentes, no debe entenderse como negación de otros que, siendo inherentes a la persona humana,

no figuren expresamente en ellos” (Constitución Política [CP], 1991). Así mismo, el artículo 214 establece la regulación para la aplicación del DIH a los Estados de excepción, sin dejar atrás el Código Penal que establece las conductas tipificadas respecto a delitos contra el DIH.

Ahora bien, desde esta perspectiva María Isabel Garrido (2011), se pregunta “¿Por qué resulta difícil decir no a la violencia y a la guerra? [...] tanto la paz como la guerra constituyen un fenómeno cultural” (p. 72). Dicho esto, la cultura de la paz no debe ser vista desde un polo opuesto a la cultura de la guerra, más bien son fenómenos que se complementan en la consecución de un escenario equilibrado.

Cabe destacar que, “las FF.MM deben tener el conocimiento suficiente de los derroteros en el mediano y largo plazo de lo que significa el trabajo de recuperación de la responsabilidad operativa y la preparación de convivencia pacífica a futuro [...]” (Velandia 2014, citado por Reyes 2016, p. 77). La puesta en práctica del derecho operacional ayudó a ordenar la conducta de las tropas en la conducción de las hostilidades, y a civilizar en cierta medida el conflicto. La primera década del siglo XXI se convirtió en el laboratorio experimental en el que las Fuerzas Militares aprendieron a pervivir en el conflicto armado, luchando contra la violencia desde el marco de las reglas de la guerra, cuyo instrumento jurídico está soportado por el DIH.

La noción del derecho operacional contiene elementos que fortalecen la cultura de la paz, tal como lo expuso Viviana Reyes: “En el caso específico de las fuerzas terrestres constituye una ruta sobre la cual trabaja los componentes operacionales en comunión con el nuevo cometido de paz” (2016, p. 68). Así las cosas, ante la existencia de un aparato jurídico inherente no solo a la regulación de hostilidades, sino también en aras de forjar en la institución militar el respeto por los demás, se debe incentivar la cultura de la paz.

Hasta en el más alto nivel de la estrategia es apropiado y no infortunado vislumbrar los esfuerzos del país en la búsqueda de soluciones pacíficas a lo largo de la historia. En ese propósito “[...] han existido ocho tentativas de paz, sin sumar los procesos de paz que preceden el inicio de la confrontación armada”

(Martín, 2017, p. 208). Las memorias de las negociaciones de paz en el territorio colombiano se ilustran desde el periodo de Mariano Ospina Pérez en 1946, hasta el 2016 con la administración Santos; coyuntura de actualidad convertida en el ejemplo más próximo en la búsqueda de diálogos y reconciliación.

En efecto, la relevancia de las mesas de negociación en cada época histórica (tabla 1) ha sido una

demostración de esfuerzos por estabilizar al país y gestionar la paz ante la presencia de los altos índices de violencia, cuyos rasgos están totalmente arraigados en la sociedad colombiana de forma naturalizada. No obstante, la violencia es un fenómeno que se puede evitar, pero, para el caso de las sociedades en las que se navega en la cultura violenta, solo podrá ser eliminada tramitándola hacia niveles óptimos de estabilidad.

Tabla 1
Dinámica de las tentativas de paz en Colombia

Gobierno	Periodo	Caracterización del proceso	Estado final
Mariano Ospina Pérez	1946-1950	Gobierno de Unidad Nacional para la pacificación. Procesos que anteceden al conflicto armado para aliviar las masivas manifestaciones de violencia entre liberales y conservadores. Fuerzas legitimadas de tipo policial buscaron apaciguar las diferencias entre los antagónicos actores.	Agudización de la violencia bipartidista, con la muerte de Jorge Eliécer Gaitán y el Bogotazo. La violencia se extiende masivamente a varias regiones del país a departamentos como Cundinamarca, Tolima, Boyacá, Santanderes, Valle Caldas y Antioquia.
Laureano Gómez	1950-1953	Junta militar pacifista. Promovida por la Asamblea Nacional Constituyente, estructurada bajo modelos fascistas europeos, argumentando la resistencia al comunismo.	Rechazo total de liberales y conservadores, por el corte absolutista y autoritario
Gustavo Rojas Pinilla	1953-1956	Fin de la violencia bipartidista y primera tentativa de paz del siglo XX. Se pone fin a un escenario violento entre liberales y conservadores por las garantías políticas ofrecidas, deponiendo las armas de forma rápida y acogiéndose las partes a los pactos de Sitges y San Carlos.	Grupos guerrilleros antisistémicos no acogidos a los procesos se fortalecen sobre la base de ideologías marxistas-leninistas y se reorganizan en la región del Duda y Guayabero.
Alberto Lleras Camargo	1958-1962	El Frente Nacional como pacto de cooperación para la reducción de la violencia. Segunda tentativa de paz en el siglo XX, se distingue por el impulso dado a la educación, a la atención a los derechos del campesino; se promueve la política 'alianza para el progreso', dando impulso a la reforma agraria, creándose al mismo tiempo el INCORA.	Nuevos partidos como el MRL y la ANAPO son bien acogidos entre liberales y conservadores, sin embargo, producen fraccionamientos políticos, diferencias que finalmente originan otras guerrillas como el Movimiento 19 de abril (M-19), y el Ejército de Liberación Nacional (ELN).
Julio César Turbay Ayala	1978-1982	La amnistía de César Turbay. Tercera tentativa de paz del siglo XX. Periodo caracterizado por el esfuerzo del gobierno para acercarse a las FARC, amnistía fracasada por no otorgar garantías para materializar un proceso de paz.	La estrategia represiva contra la protesta social hizo fracasar las iniciativas de pacificación, se suma a esto la renuncia de Lleras Restrepo quien estaba a cargo de la comitiva de acercamiento al grupo insurgente.
Belisario Betancur	1982-1986	Primeras negociaciones con las FARC. Cuarta tentativa de paz del siglo XX, segunda durante el conflicto armado. Se creó la Comisión nacional de paz, que junto a la ley de amnistía da paso al diálogo con los grupos insurgentes.	La Unión Patriótica producto de los diálogos es perseguida por grupos paramilitares, al tiempo un incremento de operaciones militares contra los rebeldes alzados en armas no favoreció el proceso.
Virgilio Barco	1989-1990	Nueva ley de amnistía e indulto para el EPL, M-19 y Quintín Lame. Quinta tentativa de paz en Colombia y tercera en el conflicto interno. M-19, EPL y Quintín Lame son indultados por delitos políticos y conexos facilitando la dejación de armas.	Simpatía por una nueva constituyente, aumento de asesinatos, entre ellos miembros de la UP y candidatos presidenciales.

Continúa

Gobierno	Periodo	Caracterización del proceso	Estado final
César Gaviria	1991-1994	Los Diálogos de paz de Tlaxcala. Sexta tentativa de paz en Colombia, cuarta en el conflicto interno. Inicio de diálogos con miembros de la Coordinadora nacional guerrillera.	Nueva Asamblea Nacional Constituyente. Rompimiento de negociaciones por el secuestro y muerte en cautiverio del exministro Argelino Durán perpetrados por el ELN.
Ernesto Samper	1994 -1997	Acercamientos al ELN, EPL y las FARC. Séptima tentativa de paz en Colombia y quinta en el conflicto interno. Se buscaron medidas facilitadoras para negociar con las guerrillas, entre ellas amnistía e indulto.	Se acoge clandestinamente el ELN. El manejo de medios de comunicación no fue el mejor los pactos con esta guerrilla quedaron en borrador. Se presenta el asesinato de Álvaro Gómez.
Andrés Pastrana	1998-2002	Política de Paz para el Cambio: diálogos con las FARC en el Caguán. Octava tentativa de paz en Colombia y sexta durante el conflicto armado. Establecimiento de una zona desmilitarizada en San Vicente de Caguán, dando paso a los diálogos en febrero de 1999. Mediante la resolución número 83 se declaran diálogos igualmente con el ELN.	Falta de claridad frente a lo consensuado, continuidad de acciones delictivas, ataques, el secuestro del avión de Avianca, y otras demostraciones de prácticas terroristas opacaron el proceso. Con el ELN la imposibilidad de acceso a sus demandas no dio fruto al diálogo.
Álvaro Uribe Vélez	2002-2010	Desmovilización de los grupos de autodefensa e intento de aproximación a las FARC. Novena tentativa de paz en Colombia y la séptima en el conflicto. Desmovilización de paramilitares, quienes se favorecen de la ley de Justicia y paz. Se liberan cantidades de guerrilleros para la liberación de rehenes, haciendo acercamientos fallidos con FARC y ELN.	Ante los acercamientos fallidos, se declara ofensiva total contra grupos insurgentes, quienes son catalogados como organizaciones Narcoterroristas. Aparecen las BACRIM y surgen duros cuestionamientos por los mal llamados falsos positivos.
Juan Manuel Santos	2010-2016	El proceso de paz y post-acuerdo con las FARC. Décima tentativa de paz en Colombia y octava a nivel de conflicto interno armado. Se sentaron acuerdos finales con las FARC en septiembre de 2016, después de cuatro años desde el inicio de la fase de diálogos en 2012.	Surgen algunas disidencias con los grupos que no se acogen al proceso, otros pasan a engrosar las filas del ELN y otras organizaciones criminales.

Fuente: elaboración propia.

Al respecto, el objetivo general del presente análisis es interpretar la influencia del derecho operacional como mecanismo regulador del Conflicto Armado No Internacional (CANI) para la humanización y tránsito hacia una cultura de paz. En ese marco, la primera parte del trabajo contextualiza el problema de investigación de conocimiento científico, y la segunda desarrolla los objetivos específicos trazados en tres partes del cuerpo de la investigación: (a) describir desde los antecedentes del derecho internacional los aportes que juristas y filósofos realizarán a esta rama del derecho; (b) determinar desde la perspectiva de la pervivencia en el conflicto, la afinidad entre la dicotomía conflicto y paz; y, por último, (c) interpretar la concepción del derecho operacional en la conducción de hostilidades, para dar paso a las conclusiones generales.

Desde la perspectiva metodológica se tomaron en cuenta aspectos relacionados con la doctrina, la jurisprudencia nacional y el marco jurídico internacional. Se recurrió a fuentes primarias para la recolección de información, partiendo de la consulta de referentes bibliográficos *prima facie* de contenido jurídico y normativa internacional, acudiendo a las generalidades sobre el derecho operacional que consolidan el marco jurídico en el cual actúa la institución armada en la dinámica del conflicto interno en Colombia, así como a pronunciamientos de los distintos organismos internacionales respecto a la forma de llevar a cabo los diferentes procedimientos en la conducción de la guerra.

La indagación realizada sobre el paradigma interpretativo con el uso de herramientas cualitativas fue determinante para recoger la concepción y el lenguaje

de algunos oficiales militares superiores de las F.F.M.M. respecto a su percepción de la cultura de la guerra y la paz, así como la importancia del derecho operacional en el marco del post-acuerdo.

Problemática actual

El conflicto, definido según Romero (2011) como “confrontación de ideas [...] entre dos posiciones que manejan criterios distintos frente a una misma problemática” (p. 13), al escalar al nivel de violencia, en especial dentro de los estados fallidos, débiles e, inclusive, en vía de desarrollo, tiende a perpetuarse en el tiempo y cerrar las oportunidades de construir escenarios pacíficos y estables.

Por otra parte, después de siete décadas de la aparición del derecho internacional contemporáneo en 1945, y de más de medio siglo de la naciente subversión marxista en Colombia¹, el conflicto armado, producto de ese pensamiento insurreccional y revolucionario aún persiste como un fenómeno de largo aliento. De ahí que la institución castrense, como actor clave en el conflicto, deba dar cuenta de distintos ejemplos en la construcción de paz dados desde su interior, exigir su reconfiguración y propender por alcanzar todas sus potencialidades, ya que con los procesos de negociación, Colombia ha buscado definir el término de una guerra en la que el país ha estado sumergido por más de cincuenta años.

En la actualidad, la paz concebida desde la perspectiva del derecho internacional como el empleo de la no violencia para redimir las controversias, es factor de interés común para el Estado y la sociedad colombiana, en palabras de Rojas, “[...] todavía la paz –entendida como la ausencia de conflictos– sigue siendo un bien deseado en muchas partes del mundo, y la

cultura de paz parece ser una utopía” (2014, p. 217), pues para la sociedad colombiana vivir como hermanos ha sido una cultura difícil de aprender.

Por ende, el país y en especial la institución castrense, como actores clave en la confrontación armada, deben dar cuenta de los distintos ejemplos en las formas de tramitar el conflicto en relación a una cultura menos violenta. Según este punto de vista, el derecho operacional es la herramienta por medio de la cual la paz debe ser reconfigurada, ayudándole a alcanzar todas sus potencialidades, como uno de los casos de actualidad y relevancia para el aprendizaje, en el cual se forje un cambio cultural hacia la desnaturalización de la violencia.

No obstante, la actuación indebida de algunos miembros de la fuerza pública en el campo operacional, ha generado duras críticas con consecuencias funestas para la legitimidad de la institución castrense. En este contexto se estigmatizó el nombre de las Fuerzas Militares de Colombia al ser el blanco de la audiencia pública por muertes cuestionadas² durante el conflicto armado. En el 2013, el informe sobre derechos humanos en Colombia, presentado por la ONU, estableció la existencia de un total de 4716 homicidios por muertes cuestionadas sin resolver, atribuyendo la absoluta responsabilidad a las Fuerzas Militares.

Pese a todos los esfuerzos por instruir, controlar y verificar los procedimientos militares de orden táctico y estratégico, no se ha logrado la dinámica necesaria para la aplicación de la normatividad internacional, siendo todavía un tema de desconocimiento en el interior de la comunidad castrense. Sumado a ello, el nuevo escenario que plantea el post-acuerdo abre las puertas a un bien de interés común: la paz.

Por ello, mientras existan cuerpos jurídicos que regulen la actividad humana, como el derecho operacional, es urgente su interpretación y la debida contextualización frente a la dinámica de los conflictos

¹ Las luchas guerrilleras con ideología de corte marxista-leninista se encubieron después del fin del período de la violencia bipartidista, en 1957. El Frente Nacional puso fin a las violentas confrontaciones bipartidistas, sin embargo, algunos focos guerrilleros ante la desconfianza nunca se desmovilizaron y conformaron guerrillas comunistas denominadas Autodefensas Campesinas.

² *A priori*, traducidos penalmente en “presuntos delitos contra la vida” y mal llamados por los medios de comunicación como “falsos positivos” y “ejecuciones extrajudiciales”. Estas últimas dos denominaciones son inexistentes como delitos en Colombia. Para tal efecto, en el Código Penal se establece el homicidio agravado (art. 104, c.p) y a la luz de la Ley 599 de 2000, artículo 135 del Código Penal “homicidio en persona protegida”.

modernos, por lo que cabe preguntarse ¿de qué forma ha influido el cuerpo jurídico del derecho operacional como mecanismo regulador de hostilidades, a la humanización y transición a una cultura pacífica en Colombia en lo corrido del siglo XXI?

Antecedentes del derecho internacional

Aunque los planteamientos contemporáneos retomaron las ideas milenarias para estudiar la moralidad en los conflictos actuales, es determinante considerar que tras el encuentro de dos razas con las expediciones de conquista y los proyectos de colonización española, se inaugura en un lapso muy breve una era destacada, entre otros aspectos, por la vehemencia de la apolo-gética desarrollada en la Universidad de Salamanca respecto al reconocimiento universal de la condición humana de los aborígenes americanos, toda vez que se creía que estos individuos carecían de alma. Dicha defensa salamantina, tras la intervención que al respecto hicieron Francisco De Vitoria y Francisco Suárez, citado por Sánchez (2017), será vista como la base en la configuración de los primeros escritos del derecho internacional.

Reconocidos pensadores entre el siglo XVII y XVIII fueron los responsables de la secularización del derecho de gentes con su principio de buena fe. Es así como los escritos del jurista holandés Hugo Grocio se convirtieron en un referente de importancia al destacar la influencia del *ius gentium* en el Derecho Internacional contemporáneo³, antecedente remoto que, con algunas variantes desde la vertiente pública, se reestablecería en el futuro como lo que se conoce derecho internacional.

Aunque la idea de justicia ha acompañado a todas las civilizaciones hasta nuestros días, puede afirmarse que el derecho internacional será la expresión de un

orden suprahispánico en lo esbozado por estos pensadores, objeto de consulta en materia de tratados, valoración de la guerra y protección de la condición humana, hasta llegar al camino que conduciría a los primeros intentos de incorporarlo dentro de la amplia gama de acciones humanas y las codificaciones legales.

En relación con lo anterior, eximios escritores abordaban la dignidad humana como un fin en consecución. Es por ello que, tras la genialidad de Kant, la *ratio humana* pasa a ser vista desde su obrar humano, punto en el que puede adquirir matices de universalidad en lo que a la búsqueda del bien se refiere. Si el bien se presenta como un objeto de deseo a la razón humana, según el postulado kantiano, es capaz de legislar en procura de la consecución de ese bien (Kant, 1994).

Así las cosas, en el siglo XVIII, como consecuencia de las revoluciones liberales burguesas, americana, inglesa y francesa, aparecen en los tratados internacionales y, en las constituciones nacionales, la codificación de las libertades fundamentales partiendo del supuesto de que “el individuo está por encima de cualquier sistema político, y se declara la libertad como derecho inherente al ser humano” (Rincón, 2004, p. 49). Un Estado social de derecho, a la luz de estas consideraciones, aparecía por vez primera a modo de contrapartida en la tendencia política que encontraba en la sociedad civil liberal el máximo rango de expresión de la libertad humana; fomentando la formulación racional del orden, lo que en otras palabras se traduce como ley.

Desde esta lógica, el principio de legalidad habrá de ser el fundamento filosófico de la institución gubernativa que regula el movimiento de los intereses públicos, regulación que se entiende soberana, ya que tal institucionalidad aparece según la forma del Estado. Como consecuencia, la legalidad constituye el núcleo operativo tanto de la administración como de la burocracia, e, incluso, hasta de la propia justicia. En ausencia de dicho principio ningún acto administrativo es ilegítimo, lo cual permite inferir que todo acto de este tipo reposa en la razón legal.

Al presentarse los primeros debates ideológicos que pretendían dar cuenta de los posibles excesos de la práctica social, que implicaba acatar el principio de

³ El *ius cogens* es fruto de la acción de principios del derecho de gentes sobre el derecho internacional general.

legalidad; los conceptos de historia, individualismo y libertad desempeñaron un rol indiscutible. Si la *lex* (ley) era la formulación racional del orden, la libertad parecía ser su fin último. Y es en virtud de la potestad auto-legisladora racional humana que los primeros teóricos del Estado moderno hallaron la plataforma epistemológica idónea para la posterior configuración del proyecto del Estado de Derecho. La legalidad sería entonces una forma de racionalidad que, aunque ya estaba presente en los documentos apologistas redactados por los intelectuales salamantinos, requería ganar mayor contundencia, respecto a su eficacia y validez.

De igual forma, son la codificación germana y codificación romana, grandes matrices históricas vistas desde la antropología socio-cultural, las que han hecho referencia a la dimensión profunda, y muchas veces invisibilizada, que alimenta la historia de *ius germano* y el *ius corpore civile*. Tal base epistemológica comprende inmejorablemente el modo en que ambas visiones han de articular un sistema jurídico unificado a una dimensión política y, por supuesto, la constitución pasa a ser la condensación de las fuerzas antagónicas unificadas en torno a un fin político específico.

Por otro lado, si la constitución norteamericana es vista como el referente de las variadas formas del ejercicio de la libertad al interior de un régimen federal, obedece a que el nuevo orden es expresión fidedigna del lema *in pluribus unum* (unidos en la pluralidad), unidad que se relaciona con el principio de legalidad. Así, el sistema jurídico-político que se presentó en 1776 en los Estados Unidos es antecesor de los ulteriores debates que en la Europa decimonónica se presentaron relativos a la formación de la constitución.

Ahora bien, en la breve genealogía constitucional que se llevó a cabo entre 1831 y 1875 se encuentra que Bélgica, Austria, Prusia e Italia, estaban ordenadas según constituciones otorgadas. El modo de transición de las monarquías duales a regímenes en los que el Estado puede centralizar el modo de gobierno se verificará mediante las consecutivas convocatorias a conformar asambleas constituyentes, tal como ocurrió en Francia en 1848, 1870 y 1875 (Matteucci, 1998, p. 286). Aunque no sería exacto emplear en este punto el término *historia de los ordenamientos jurídicos* para

referirnos a lo aquí expuesto, debemos tener presente que el principio de legalidad también es extensivo al orden internacional.

En tal sentido, el constitucionalismo contemporáneo se sustenta en el establecimiento de robustos mecanismos de protección de los derechos humanos, motivaciones suficientes que han llevado a la dignidad humana más allá de una declaración ética, a convertirse en una norma vinculante y acatada por el Estado. Por lo anterior, los Derechos Humanos (DHH) requirieron de instrumentos para tutelar su cumplimiento y evitar que fueran vulnerados para reconocer su asidero, según las ramas del derecho internacional público.

Pervivencia en el conflicto: cultura de la paz y cultura de la guerra en Colombia

Para Johan Galtung (1997), la cultura de paz es sin lugar a dudas una cultura de resolución de conflictos. Aunque esta no es garantía de la eliminación permanente de un acto violento, como el caso de Colombia, en el que no hay un punto de equilibrio y persiste la conducta violenta por encima de la paz para redimir diferencias, pero poco a poco la cultura de la paz puede hacer que la violencia deje de ser legitimada o justificada.

Precisamente se piensa en la proyección de la cultura de paz porque se asume la existencia de una cultura violenta. De acuerdo con la lógica imperfecta de Francisco Muñoz y Beatriz Molina (2004), la paz es entendida como una realidad social con contenido propio, potencializada por el ser humano que, al igual que la violencia, emerge porque es el hombre quien determina a través de la acción u omisión la existencia o no de estas. Por ende, la búsqueda de escenarios de oportunidad para abonar el terreno a la cultura de la paz es competencia de todos, tanto responsabilidad del Estado y sus instituciones como de la sociedad civil y los demás actores que participan directa o indirectamente en la dinámica de conflictividades dentro del territorio.

En este contexto, la comunidad castrense debe aunar esfuerzos e incentivar mejor el trabajo en la compañía de diferentes organismos. En el 2014, Galtung destaca la experiencia de aprendizaje de los militares, quienes en medio de la existencia de una diversidad en las formas de violencia, así como potencialidad de espacios de convivencia y desarrollo, construyen y mantienen la paz para evitar la muerte.

Más soluciones y menos encuentros violentos ayudan en la humanización del conflicto, en el entendido de que el militar es un ser social influyente en el entorno. Al respecto, “cuando en una sociedad existe Cultura de Paz, existe legitimación a los patrones de acciones pacíficas y No-violentas a la hora de enfrentar distintos tipos de conflictos en cualquier tiempo y espacio en relación con otros individuos [...]” (Gualy, 2015, p. 16).

Desde la perspectiva de Aguilar (s.f.), en la sociedad actual la cultura ha justificado la violencia por reconocer el accionar violento y el encuentro cotidiano con esta interacción, motivos que han llevado a su naturalización. En la dicotomía existente entre dos partidarios cuyos paradigmas se contradicen, podemos encontrar un resultado inspirador como punto de equilibrio entre la cultura de la paz y la cultura de la guerra, desde la naturaleza propia del hombre.

Así mismo, según Rousseau (1820), el hombre está naturalizado a no tener siquiera posibilidades de caer en conflicto, en contraposición con Thomas Hobbes quien pone de manifiesto la predeterminación genética del individuo a ser exclusivamente violento, así como lo expuso Fernández en 1988, mientras comparaba los dos pensamientos: por un lado, desde la corriente hobbesiana rescata la obligación del hombre de garantizar su propia vida y supervivencia al luchar contra otros hombres; por el otro, se destaca la teoría de Jean-Jacques Rousseau, en la cual el hombre vive y sobrevive en el estado naturalmente, puro y de forma pacífica al contacto con la naturaleza, sin la necesidad de entrar en relación o conflicto con los semejantes para garantizar su existencia.

Dicho lo anterior, frente a los dos polos de la naturaleza conflictiva del ser racional, la destreza para la construcción en el hombre es poco desarrollada en

comparación al talento para destruir. Por ello se acrecentó la capacidad de edificar con esfuerzo y destruir con facilidad, razones por las que nace la urgencia de equilibrar la ecuación entre guerra y paz. Sobre el conflicto se puede construir la cultura de la paz y desnaturalizar la cultura violenta que circunda a diferentes sociedades en el mundo actual.

Así las cosas, en una sociedad violenta se genera una educación violenta, tal como lo manifiesta Freire (1976) citado por Lederach (2000): “No es la educación la que forma la sociedad a su manera, sino la sociedad la que habiéndose estructurado en ciertas direcciones, establece un sistema de educación que cabe en los valores que guían la sociedad” (p. 35). Sin embargo, todo conflicto está expuesto a la evolución, frente a lo cual Galtung (2004) manifestó que al evolucionar creativamente y recurrir a métodos no violentos, como expresión de la diversidad, no tendría por qué terminar en violencia. Por el contrario, los conflictos son una oportunidad de aprendizaje para hacer de ellos una posibilidad para el cambio y la reducción del carácter confrontacional.

En consideración, el filósofo alemán Immanuel Kant, al enfatizar en la paz duradera como ideal proyectado por la propia razón, coincidía con que el hombre inclinado a vivir en comunidad, ha navegado por siempre en su naturaleza conflictiva, lo que él describe como “la insociable sociabilidad de los hombres” (Kant, 1994, p. 8). Esto pone de manifiesto que la convivencia social es un punto de equilibrio entre la paz y la constante hostilidad. Por lo tanto, ese instinto natural conflictivo no es del todo negativo, es un aspecto necesario e indispensable a favor del progreso moral del ser humano, particularmente en el constructo de las condiciones necesarias para la estabilidad y convivencia pacífica. En otras palabras, es el punto de partida para avanzar, no hacia la erradicación de la guerra, pero sí hacia la deslegitimación de la violencia cultural y el establecimiento de una vida más tranquila en sociedad.

Como es sabido, el Estado es la estructura definitiva encargada de velar por la seguridad de los ciudadanos, lo cual es un proceso evolutivo de civilización de la cultura violenta de nuestros pueblos desde tiempos primitivos. En primer lugar, con el advenimiento

de la Paz de Westfalia la guerra se convirtió en elemento legítimo en la resolución de divergencias entre los Estados-Nación. Desde su formación el Estado se apropió de la guerra, exaltándola hasta convertirla en un derecho, al punto de establecer una heterogeneidad de instituciones para su práctica y ejecución. Por eso es que en esa transición el Estado pasó a ser garante de la seguridad en un mundo cambiante, complejo y peligroso, a coste de la configuración de comportamientos profundamente violentos, legitimados por la sociedad como el recurso de mayor importancia al momento de dirimir las diferencias.

Pese a todo, y aunque en la contemporaneidad la guerra es considerada una actividad ilícita, en la

política exterior por la Carta de las Naciones Unidas (Artículo 2do, numeral 4), este es un fenómeno persistente en diferentes culturas. En 2019 la Escola de Cultura de Pau acreditaba la existencia de 34 conflictos armados en el sistema internacional, de los cuales 33 siguen activos, según su informe sobre conflictos (ver figura 1), derechos humanos y construcción de paz. No cabe duda que nuestra sociedad está permeada profundamente por la cultura de la guerra, pues por siglos la violencia se ha sobrepuesto a la cultura de la paz. Muestra de ello es el conflicto armado de larga data en el interior del territorio colombiano, el único activo en el hemisferio occidental, que realmente obedeció a la transición de antiguas formas violentas.

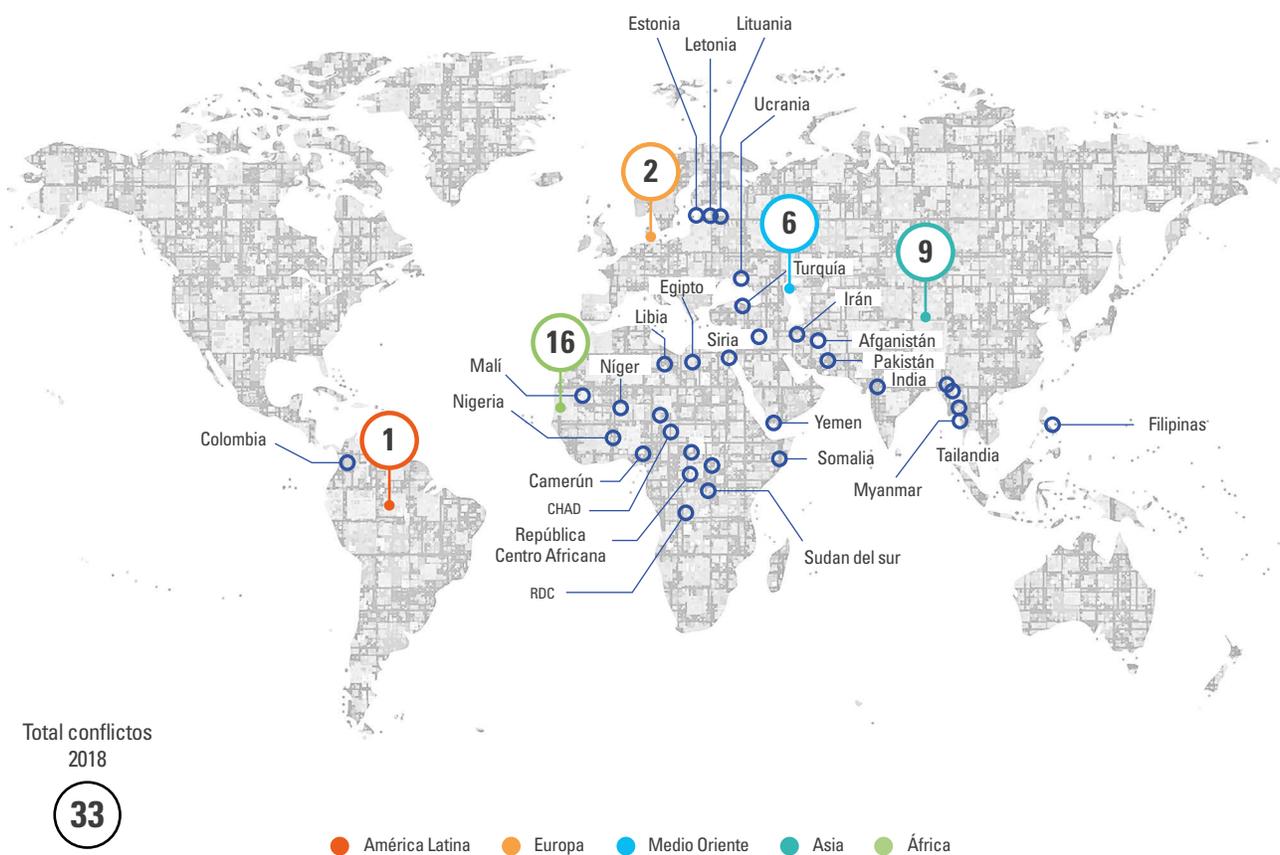


Figura 1. Conflictos armados en el 2018
Fuente: Alerta 2019.

Sin embargo, en Colombia la violenta realidad no termina con la firma y puesta en marcha de los acuerdos de paz entre el Gobierno y las antiguas FARC, pues “el país presenta un contexto de violencia activo, que se ha prolongado durante muchas décadas y que a lo largo de este tiempo ha sufrido diferentes mutaciones” (Melamed, 2018, p. 25). Nuevas facciones armadas conformadas inclusive por disidencias del grupo insurgente que se mantienen al margen de los procesos de negociación y continúan con su accionar delictivo; una dinámica de violencia y criminalidad que persiste y evoluciona divergentemente en todas sus formas. Con la puesta en marcha del post-acuerdo, los militares cambiaron el concepto de pervivencia conflictiva por el de pervivencia en sociedad.

Paradójicamente, existe el deseo de pervivencia solo en el ser racional, el individuo busca las condiciones para perpetuar la vida ante condiciones adversas y difiere del instinto de supervivencia de todos los seres vivos, como mecanismo automático e inconsciente de conservación de vida. Así, es posible referirnos desde el concepto de pervivencia conflictiva a la identidad construida a partir de la resistencia, la supervivencia y la confrontación. La prolongación del conflicto armado obligó a la sociedad, al Estado y la institución castrense a aprender a pervivir en él, pues sobrevivir en mencionado escenario no es nada fácil. En tal circunstancia podría uno preguntarse ¿cómo el deseo de pervivencia al conflicto armado ha despertado el interés por la cultura de la paz en los actores armados estatales y no estatales?

Pervivir en el conflicto y la pervivencia conflictiva son situaciones diferentes, pero establecen una relación de causa efecto derivadas de la cultura de la violencia que caracteriza la sociedad colombiana. La pervivencia conflictiva ha naturalizado y legitimado la guerra desde hace décadas, pero el deseo de pervivir en el conflicto nos enseñó la salida hacia la deconstrucción del carácter violento y confrontacional. No es solo la resistencia a la violencia enfrentando las armas con las armas, es también respetar las reglas de la guerra. Al respecto, repensar en el mensaje que entrega el soldado después de prestar ayuda al enemigo herido, al respetar la vida del adversario rendido en combate o

al desmovilizado que depone sus armas y decide entregarse a la justicia, es una forma inteligente y sin lugar a dudas más humana de tramitar el conflicto.

Por supuesto, el cumplimiento de las reglas en la conducción de la guerra es evidencia de la profesionalización en el accionar de la fuerza pública en Colombia en lo corrido del siglo XXI, en el cual la legitimidad pasa a ser su centro de gravedad. Operaciones como Inquisidor o Jaque requirieron de una delicada y rigurosa planeación, pues no obedecieron a un golpe de suerte, cada uno de los participantes tenía claro su papel, estaba entrenado y conocía a fondo las reglas del combate. De este modo, Inquisidor fue una operación *brillantísima*⁴, una acción militar distinguida por el detalle de su ejecución (El Tiempo, 2000).

En la acción militar se dio prioridad a la protección de la vida de los seis secuestrados en poder de esa organización insurgente⁵. Las tropas del Batallón de Infantería n.º 21, “Manuel Roergas Serviez”, burlaron la seguridad del Bloque Oriental de las extintas ONT-FARC e ingresaron a uno de sus campamentos, rescataron sanas y salvas a las personas privadas de la libertad, y al tiempo neutralizaron al segundo cabecilla del frente 52 que se encontraba al mando. Así lo registraron los medios de comunicación:

Ni el presidente Andrés Pastrana pudo sustraerse a la emoción y, en carta dirigida al general Carlos Ospina Ovalle, comandante de la Cuarta División del Ejército, dijo: ¡Ese es el Ejército de Colombia! Un Ejército valiente y al lado de su pueblo, que defiende en todos los rincones del país el derecho a la vida y a la libertad de sus compatriotas (Vásquez, 2000).

Con ello, los protagonistas de la obra dieron ese tinte de legitimidad a la institución armada, tal como sucedió en muchas otras acciones militares, por ejemplo,

⁴ Calificativo otorgado por el famoso periodista Guillermo Cortés Castro, conocido como ‘La chiva Cortés’, quien fue liberado en el desarrollo de operación.

⁵ El periodista Guillermo Cortés Castro, director del noticiero del canal Tv “A”; el alemán, Rorol Sommerfiel; el comerciante, Alejandro Londoño; Jaime Correal Martínez; Ricardo Adolfo Martínez Gaitán y Edgar Andrés Vargas Martínez.

el caso de la intachable operación Jaque. esta operación, sin un solo disparo se logró el rescate de 15 secuestrados, fue tan bien ejecutada que ni siquiera levantó sospecha por parte del grupo guerrillero en el desarrollo de la intervención militar. En estas operaciones estuvo de por medio preservar la vida humana, pues su propósito fue explícitamente humanitario según el amparo del derecho internacional.

Pervivir en el conflicto obligó a la fuerza pública en Colombia a ser exageradamente detallista en el planeamiento, preparación y ejecución de sus operaciones, ya que entró a jugar el compromiso con el derecho constitucional operacional y la puesta en práctica del derecho internacional. Así las cosas, son variados los ejemplos de diferentes cambios en la forma en que operan las Fuerzas Militares⁶, un vuelco que se empieza a dar comenzado el siglo XXI, en el que día a día se ha privilegiado el respeto al derecho internacional y se ha referenciado, cada vez más, el cumplimiento a los tratados y convenciones que de él se desprenden, coadyuvando con diferentes programas humanitarios.

A su vez, las unidades militares se acogieron a la limitación en el empleo de ciertos tipos de armas, como las minas antipersona. Más adelante, acatando la Convención sobre la prohibición de minas antipersonales, más conocida como convención de Ottawa, se desminaron las bases militares protegidas con este tipo de artefactos en todo el país⁷, rescatando al tiempo la labor de los recién creados Batallones de Ingenieros de Desminado Humanitario. Al respecto, el señor coronel Gelves, comandante hasta el 2019 del Batallón de Desminado Humanitario n.º 1 en el Caquetá, por medio de una conversación telefónica manifestó: “Las operaciones de desminado humanitario son uno de los compromisos de mayor importancia en Colombia. Obedeciendo al programa presidencial de descontaminación de minas antipersona, brinda oportunidades a las comunidades desplazadas principalmente,

ya que los territorios sin minas favorecerán el regreso de estas a sus lugares de origen para posteriormente desarrollar diferentes proyectos productivos” (L. Gelves, comunicación personal, 2020).

Particularmente, el Estado colombiano ratificó su obligación en la Convención sobre la Prohibición del Empleo, Almacenamiento, Producción y Transferencia de Minas Antipersonas. Asumió su destrucción el 6 de septiembre del 2000⁸ y entró en vigor el 1 de marzo del 2001, en razón a que el país hace parte de los 162 Estados parte de la Convención de Ottawa. Para el Comité Internacional de la Cruz Roja (CICR), los diferentes tratados sobre las armas reducen considerablemente el sufrimiento humano. En tal virtud, desde la entrada en vigencia de la Convención de Ottawa en 1999, se estima la reducción en el número de personas muertas o mutiladas por estas armas de 20.000 a aproximadamente 3.500 por año; igualmente la producción de estos artefactos explosivos ha cesado, y 48 grupos armados no estatales prometieron no utilizarlas más, compromiso que hasta ahora se ha cumplido (Durham, 2016).

Así las cosas, pervivir en el conflicto ha significado para la institución castrense reafirmar las normas internacionales en la conducción de hostilidades, dando un vuelco total a la forma como se desarrollan las operaciones militares. En efecto, cada vez que se suspende un ataque por el posible daño colateral, que se protege a la persona no combatiente, que se distinguen combatientes de no combatientes durante la confrontación armada, cada que se reporta satisfactoriamente un área libre de minas antipersona y siempre que exista una mayor corresponsabilidad social y que haya un mayor compromiso con las demás instituciones y la sociedad civil, se puede decir que se está aprendiendo a pervivir en el conflicto, no en una cultura basada en la naturalización de la violencia.

Al tramitar el conflicto, el Estado ha dejado de ser un espectador más, representa un avance considerable en materia de Derechos Humanos, sentó un

⁶ Operación Camaleón en 2010, en la cual se liberó al General de la Policía Luis Mendieta, a dos coroneles y un suboficial del ejército. Fénix en 2008, Sodoma en 2010 y Odiseo en 2011, afectaron el mando y control en la estructura de las FARC.

⁷ Fueron despejadas 158 830,86 m².

⁸ Desde el 3 de diciembre de 1997, Colombia se acogió al artículo 5 de la Convención para la Limitación de Métodos de Guerra (Tratado de Ottawa, prohibición de minas antipersona).

mayor compromiso con la problemática violenta que enfrenta el país y las necesidades insatisfechas de sus habitantes. De igual manera, la institución castrense ha entendido que para ganar legitimidad “no hay que desestimar el derecho de la guerra [...]” (Durham, 2016). Aprendiendo a pervivir en el conflicto, acatando las reglas para estabilizarlo y luego transitar a un ambiente de convivencia pacífico.

El derecho operacional en la conducción de los conflictos armados

Muchos pensamientos en la cultura violenta han legitimado la guerra, con la potestad de elegir entre si es justa y aceptable, o injusta y condenable (Jaramillo y Echeverry, 2005, p. 10). El anterior es un orden de ideas sobre el que pueden hallarse los albores del derecho internacional, una clarísima relación entre la necesidad de amparo de la especie humana ante presupuestos ideológicos, religiosos o políticos, contra su estatus natural y la exigencia de regulación reflexiva de dichos fenómenos. Asunto complejo de por sí, por cuanto la contingencia es constitutiva de la condición humana y corresponde al derecho procurar el reconocimiento de lo justo, ante cualquier forma de desconocimiento de tal realidad.

A la par con el pensamiento hobbesiano, Kenneth Waltz en 1959 manifestó que el comportamiento violento y agresivo del hombre es la conducta más adecuada en su lucha por la existencia. Aunque la historia muestra cómo la violencia es parte intrínseca de la formación del ser humano, es claro que su vida está marcada por el aprendizaje. Científicamente muchos estudios han comprobado que de manera genética las conductas violentas no están programadas en la naturaleza del hombre. En relación con lo anterior, la guerra es un fenómeno aprendido, de modo que nace en la mente del hombre y desde allí debe erigirse el baluarte de la paz (Constitución de la UNESCO, 1945), el hombre es medio y fin en la configuración de la cultura

pacífica, en la desnaturalización de la violencia y en el desarrollo sostenible de las naciones.

En 1993, la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) en el Programa de Acción para Promover una Cultura de Paz, expuso que “una cultura de paz debe estar basada en el reconocimiento del valor fundamental de la paz y de la solución pacífica de los conflictos [...]” (p. 3). Frase que inauguró el comienzo del proceso de cristalización de la cultura de la paz en el derecho internacional, se materializó en 1999 a través de la resolución A/RES/53/243 y desde entonces, se ha considerado uno de los principales logros de las Naciones Unidas.

Durante la campaña de la UNESCO para la sensibilización de la población mundial sobre el concepto de cultura de la paz en el 2000, se han desprendido diferentes programas para ayudar a los Estados miembros a fomentar políticas y principios a favor de la cultura de la paz, usando la educación para tal fin. De esta forma el concepto se ha vinculado a temas necesarios para la construcción de la paz, así como lo manifiesta la Declaración y Plan de Acción de la Organización de las Naciones Unidas sobre una cultura de paz, distinguiendo entre ellos:

- (a) La promoción del arreglo pacífico de los conflictos, el respeto y el entendimiento mutuos y la cooperación internacional;
- (b) El cumplimiento de las obligaciones internacionales contraídas en virtud de la Carta de las Naciones Unidas y el Derecho Internacional;
- (c) La promoción de la democracia, el desarrollo de los derechos humanos y las libertades fundamentales y el respeto y cumplimiento universales de estos [...] (ONU, 1999, art. 3).

Frente a estas responsabilidades, ningún actor en conflicto podrá ser ajeno a esta urgencia, empero, la inadmisibilidad de la legitimación de la violencia en la mayoría de culturas es un obstáculo que deberá ser superada poco a poco. Como consecuencia, los organismos internacionales han hecho el mayor esfuerzo por desintegrar el carácter confrontacional de la cultura, buscando poner fin a los conflictos violentos que aún persisten en el mundo entero.

Cabe recordar que el derecho internacional, hasta la Primera Guerra Mundial, no tenía más que algunas normas de humanización de los conflictos, las cuales no restringían la libertad de acción del Estado frente a la guerra. Solo hasta después de la mencionada gran hecatombe, empezando el siglo xx, el Derecho Internacional empezó a limitar la libertad del Estado para hacer uso del recurso de la guerra. Este era el único recurso usado, no solo para resarcir diferencias sino también para la legítima defensa.

Así las cosas, al terminar la Primera Guerra Mundial, sesenta y tres naciones del mundo ratificaron el pacto Briand-Kellogg para deslegitimar la guerra. Sin embargo, este precedente no fue impedimento para la invasión japonesa a Manchuria en 1931, la incursión de Italia a Etiopía en 1935 y mucho menos evitó el estallido de la Segunda Guerra Mundial. Tales esfuerzos encontraron asidero en la Carta de San Francisco, en la cual, de manera expresa, la guerra volvió a ser considerada una actividad ilícita en la política exterior (ONU, artículo 2, 1945). A la par de estas consideraciones, hasta finalizado el siglo xx, no había interés alguno de los juristas en esta rama del derecho, dicha inclinación fue despertándose con la evolución de la doctrina militar, principalmente en el marco de los Derechos Humanos que coincidía con los cambios suscitados por la post-guerra fría, al producirse alteraciones de las amenazas conocidas que cambiaron la forma de entender los conflictos.

Según Baumann (1998), la forma tradicional de comprender los conflictos pasa a ser obsoleta frente a las nuevas realidades, entonces, nuevas reglas del juego más no una diferencia de fuerzas, materializan lo novedoso en el contexto actual. Precisamente en los espacios globales más comunes la seguridad nacional, se hace vulnerable al verse comprometida por amenazas de diversa naturaleza, o factores que sin la equivalencia de amenaza son riesgosos y pueden desencadenar situaciones caóticas de inestabilidad e, inclusive, provocar el crecimiento acelerado de otras amenazas. Advertencias que al estar interconectados de forma sistémica prolongan aún más la confrontación violenta, lo que hace más difícil la distinción entre

actores irregulares y la aplicación del derecho internacional a la conducción de hostilidades.

Por ello, el derecho operacional incorpora no solo elementos que afectan la conducción de hostilidades, sino que además apoya la toma de decisiones del comandante, ayuda a la comprensión del conflicto, al fortalecimiento jurídico de la comunidad castrense y a tramitar las condiciones para una mejor convivencia. En particular, una parte fundamental del *judge advocate operational* es la indivisibilidad existente entre derecho, política y demandas operacionales (Grunawalt, 1997). Un esfuerzo mayor en este campo del derecho ha sido regular los excesos de la guerra con la puesta en práctica de las reglas para su conducción, que de igual forma obligan a la comunidad castrense a acatarlas para la pervivencia en el conflicto y el tránsito a una cultura pacífica.

En Colombia, se adoptó el derecho operacional, cuya mirada jurídica incluida dos décadas atrás en la Constitución Política, se apoya en el Decreto 124 del 2014, el *Manual FF.MM 3-41 público* y, por supuesto, en la Doctrina Damasco con el *Manual de Derecho Operacional EJC MFRE 6-27*. Al mismo tiempo, la jurisprudencia nacional e internacional ha coincidido en advertir que su aplicación no se desprende de la caracterización subjetiva de la situación, sino de circunstancias objetivas como el nivel de organización de los grupos armados y el nivel de intensidad de la violencia que desplieguen (Corte Constitucional, 2007, SC-291).

En este marco, expresa Nieto (2008): “[...] el DIH es plenamente aplicable en Colombia” (p. 157), coincidiendo con Nasl y Rettberg (2005) y Mejía (2007) al sostener que el conflicto armado en Colombia es un fenómeno de más de medio siglo de duración. Por tanto, el país tergiversó la situación del conflicto armado interno, según la denominación de orden público desdibujando el carácter bélico, asimétrico e irregular por mucho tiempo, no conceptualizado desde el principio de la mirada del derecho internacional como un Conflicto Armado no Internacional (CANI).

En ese sentido, en Colombia se tienen que cualificar adecuadamente las acciones para regular el conflicto armado interno desde el derecho operacional,

pues la cultura de la paz además de estar ligada al Derecho Internacional es de larga data, no siendo un tema nuevo y de origen consuetudinario. Al respecto, las Fuerzas Militares deben conocer ampliamente los derroteros frente al significado de lo que es recuperar la responsabilidad operacional, y el compromiso de prepararse para un futuro de convivencia pacífica.

La educación en el derecho operacional favorece el entendimiento del conflicto y ayuda a descubrir su complejidad. No obstante, existe todavía una gran exposición al desconocimiento de los sujetos procesales en el marco de lo penal o administrativo, para la aplicación del derecho acoplable a los conflictos armados. Educar en derecho operacional va más allá del conocimiento del DIH o el DIDH, es conocer sobre la población, sus necesidades y entender la problemática territorial, donde se definen las áreas neurálgicas mayormente afectadas por la violencia o la pobreza.

De esta forma las diferentes regiones del país rezagadas entre abismales rangos de exclusión de los patrones socioeconómicos limitaron el accionar local de las alcaldías, pues desde su punto de vista allí se truncan la esperanzas de superar la violencia y construir la paz, llevando a repensar la gestión integral para obtener recursos, transferir competencias, incentivar el tejido empresarial y deslocalizar la producción del país sobrepasando sus enclaves centrales (Ríos y Gago, 2018). Ante esta problemática, diferentes unidades militares en el país son ejemplo de la articulación de sus capacidades desde lo local, focalizan de forma coordinada las áreas críticas de su jurisdicción para el trabajo conjunto y comunitario, enfocándose en la población más afectada, como lo hace la estrategia implementada con el Plan Horus de las Fuerzas Militares a nivel nacional desde el 2018.

En una entrevista realizada al señor teniente coronel Andrés Rojas, quien está a cargo de los procesos de educación complementaria de la Dirección de Educación Militar (DIEDU) y se desempeña como oficial de operaciones del Batallón GUEPI desde el 2018 en el departamento de Caquetá, manifestó que el Plan Horus no solo recobra la confianza de muchas comunidades en riesgo afectadas por la confrontación armada, más allá de funcionar como mediador entre el conjunto

social y las instituciones estatales para contribuir a su tranquilidad, es parte de la agenda del comandante militar en el amplio rango de las operaciones militares (A. Rojas, comunicación personal, 2020). Es así como esta y muchas estrategias similares son aplicadas por la institución castrense frente a los hechos enmarcados en la lectura histórica, alrededor de la cultura violenta que caracteriza al país.

Aunque el énfasis de hoy se basa en los valores para la convivencia y construcción pacífica, se ha considerado al hombre como un ser conflictivo por naturaleza, es decir, “es inherente al ser humano el hecho de vivir conflictos [...]” (París, 2010 p. 89). Razón por la que, al navegar sobre el concepto de transición a la paz, sería irrisorio creer que después de más de cinco décadas de conflicto armado, esta se diera a lugar sin desarrollar la cultura de la paz.

Ahora bien, tanto la sociedad como las Fuerzas Militares tienen responsabilidades para afrontar las diferencias, de forma que se distingan las vulnerabilidades como oportunidades para lograr el cambio, forjando el camino para transformar la cultura de la guerra, la deconstrucción de la violencia y la construcción de un mejor futuro. En coincidencia con Lederach (1996), el conflicto debe ser visto como una oportunidad de autoaprendizaje y desarrollo, e interpretarse desde un punto de vista constructivista. Esta perspectiva permitirá teorizar desde el derecho operacional a la paz y la violencia, como conceptos aprendidos para aprovechar la cultura de conflictividad en forma positiva.

Conclusiones e inferencias

La guerra ha acompañado a la especie humana desde la existencia del hombre y su carácter violento, que al agudizarse enraizó en la cultura el belicismo, legitimada y naturalizada como la forma más común de dirimir divergencias. En otras palabras, dentro de la conciencia del hombre existen razones aceptables para ir a ella, así como medios necesarios para reprimirla. Sin embargo, este es un fenómeno aprendido y no genético en la naturaleza humana, motivación que

debe ser suficiente para formar nuevos hábitos en su mente, modificar comportamientos y, de este modo, transitar hacia una cultura menos violenta y más transformadora.

Al contextualizar el marco de los Derechos Humanos, la ONU promueve obligaciones con el propósito de una cultura de paz no solo en los Estados, sino también en una serie de organizaciones tanto gubernamentales como no gubernamentales, la sociedad civil, diferentes instituciones, grupos religiosos, intelectuales, medios de comunicación, entre otros. Como consecuencia de dicha responsabilidad, la comunidad castrense debe implementar de manera dinámica los ordenamientos jurídicos del derecho operacional en todo el Rango de Operaciones Militares (ROM), sea en tiempos de guerra como de estabilidad, pues la cultura de la paz está integralmente vinculada al desarrollo del día a día en las actividades militares, máxime cuando el conflicto armado en Colombia hace obligatoria su aplicabilidad.

Aunque la Carta de San Francisco de la ONU en 1945 haya prohibido el uso de la fuerza como forma de dirimir las diferencias, y más recientemente la Resolución 2625 de 1970 del Consejo de Seguridad de Naciones Unidas consideró la guerra como un crimen que atenta contra la paz, la violencia ha sido la constante principal para la resolución de los conflictos sociales en diferentes culturas. Sumado a ello, el dogma *si vis pacem, para bellum*, justifica aún en nuestros días la violencia para lograr la paz, cuando pretendemos que para buscar la paz hay que estar preparados para la guerra.

Por ende, en la dinámica de vida del hombre, el conflicto es una constante y no es descabellado pensar en él como un mecanismo de aprendizaje para la deconstrucción de la violencia. Para relacionar los aportes del derecho internacional con el propósito de tramitar el conflicto armado hacia la deslegitimación del carácter confrontacional, no solo se ha de transitar sobre la base de la teoría constructivista del conflicto; también sobre la concepción que se tiene de cultura

de la paz desde organismos como la ONU —para el que la paz no solo es la ausencia de conflictos sino un proceso positivo, dinámico y participativo—.

Tramitar el conflicto desde su pervivencia a un proceso de transición hacia la estabilidad y desnaturalización de la violencia debe ser considerado como una actividad sistemática, integral y permanente. Por tal motivo, el Estado, sus instituciones, y como parte de ellas, las Fuerzas Militares, deben acatar hoy más que nunca la normativa internacional en el campo del derecho humanitario, articularse con las herramientas jurídicas constitucionales para la convivencia armónica al interior de una sociedad políticamente organizada en el contexto del conflicto armado interno, y con miras al precedente estatus de postconflicto.

Entre tanto, el derecho operacional no solo se afianza como derrotero ante los excesos del conflicto armado, también avala el fortalecimiento jurídico en la comunidad castrense y el apoyo en la toma de decisiones del comandante. Además, las reglas de la guerra humanizaron el carácter confrontacional, encarando los procesos de transición al proyecto de construcción social y la gestión de posibles escenarios de estabilidad; en otras palabras, esta rama del derecho es en la comunidad castrense una herramienta de cultura de paz.

En la actualidad, el derecho internacional coteja retos mucho más complejos como las llamadas nuevas amenazas o amenazas emergentes, conocidas por su dificultad para ser interpretadas por diferir de lo tradicional, no por lo nuevas sino por la facilidad de adaptación a cualquier escenario. Ello ha condicionado aún más el uso de la fuerza, requiriendo del componente de moralidad y de justicia desde el derecho internacional de los conflictos armados y los derechos humanos, que reafirman el sentido de corresponsabilidad social, a lo que se le suma el compromiso de reinversión y recuperación del tejido social; urgencia exigida en la coyuntura actual dentro del marco del pos-acuerdo y tras décadas de confrontación armada para evitar luchar fuera de los límites legales.

Referencias bibliográficas

- Aguilar, I. (s.f.). *Apuntes sobre cultura de violencia y cultura de paz*. Centro de Investigación para la Paz. <http://www.centropaz.com.ar/publicaciones/paz/paz25.pdf>
- Baumann, R. (1998). Perspectivas históricas sobre la guerra del futuro. *Military Review*, 14.
- Colombia, C. P. (1991). *Constitución Política de Colombia*. Legis.
- Comando General de las Fuerzas Militares. (2017). *Manual de Derecho Operacional para las Fuerzas Militares de Colombia*. FF.MM 3-41 público. Imprenta y publicaciones de las Fuerzas Militares.
- Decreto 124 de 2014 (28 de enero), por el cual se reglamenta la Ley 1698 de 2013. Alcaldía Mayor de Bogotá. <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=56542>
- Durham, H. (2016, 7 de abril). Atrocidades en los conflictos: los Convenios de Ginebra, más necesarios que nunca. *Comité Internacional de la Cruz Roja*. <https://www.icrc.org/es/document/atrocidades-en-los-conflictos-los-convenios-de-ginebra-mas-necesarios-que-nunca>
- El Tiempo. (2000, 14 de agosto). *Rescatado la Chiva Cortés*. <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-1225880>
- Escola de Cultura de Pau (2019). *Alerta 2019! Informe sobre conflictos, derechos humanos y construcción de paz*. Editorial Icaria. https://ddd.uab.cat/pub/alertaspa/alertaspa_a2019.pdf
- Fernández, J., & Bobbio, N. (1988). *Hobbes y Rosseau: entre la autocracia y la democracia*. Fondo de Cultura Económica.
- Fuerzas Militares de Colombia & Ejército Nacional. (2017). *Manual fundamental de referencia del ejército MFRE 6-27*. Derecho Operacional Terrestre.
- Galtung, J. (1997). *Manual para el entrenamiento de Programas de las Naciones Unidas*. Organización de Naciones Unidas.
- Galtung, J. (2004). *Violencia, guerra y su impacto. Sobre los efectos visibles e invisibles de la violencia*. <https://es.scribd.com/document/102203467/Violencia-Guerra-y-Su-Impacto-Johan-Galtung>
- Galtung, J. (2014). La geopolítica de la educación para la paz. Aprender a odiar la guerra, a amar la paz y a hacer algo al respecto. *Revista de Paz y Conflictos*, 7, 9-18. <http://dx.doi.org/10.30827/revpaz.v7i0.1565>
- Garrido, M. (2011). *El derecho a la paz como derecho emergente*. Atelier Libros Jurídicos.
- Grunawalt, R. (1997). The Jsc Standing Rules of Engagement: A Judge Advocate's Primer. En P. Lindemann (ed.), *The Air Force Law Review*, 42, 245. Editorial Board. <https://www.afjag.af.mil/Portals/77/documents/AFD-081204-037.pdf>
- Gualy, L. (2015). *Construcción curricular de una cultura de paz en América Latina. Caso Maestría de Ciencias Políticas en Bogotá*. [Tesis de doctorado]. Universidad Nacional de Colombia.
- Jaramillo, J., & Echeverry, Y. (2005). Las teorías de la guerra justa. Implicaciones y limitaciones. *Revista Científica Guillermo de Ockham*, 3(2), 9-29. <https://www.redalyc.org/pdf/1053/105316854001.pdf>
- Kant, I. (1994). *Ideas para una historia universal en clave cosmopolita*. Editorial Tecnos.
- Lederach, J. (1996). *Preparing for Peace. Conflict Transformation Across Cultures*. Syracuse University Press.
- Lederach, J. (2000). *El abecé de la paz y los conflictos*. Catarata.
- Ley 32 de 1985 (29 de enero). Por medio de la cual se aprueba la Convención de Viena sobre el Derecho de los Tratados, suscrita en Viena el 23 de mayo de 1969. *Diario Oficial* 36.856.
- Martín, L. (2017). Dinámica de la guerra en el control institucional del territorio en Colombia. En L. Martín (ed.), *El control territorial en el siglo XXI: fundamentos teóricos*. Escuela Superior de Guerra "General Rafael Reyes Prieto". <https://esdeguelibros.edu.co/index.php/editorial/catalog/view/7/4/10-1>
- Matteucci, N. (1998). *Organización del poder y libertad: historia del constitucionalismo moderno*. Editorial Trotta.
- Mejía, J. (2007). Derechos humanos, conflicto armado y agresión terrorista en Colombia. *Prolegómenos*, 10(19), 51-88. <https://doi.org/10.18359/prole.2546>
- Melamed, J. (2018). *Transformación de la violencia y la criminalidad en Colombia. El caso de las FARC-EP*. Editorial Universidad del Norte.
- Muñoz, F., & Molina B. (2004). *Manual de paz y conflictos*. Universidad de Granada.
- Nasi, C., & Rettberg, A. (2005). Los estudios sobre el conflicto armado y paz: un capo en evolución permanente. *Colombia Internacional*, 62, 64-85. <https://revistas.unian.edu.co/doi/pdf/10.7440/colombiaint62.2005.04>
- Nieto, R. (2008). ¿Hay o no hay conflicto armado en Colombia? *Anuario Colombiano de Derecho Internacional ACDI*, 1(1), 139-159. <http://www.corteidh.or.cr/tablas/r25155.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas (1945). *Carta de las Naciones Unidas y Estatuto de la Corte Internacional de Justicia*. <https://www.un.org/es/charter-united-nations/>

- Organización de las Naciones Unidas. (1970). *Resolución 2625 (xxv) de la Asamblea General de Naciones Unidas, del 24 de octubre de 1970. Declaración sobre los principios de Derecho Internacional referentes a las relaciones de amistad y a la cooperación entre los estados de conformidad con la Carta de las Naciones Unidas*. <https://www.dipublico.org/3971/resolucion-2625-xxv-de-la-asamblea-general-de-naciones-unidas-de-24-de-octubre-de-1970-que-contiene-la-declaracion-relativa-a-los-principios-de-derecho-internacional-referentes-a-las-relaciones-de/>
- Organización de las Naciones Unidas (2013). *Informe anual de la Alta Comisionada de las Naciones Unidas para los derechos humanos sobre la situación de los derechos humanos en Colombia*. Consejo de Derechos Humanos. <http://www.acnur.org/t3/fileadmin/Documentos/BDL/2013/9094.pdf?view=1>
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura UNESCO. (1945). *Constitución de la UNESCO*. http://portal.unesco.org/es/ev.php-URL_ID=15244&URL_DO=DO_TOPIC&URL_SECTION=201.html
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura UNESCO. (1993). Programa de acción para promover una cultura de paz. 27c/126. Conferencia General 27ª reunión. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000095431_spa/PDF/095431spao.pdf.multi
- París, S. A. (2010). Filosofía, Transformación de Conflictos y Paz. En I. C. Mingol (ed.), *Investigación para la paz: estudios filosóficos*. Icaria Editorial.
- Reyes Paz, J. (2016). Colombia: una nueva concepción del Derecho Operacional para las Fuerzas Terrestres en la era postconflicto. *Ciencia y Poder Aéreo*, 11(1), 66-81. <http://dx.doi.org/10.18667/cienciaypoderaereo.526>
- Rincón, J. (2004). *Las generaciones de los derechos fundamentales y la acción de la administración pública*. Universidad Externado de Colombia.
- Ríos, J., & Gago, E. (2018). Realidades y desafíos de la paz territorial en Colombia. *Papers Revista de Sociología*. 103(2), 281-302. <https://papers.uab.cat/article/view/v103-n2-rios-gago/2361-pdf-es>
- Rojas, R. (2014). *La cultura de paz en el Derecho Internacional Público: una breve introducción*. http://www.oas.org/es/sla/ddi/docs/publicaciones_digital_XLI_curso_derecho_internacional_2014_Roberto_Rojas_Davila.pdf
- Romero, F. (2011). *La convivencia desde la diversidad*. Universidad Nacional de Colombia.
- Rousseau, J. J. (1820). *Discurso sobre el origen y los fundamentos de la desigualdad de condiciones entre los hombres*. Imprenta de José del Collado.
- Sánchez, A. (2017). Vitoria y Suárez: el Derecho Internacional en el tránsito a la Modernidad. *Anales de la Catedra Francisco Suarez*, <https://revistaseug.ugr.es/index.php/acfs/article/view/6252/5566>
- Sentencia C-291 del 2007 (25 de abril). (M.P. Humberto Sierra Porto). <https://www.corteconstitucional.gov.co/relatoria/2007/c-291-07.htm>
- Vásquez, C. (2000, 15 de agosto). Así rescataron a la Chiva Cortés. *El Tiempo*. <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-1227875>
- Waltz, K. (1959). *El hombre, el Estado y la guerra*. Editorial Nova.

La Superioridad Aérea en las políticas de seguridad y defensa de Suramérica*

| Fecha de recibido: 16 de octubre del 2019 | Fecha de aprobación: 29 de abril del 2020 |

David González-Cuenca

Magíster en Relaciones
y Negocios Internacionales

Docente e Investigador, Universidad
Militar Nueva Granada

Grupo de Investigación: PIREO

Rol de investigador: intelectual,
experimental, comunicativo

<https://orcid.org/0000-0002-6563-9193>

✉ david.gonzalez@unimilitar.edu.co

Douglas Eduardo Molina-Orjuela

Magíster en Desarrollo Rural

Docente, Pontificia Universidad Javeriana

Grupo de Investigación: GRIALI

Rol de investigador: intelectual,
experimental, comunicativo

<https://orcid.org/0000-0003-0788-9538>

✉ douglasemolina@gmail.com

* Este documento es producto del proyecto de investigación denominado “La importancia de la superioridad aérea para el Estado colombiano en el siglo xx”, a cargo del Departamento de Fuerza Aérea y financiado por la Escuela Superior de Guerra. El proyecto está adscrito al grupo de investigación Masa Crítica.

Cómo citar este artículo: González-Cuenca, D., & Molina-Orjuela, D. E. (2020). La Superioridad Aérea en las políticas de seguridad y defensa de Suramérica. *Revista Ciencia y Poder Aéreo*, 15(1), 71-86. <https://doi.org/10.18667/cienciaypoderaereo.653>



La Superioridad Aérea en las políticas de seguridad y defensa de Suramérica

Resumen: El desarrollo de las políticas de seguridad y defensa en Suramérica durante el siglo XXI ha sido un tema crítico, particularmente por las dificultades socio-económicas y las transformaciones políticas que la región ha tenido que afrontar. Este artículo realiza un análisis comparativo de las diferentes políticas de seguridad y defensa de la región. Mediante ese análisis, se propone identificar las cercanías conceptuales o estratégicas en la consecución de la superioridad aérea (objetivo fundamental en los conflictos armados). Por medio de una metodología cualitativa con enfoque descriptivo y comparativo, se analizan las políticas públicas de Suramérica, haciendo énfasis en las capacidades estratégicas en el ámbito aéreo, lo cual permite la identificación de características propias de la superioridad aérea en la formulación de dichas políticas.

Palabras clave: Políticas públicas; seguridad y defensa nacional; superioridad aérea; Suramérica.

Supremacy in South American Air Security and Defense Policies

Abstract: The evolution of security and defense policies in South America during the 21st century has been a critical issue due to the socioeconomic difficulties and the political transformations experienced in this region. Therefore, this article presents a comparative analysis of the different security and defense policies established in South American countries with the aim of identifying conceptual or strategic similarities for achieving air supremacy, the main objective in armed conflicts. By means of a qualitative methodology with a descriptive and comparative approach, public policies of South American countries on this issue are analyzed, emphasizing strategic capabilities within the air sector. This analysis allows the identification of air supremacy features for the formulation of air security and defense policies.

Keywords: Public Policies; National Security and Defense; Air Supremacy; South America.

Superioridade Aérea nas políticas de segurança e defesa da América do Sul

Resumo: O desenvolvimento de políticas de segurança e defesa na América do Sul durante o século XXI tem sido uma questão crítica, principalmente por conta das dificuldades socioeconômicas e às transformações políticas que a região teve que enfrentar. Este artigo realiza uma análise comparativa das diferentes políticas de segurança e defesa na região. Por meio dessa análise, propõe-se identificar a proximidade conceitual ou estratégica na conquista da superioridade aérea (objetivo fundamental nos conflitos armados). Através da metodologia qualitativa, com uma abordagem descritiva e comparativa, são analisadas as políticas públicas na América do Sul, enfatizando nas capacidades estratégicas no setor aéreo. Esta análise permite a identificação de características de superioridade aérea na formulação destas políticas.

Palavras-chave: Políticas públicas; Segurança e defesa nacional; Superioridade aérea; América do Sul.

Introducción

Desde la creación del avión, a principios del siglo xx por los reconocidos hermanos Wright, hasta la Teoría del Poder Aéreo, concebida por Alexander Seversky, la utilización de las aeronaves como parte de la fuerza militar de una nación ha sido crucial para lograr la superioridad frente al enemigo. Sin embargo, la verdadera demostración de una actividad estratégica fundamentada en un conjunto de aviones dispuestos para el combate bélico, se presentó solo hasta la Primera Guerra Mundial. Fue entonces, en la Gran Guerra, cuando se desarrollaron misiones de exploración aéreas que terminaron por definir su rumbo (Jordán Enamorado, 2016; Renouvin, 1990).

Las actividades desarrolladas por las fuerzas aéreas durante la Gran Guerra se enfocaron en aspectos estratégicos, tales como fotografiar la ubicación de las baterías de artillería y vigilar al enemigo para prevenir emboscadas u ofensivas clandestinas. Sus acciones más importantes estuvieron relacionadas, no obstante, con el ataque a la infraestructura enemiga más importante: los depósitos de materiales y los equipos de aprovisionamiento de las líneas ofensivas y defensivas (Renouvin, 1990).

En ocasiones, la fuerza aérea era convocada a realizar operaciones contra las tropas de a pie. Estas maniobras generaban una tal efectividad que los comandantes consideraban insignificante el costo de operación de un ataque aéreo en relación con la posibilidad de obtener victorias tempranas y mermar la moral del enemigo con pocos recursos. Así mismo, la selección del personal de aviación se convirtió en un aspecto crucial dentro de las operaciones bélicas, puesto que el mal manejo de los aviones generaba pérdidas importantes, tanto monetarias como humanas, para el desarrollo de la guerra (Giaccaglia, 2017; Saíz & Saíz, 2012).

Durante la Primera Guerra Mundial, la mayor efectividad del ejército alemán, que superó a la del ruso y el británico, se fundamentó en su capacidad aérea. Por su parte, el ejército ruso tenía una ausencia de aviación y el alemán, baja capacidad de reacción. A pesar de

haber sido derrotados en la guerra, los avances alemanes en términos aéreos produjeron un progreso en el desarrollo estratégico del poder aéreo. En este sentido, el concepto de *superioridad aérea* se refiere a uno de los factores determinantes en el desarrollo de las guerras y, por tanto, un objetivo a conseguir para garantizar la victoria definitiva.

Este artículo pretende establecer la importancia que ha tenido el concepto de *superioridad aérea* en la formulación de las políticas de seguridad y defensa nacional de los países suramericanos. Para alcanzar este propósito, se presentará una conceptualización de lo que es la superioridad aérea, la importancia estratégica que esta reviste y el reconocimiento político que se le da por medio de su inclusión en las políticas nacionales de seguridad y defensa.

Se aplica en este artículo una metodología de tipo cualitativo con énfasis en el análisis comparativo de las políticas de seguridad y defensa de los países de Suramérica. Este estudio se centra en las políticas en las cuales se identifica el concepto de superioridad aérea o las funciones propias de la Fuerza Aérea relacionadas con la consecución de dicha superioridad.

De la Superioridad Aérea a la Teoría del Poder Aéreo

Los avances tecnológicos en el área de la aviación, en primera instancia militar, pero también comercial, han sido determinantes para el desarrollo de una visión estratégica en los conflictos armados y las guerras. Esta visión estratégica se sustenta en el rol de la fuerza aérea.

Como se mencionó anteriormente, el desarrollo de la aviación militar, consecuencia de la Primera Guerra Mundial, generó una serie de necesidades relacionadas con el desarrollo de nuevas características de motores, la determinación de la posibilidad de disparar un arma atrás de las hélices, la disposición de un fuselaje resistente a las condiciones de combate y la obtención de un mejor rendimiento del combustible (Corum, 2019; Grupo Simbólico de Transporte Aéreo, 2018).

La utilización de una fuerza aérea por parte de Alemania durante la Primera Guerra Mundial, no solo trajo consigo un avance tecnológico en las herramientas a utilizar, sino que también mostró al mundo una nueva manera de realizar la guerra. Esto obligó a los estrategas a replantear sus posiciones y opciones en el frente de batalla y en la retaguardia. Debido a esta labor de los estrategas, se dio una superioridad de las fuerzas aliadas.

El concepto de superioridad aérea se refiere a la capacidad que tiene un actor de detectar mayores y mejores posibilidades en el campo aéreo, es decir, la capacidad de obtener y mantener una ventaja aérea frente al enemigo. El surgimiento del concepto de superioridad aérea representa para el campo de batalla la posibilidad de desarrollar estrategias de combate más efectivas, de menor despliegue de recursos humanos y de impactos más rápidos. Con esto, los resultados se pueden dar de un modo más eficiente y con menor desgaste.

Al finalizar la Gran Guerra, los ingenieros se enfocaron en desarrollar mejores capacidades de vuelo, lo cual representó el surgimiento de la aviación como una de las grandes industrias de la humanidad. Dentro de las capacidades de vuelo encontramos:

El alcance: en 1918 hasta los aeroplanos más livianos podían volar cientos de kilómetros; la velocidad: más de 150 km. por hora; altitud: la capacidad de volar sobre montañas, ríos y bosques, obstáculos que impedían el avance de las fuerzas de superficie; capacidad de fuego: la concentración de fuego podía dirigirse a puntos específicos en el frente de batalla o detrás de la línea enemiga; y flexibilidad: una combinación de otros atributos que permitían el uso de aeroplanos de forma rápida, en diferentes modalidades y lugares (Grupo Simbólico de Transporte Aéreo, 2018).

Así como evolucionaron las ventajas, también lo hicieron las dificultades para el desarrollo de estrategias de combate aéreo, lo cual resaltó las características negativas de este tipo de combate: la capacidad limitada para sostener un ataque por un tiempo mayor

al dispuesto para las aeronaves; efectuar los ataques bajo condiciones climáticas adversas o en la noche; la dependencia de criterios políticos para la realización de los ataques, y la imposibilidad de capturar territorios o ejercer presión sobre los mismos. Todos estos son aspectos que, para la época, dificultaron el desarrollo de planteamientos de combate basados en la superioridad aérea. Sin embargo, estas características han cambiado y las dificultades han disminuido con el desarrollo de nuevas tecnologías.

En el ámbito estratégico, las capacidades aéreas en combate se usaron para desarrollar enfrentamientos entre aviones caza. Durante el periodo intermedio entre las guerras mundiales, estrategias como Douhet y Mitchell plantearon que las acciones dirigidas a estructuras físicas enemigas, según el primero, y a estructuras físicas, sumando el combate aéreo a estas acciones, según el segundo, son las mejores para la aplicación de la superioridad aérea (Grupo Simbólico de Transporte Aéreo, 2018).

A partir de la evolución del combate aéreo y las capacidades de lucha desde el aire, la Luftwaffe alemana estructuró una estrategia, durante la Segunda Guerra Mundial, basada en la conquista de la superioridad aérea. Esta estrategia no tuvo el resultado esperado, pues Alemania perdió la guerra. La estrategia se enfocó en desarrollar acciones ofensivas de corta duración, pero que causaran grandes afectaciones a la infraestructura enemiga, y en la disminución de poder bélico terrestre y aéreo. Así, se determinó como su objetivo principal la consecución de la superioridad aérea, debido a que esta daba posiciones de observación y ataque determinantes para el avance de los frentes en combate (Andrews, 1995).

La Fuerza Aérea alemana tuvo victorias cruciales durante la Segunda Guerra Mundial, especialmente al enfrentar a las fuerzas británicas (antes de que la incursión de Estados Unidos de América diera una vuelta a la guerra en favor de las fuerzas aliadas). Según afirma el mayor Andrews, el manual de doctrina de operaciones del ejército alemán, decisivo para estas victorias, decía en 1934, “que para llevar a efecto operaciones terrestres exitosamente, uno debería

buscar establecer superioridad aérea sobre el enemigo en el momento decisivo” (Andrews, 1995). Este fue el soporte para que, en el desarrollo de otras guerras, se pretendiera emular la acción de la Luftwaffe (alcanzar la superioridad aérea) como estrategia determinante para la finalización del conflicto. No obstante, también es importante resaltar que la fuerza aérea estadounidense alcanzó la superioridad aérea a partir de la Batalla del Paso Kasserine durante la Segunda Guerra Mundial, en las operaciones en Túnez (Serrano, 2017; Widnall, 1995).

Con la finalización de la Segunda Guerra Mundial, el mundo presenció un nuevo tipo de lucha que excedió las capacidades militares tradicionales. La bomba atómica, arrojada por Estados Unidos sobre Japón desde un Boeing B-29 llamado Enola Gay (en tributo de la madre del piloto), pronosticó un rumbo diferente al que hasta ese día se había dado en las confrontaciones bélicas. La rivalidad latente entre Occidente y Oriente permitió a los analistas y pensadores de la guerra hacer un alto en el camino y visualizar el panorama. En 1950, el militar ruso Alexander Seversky inició el estudio del poder aéreo. En su indagación se determinaba que “el poder marítimo y el poder terrestre estaban en equilibrio por la guerra fría” (Giudice, 2005, p. 21). Con esta teoría, Seversky presenta una forma de eliminar las barreras en tierra, sobrepasar los denominados “Estados tapón” y controlar decididamente puertos, rutas y mares (Zuinaga, 2015).

Con la construcción de la Teoría del Poder Aéreo, Seversky dividió el mundo en tres grandes zonas aéreas:

1. La zona aérea de Estados Unidos y su espacio de reserva: América del Norte, Central y del Sur. Las tres Américas son consideradas como las reservas geográficas de la industria de Estados Unidos.
2. La zona aérea de la Unión Soviética que se proyecta hasta el África como reserva. Considera a China como zona de influencia que la distraerá hacia el Asia.
3. Zona de decisión aérea: los espacios industriales de ambas potencias; Estados Unidos y la Unión Soviética (Giudice, 2005).

A partir de la construcción que hace el teórico ruso sobre las zonas aéreas de relevancia, y de cara a nuestro estudio, debemos destacar la primera zona, la cual vincula a América del Norte con América Central y del Sur. Esta vinculación es reafirmada por el desarrollo geoestratégico que presentó Estados Unidos a partir del *New Deal*, por la política de buena vecindad fomentada hacia América Latina desde mediados del siglo xx, e incluso por la exposición de una política de seguridad y defensa hemisférica de la mano de la Doctrina Truman y la lucha contra el narcotráfico, que se mantiene hasta hoy.

La aviación y las capacidades bélicas aéreas en América Latina han tardado en desarrollarse. Sin embargo, el avance decidido de la aviación argentina, chilena, brasileña y colombiana, esta última por cuenta de diferentes conflictos, ha sido relevante para considerar de vital importancia un análisis de las condiciones de superioridad aérea en la región. La industria de aviación militar en Brasil, una de las más desarrolladas del mundo, diferentes hitos establecidos por la participación de la Fuerza Aérea de Colombia en el conflicto armado interno, y las relaciones de Venezuela con Rusia en términos del abastecimiento de flotas aéreas de gran capacidad, son factores que se deben analizar desde el punto de vista de la toma de decisiones. Es decir, deben analizarse las estrategias, actividades o doctrinas al interior de cada país como parte de la formulación de las políticas de seguridad y defensa nacionales enfocadas en lograr la disuasión¹ y contención mediante la superioridad aérea.

1 Se considera que la disuasión es una de las más importantes teorías de la seguridad y defensa nacional, categoría que se encuentra en los estudios de relaciones internacionales y que ha sido promovida por Estados Unidos a partir de la creación y utilización de armas termonucleares de destrucción masiva. El concepto de disuasión está relacionado con la prevención de conflictos armados y la demostración de poder frente al contrincante. En este sentido, la disuasión se define como “[...] la amenaza de recurrir a la fuerza, en proporción capaz de causar daños difícilmente asumibles, con el objeto de evitar un ataque” (Reyes Segovia & Urbina Rodríguez, 2014, p. 36, citando a Sodupe, 1991).

Las políticas de seguridad y defensa nacionales en Suramérica

El desarrollo de las políticas públicas en Suramérica, por tradición y con contadas excepciones, se ha presentado en un marco de dependencia con respecto a Estados Unidos, como máximo influenciador. Su influencia viene de la consecución de su estatus de potencia mundial tras la Segunda Guerra Mundial. Hay que tener todo lo anterior en cuenta, especialmente si se pretende analizar las políticas de seguridad y defensa, principales intereses del país del Norte de la región.

A partir de 1945, la política exterior estadounidense fijó su mirada en Suramérica. En particular, esta política estaba guiada por las pretensiones de ejercer control sobre la región para evitar la expansión del comunismo en el hemisferio occidental. Con este interés, se propagó un discurso pan-americanista que tuvo su demostración en la renombrada IX Conferencia Panamericana, realizada en Bogotá, Colombia. En la conferencia se firmó la carta de la Organización de Estados Americanos, que dio origen a dicha organización internacional en 1947.

En el transcurso de la Guerra Fría, y como resultado del fuerte poder económico adquirido por Estados Unidos al terminar la Segunda Guerra Mundial, su política exterior se basó principalmente en controlar de manera política y disciplinar a los gobiernos de América Latina (Aguirre, 2006). Sus intereses en cada uno de los países variaron de tiempo en tiempo. Como nunca antes, los países del hemisferio se comprometieron de diversas maneras a ofrecer su apoyo incondicional a la potencia del Norte en caso de una guerra con la Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS). La confrontación diplomática, y en ocasiones la confrontación militar con Cuba y algunos países centroamericanos, se mantuvieron como constante. En todo este proceso de confrontación, Estados Unidos tuvo como máximo respaldo a Colombia, socio-estratégico y reproductor de los intereses del gigante del Norte en la región.

Debido a la lucha contra el comunismo, la influencia estadounidense en la región estuvo determinada

por la participación de fuerzas de inteligencia. Tales son los casos del ascenso de Augusto Pinochet al poder en Chile o la invasión a Bahía de Cochinos, entre otros. Estas acciones propiciaron el surgimiento en algunos gobiernos con marcadas políticas anti-norteamericanas y anti-imperialistas que pretendían, y pretenden aun en la actualidad, determinar políticas de seguridad y defensa no adscritas al criterio de Washington. En ocasiones, la reticencia de otros gobiernos, que no quieren alejarse de dicho paradigma, ha provocado distorsiones en las relaciones y la seguridad de la región (Peixoto de Oliveira, 2014).

Pero el comportamiento de las agendas de seguridad y defensa en la región suramericana ha venido evolucionando. Con la llegada del siglo XXI, muchos gobiernos han optado por la modernización de sus tropas y equipos, y han puesto un gran énfasis en las fuerzas de aire, interpretando que ellas proveen una ventaja en teatros de confrontación bélica. Este énfasis también se debe a comportamientos macroeconómicos importantes, como el incremento del nivel de renta proveniente de la explotación de hidrocarburos y de la minería.

Las economías de Suramérica son más ricas actualmente, a pesar de los altos índices de desigualdad que presenta la región (Fitzgerald, 2009). Adicionalmente, “los ingresos per cápita son considerablemente más altos de lo que eran a comienzos o mediados del siglo pasado” (Sanguinetti & Villar, 2012). Lo anterior ha favorecido el incremento del gasto en defensa por parte de los gobiernos. Los constantes reproches de los ciudadanos por este gasto, sin embargo, han privado a los países de la posibilidad de adquirir más y mejores equipos de alta tecnología para el desarrollo de combates aéreos, o para repeler los mismos.

A partir de la anterior conceptualización, y resaltada la importancia que tiene la superioridad aérea como parte fundamental de los objetivos de una política de seguridad y defensa nacional en términos de contención y disuasión, se realizará un análisis de las políticas en Suramérica y de las capacidades que ellas dan a sus fuerzas aéreas para asegurar la superioridad aérea:

Argentina

Con el final de la dictadura y el comienzo de un nuevo milenio, se dio en Argentina una discusión en torno a cuál sería el papel que jugarían las fuerzas armadas en la protección de las fronteras nacionales y la población. Esta discusión llevó al establecimiento de varias leyes y decretos que determinaron la política militar del país, la cual incluye a las fuerzas aéreas. Durante dicho periodo, la nación del Sur tenía una fuerza aérea en deterioro, pequeña en comparación con la calidad y cantidad de material aéreo de combate disponible. Sin embargo, la Fuerza Aérea argentina ha podido ser gestionada, gracias a la alianza del país con la OTAN, con equipos que de alguna manera no han sido tan efectivos por causa de la crisis económica (Pizarro, 2002; Piglia, 2018).

No obstante, Simonetta (2016) afirma que, ante el fin de la actividad de los aviones supersónicos, “el servicio de defensa del espacio aéreo argentino quedó sin prestación”. Esto a pesar de que en el 2001 se realizaron los operativos Escudo Norte y Fortín I y II, cuyo objetivo era incrementar la vigilancia y el control de los espacios aéreos, fluviales y terrestres en las fronteras del norte argentino. Para ello, se usaron radares y recursos militares en articulación con las fuerzas de seguridad (Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, 2016).

Con relación a la política pública de seguridad y defensa nacional, Argentina cuenta desde 1998 con el Libro Blanco de la República Argentina. En este libro no se encuentra ninguna referencia directa o indirecta a la construcción de superioridad aérea. Sin embargo, las funciones que se le otorgan a la Fuerza Aérea se presentan dentro de categorías genéricas como la vigilancia y control del espacio aéreo o la defensa y el desarrollo de misiones estratégicas, tácticas y de transporte (Ministerio de Defensa Nacional de Argentina, 1998).

Por último, como se mencionó anteriormente, la participación militar interna en Argentina ha sido motivada por la potencia del Norte. No obstante, esta potencia ha replanteado en la actualidad sus prioridades,

enfocándose en amenazas internas tales como el terrorismo y el narcotráfico; esta última cuestión se considera la más importante.

Bolivia

El país andino es uno de los tantos que ha escatimado esfuerzos y recursos para conseguir una flota de combate aéreo importante. Gran parte de su flota proviene del apoyo de Estados Unidos, que les ha brindado helicópteros y otras naves con el objetivo de combatir el narcotráfico (Pizarro, 2002).

Para el 2004, el Gobierno boliviano expidió el Libro Blanco de Defensa, el cual se sustenta en criterios de disuasión, cooperación, prevención y persuasión. Este libro, más allá de presentar el marco histórico de la creación de la Fuerza Aérea con la pretensión de consolidar un poder aéreo nacional, no hace mayor referencia al objetivo de la superioridad aérea. Las actividades básicas de la Fuerza Aérea boliviana son el ejercicio de caza y táctico, así como labores de transporte y de policía (Ministerio de Defensa de la República de Bolivia, 2004).

Cabe resaltar que el Ministerio de Defensa de Bolivia (2004) muestra en el documento un gran reconocimiento a la labor que, en términos de desarrollo nacional, ha realizado la Fuerza Aérea boliviana. Esta es presentada como un gran apoyo para las actividades de integración de las regiones más apartadas, dadas las condiciones adversas de la geografía.

Brasil

La política de seguridad y defensa brasileña, plasmada en el Libro Blanco del 2012, es una de las más completas de la región, pues refleja la concepción estratégica y militar utilizada actualmente por la potencia regional. Esta política se caracteriza por incluir elementos innovadores, expresados en un mayor impulso político y transparencia en los objetivos dispuestos. Esto se suma a una tradición marcada por la persistente influencia del pensamiento militar en áreas particulares (Vitelli, 2015).

Dentro de la política de seguridad y defensa, la fuerza aérea ha sido uno de los ámbitos más relevantes. Brasil cuenta con una importante industria aeronáutica militar, una de las más poderosas en el hemisferio. Además, hay una articulación con los órganos de gobierno y los poderes políticos, la cual ha sido fundamental para generar una política coherente y pertinente para la realidad del país y el contexto internacional en el que se desenvuelve.

La cooperación para el desarrollo de tecnologías de combate aeronáutico, por ejemplo, con Sudáfrica y Paraguay, ha sido de gran importancia en los planteamientos políticos y militares del gobierno. Así mismo, ha sido central el desarrollo de acciones estratégicas en el sector espacial. Por tal razón, el país ha desarrollado una política nacional de desarrollo aeroespacial (Gobierno de la República Federativa de Brasil, 2012).

Al igual que otros países de la región, el concepto de superioridad aérea no aparece en la caracterización de los objetivos de importancia en la política brasileña. Sin embargo, la política brasileña es una de las pocas del hemisferio que contempla no solo la posesión de equipos, sino un planteamiento táctico-estratégico para la defensa de amenazas aéreas mediante la implementación de baterías antiaéreas al mando de una División Aérea y un Batallón Aero-táctico. Igualmente, más allá de plantear operaciones conjuntas, se desarrolla una política para llevar a cabo ejercicios de defensa naval para contrarrestar amenazas aéreas (Hadmann, 2019; Gobierno de la República Federativa de Brasil, 2012).

En función de la dimensión del país, la Fuerza Aérea de Brasil tiene un objetivo bastante complejo: asegurar y garantizar la protección del territorio. Esto ha requerido un desarrollo técnico, tecnológico, táctico y estratégico reflejado en el Libro Blanco de Defensa Nacional. Es loable que, en este marco, los escenarios de la política se planteen de manera coherente y específica frente a las amenazas que internacionalmente se presentan como retos. Por tal razón, la política brasileña otorga la importancia pertinente a la fuerza. Esto permite pensar que se identifica implícitamente a la superioridad aérea como una herramienta clave en de la formulación de la política pública.

Chile

Para el 2010, el Gobierno chileno publicó el Libro Blanco de la Defensa. A diferencia de otros países, en este libro se establecen concretamente las pretensiones de garantizar la seguridad del territorio a través del reconocimiento del espacio aéreo por controlar y de la función de la defensa aérea. En esta política se presenta por primera vez en la región una posición clara con respecto al control de la Antártida. Para ello, se establecen bases y estaciones operadas en conjunto por las Fuerzas Armadas, lo que fortalece la seguridad y el control sobre las rutas transpolares (República de Chile, 2010).

La necesidad de contar con una infraestructura terrestre, como apoyo a las operaciones aéreas, que sea acorde con las condiciones geográficas longitudinales del país se presenta como un factor estratégico relevante. En esto, la política chilena difiere de otras que conciben a la Fuerza Aérea como un apoyo de las fuerzas de tierra. Chile establece así un precedente para analizar el entendimiento y desarrollo de la superioridad aérea en Suramérica.

Según lo establece el Libro Blanco de la Defensa en el capítulo XIII, el Gobierno chileno considera que la Fuerza Aérea interpreta, dentro del teatro de operaciones, el papel de consolidación de una capacidad fundamentada en el poder aéreo. Este poder

pone el acento en el elemento de fuerza, pero se trata de un concepto que participa de la noción más general de “poderío aeroespacial” nacional y, por lo tanto, la función de control también asume un alcance mayor que el control operacional (República de Chile, 2010, p. 179).

El control aeroespacial es un concepto fundamentado en el concepto de poder aéreo que, como ya se mencionó, se basa en la consecución de la superioridad aérea. Esto nos permite determinar que hay una relación directa entre este concepto estratégico y las políticas de la nación austral. Por esta razón el documento mencionado tiene un acápite completo sobre el

entendimiento del concepto de poder aéreo y su aplicación en el territorio nacional chileno.

El “poder aéreo” es el elemento de fuerza del poderío aeroespacial que se emplea en el espacio de batalla para hacer uso de este en beneficio propio y negárselo al adversario. Está representado por la suma de los sistemas de armas que emplea la Fuerza Aérea para combatir al enemigo e incluye todas las actividades de apoyo necesarias para su empleo y el personal instruido para operarlos (Siminic Ossio, 2018).

El poder aéreo tiene la capacidad de actuar en la profundidad del espacio de batalla. Es decir, por sus características, el poder aéreo puede realizar operaciones individuales, en el sentido de que sólo implican medios aéreos, pero en apoyo al objetivo estratégico conjunto final. Entre las características del poder aéreo se destacan la capacidad de graduar su aplicación, su rápido despliegue a teatros distantes, la posibilidad de potenciar las fortalezas de las fuerzas propias y explotar las debilidades del adversario.

El poder aéreo está constituido por elementos que permiten potenciar sus resultados. Algunos de ellos son los siguientes: un sistema logístico capaz de apoyar a la fuerza en forma sostenida, oportuna, en la cantidad y con la calidad requerida; una inteligencia precisa y oportuna para la definición de la estrategia aérea y la correcta selección de blancos; finalmente, un sistema de mando y control que permite el mando único y el control centralizado para la ejecución descentralizada de las operaciones aéreas.

Se destaca que las condiciones para realizar operaciones conjuntas, gracias al desarrollo de actividades aéreas, muestran el desarrollo chileno en comparación con la región. En las actividades aéreas, la aviación naval, de ejército y la Fuerza Aérea cooperan decididamente en el desarrollo de operaciones expedicionarias. Se destaca que la aviación naval ha desarrollado, al igual que en Brasil y Argentina, una escuadra de ataque con presencia internacional basada en el poder naval. Esta escuadra se puede extender hacia la región de Asia y el Pacífico (Pizarro, 2002).

Colombia

La participación del componente de defensa nacional en el presupuesto colombiano, ha sido determinada por las particularidades del país en seguridad interna (con un constante conflicto armado) y por las repercusiones que la situación de seguridad nacional ha tenido en la región y en el hemisferio (especialmente debido a la expansión del narcotráfico). Estas condiciones han sido determinantes desde finales del siglo xx, lo que ha propiciado un incremento constante en el presupuesto destinado a la defensa nacional desde ese entonces.

La participación o cooperación con países fronterizos para apoyar la lucha contra los dos principales problemas de seguridad ha sido poca. La región no se ha involucrado directamente en apoyos o acciones militares conjuntas para abordar las amenazas, que son compartidas en muchos escenarios. La excepción más notable es Estados Unidos, que, por cuenta de sus pretensiones en la región, ha tenido a Colombia como principal socio en la seguridad hemisférica de la región.

A partir de 1999, debido a las relaciones bilaterales entre Colombia y Estados Unidos, y las posibilidades que estas relaciones generaban para expandir su poder en términos de seguridad y defensa nacional, Colombia empezó a recibir un apoyo económico para la lucha contra el narcotráfico; este apoyo se denominó Plan Colombia. Con el Plan, se fortalecieron las capacidades militares, se establecieron protocolos de formación y se desarrollaron nuevos procesos enfocados en la finalización del conflicto. Desde ese momento, el conflicto quedó relacionado con el narcotráfico, por ser esta la principal fuente de financiación de los grupos alzados en armas.

El Plan Colombia pone entonces su atención en el narcotráfico. Se relaciona así esta problemática con el surgimiento y permanencia de grupos al margen de la ley. Según Ochoa (2013), esto termina por simplificar las causas del conflicto interno armado y desconoce las debilidades sociales del país, tales como la exclusión política y la inequidad; estas últimas hacen parte de las causas que dieron origen al conflicto. En

consecuencia, siguiendo su motivación principal, el Plan desarrolla un programa para la erradicación de cultivos ilícitos, además de otras acciones que no guardan relación directa con la superioridad aérea.

Para el 2011, el Ministerio de Defensa Nacional de Colombia publicó la Política Integral de Seguridad y Defensa para la Prosperidad. Esta es una aproximación de política pública en el tema de seguridad y defensa nacional, pero no ahonda en la construcción estratégica o conceptual de proyecciones doctrinales para las actividades de las fuerzas armadas ante las amenazas latentes. Más allá de ser un documento preliminar, ligado a una política gubernamental, y que demarca el escenario para un futuro planteamiento de una verdadera política de seguridad y defensa nacional, esta política no presenta mayores aportes para enfrentar las condiciones de seguridad que vive la nación colombiana.

Aunque Colombia carece de una política de seguridad y defensa nacional, el documento comentado presenta dentro de sus objetivos y estrategias sectoriales un factor importante para el eventual desarrollo de una política que tenga la superioridad aérea como objetivo principal: “avanzar hacia un sistema de capacidades disuasivas creíble, integrado e interoperable” (Ministerio de Defensa Nacional, 2011). Esto abre el camino para desarrollar capacidades que garanticen la soberanía, y para desarrollar el combate con el objetivo de lograr la superioridad aérea.

Más allá de la política documental, después de la implementación del Plan Colombia, el país tiene una de las mejores flotas de helicópteros de la región para la lucha contra el narcotráfico, y también ha conseguido aviones de reconocimiento, ataque y control. Todos estos logros contribuyen al mejoramiento de las capacidades aéreas, las cuales son uno de los eslabones de la superioridad aérea. Sin embargo, el grueso de los equipos que componen la defensa aérea está a punto de finalizar su ciclo de uso. Por esta razón es necesario iniciar una renovación completa de la flota (Pizarro, 2002).

Una de las versatilidades de tener un poder aéreo fortalecido en un país como Colombia, es que posibilitará la capacidad de llegar a los rincones más

alejados de la geografía Colombiana. Al hacer este tipo de ejercicios, mejoraría las relaciones cívico-militares, mediante el acceso a brigadas de salud y logística de transporte de alimentos y medicamentos. Este tipo de acciones, sin lugar a dudas mejoraría la confianza y el tejido social de la sociedad civil con el estamento militar.

Ecuador

En el 2005, Ecuador publica el Libro Blanco del Ecuador. Este se refiere puntualmente a la relación entre la política de defensa nacional y la política exterior, fomenta la cooperación en función de la paz y la seguridad del territorio. Como objetivo estratégico, se resalta la necesidad de ejercer control del espacio aéreo a partir del desarrollo de operaciones aéreas, tanto de combate como de transporte, rescate y defensa aérea (Tapia & Gavino, 2019; República del Ecuador, 2005).

El Libro Blanco del Ecuador no contiene referencia alguna al concepto de superioridad aérea. No obstante, en el aspecto táctico se reconoce a la Fuerza Aérea como una de las más profesionales de la región, especialmente tras la victoria de esta fuerza sobre Perú en la denominada Guerra del Cóndor. A pesar de ello, esta guerra tuvo un aspecto negativo, pues conllevó a un embargo de armamento por parte de Estados Unidos, lo que limitó la evolución aérea del Ecuador que le pudiera garantizar la superioridad aérea (Pizarro, 2002).

Paraguay

La primera política de seguridad y defensa de toda la región es la Ley 1337 de 1998 de Defensa Nacional y Seguridad Interna del Paraguay. En esta ley se establecen los objetivos y recursos para garantizar la seguridad nacional. Se incluye la política militar y se tienen en cuenta “la totalidad de las potencialidades nacionales e institucionales, con relación a las necesidades de la defensa nacional” (Congreso de la Nación Paraguaya, 1998).

Lo más novedoso de esta ley es la creación del Consejo de Defensa Nacional. Este es el principal órgano asesor y consultivo para afrontar las situaciones de

defensa nacional, sin desconocer la facultad principal del presidente como decisor de la política. Aunado a ello, se reconoce la *movilización nacional* como aquellas “previsiones y acciones emprendidas por el Estado durante la vigencia del Estado de Defensa Nacional con el objeto de optimar el poder nacional requerido para la defensa nacional” (Congreso de la Nación Paraguaya, 1998). Esta movilización es un bastión para el desarrollo de las potencialidades integradas de la nación en función de su defensa, y vincula tanto a la Fuerza Armada como a las instituciones públicas y a los ciudadanos en torno a un interés nacional de defensa, en caso de un conflicto armado internacional.

Esta ley hace evidente la importancia que el Estado da al control naval, en términos del desarrollo de capacidades de la Armada y los objetivos de navegabilidad de sus ríos. Esto deja entrever una primacía de los objetivos náuticos sobre los aéreos. Sin embargo, esta primacía no siempre se aparta del concepto de superioridad aérea, pues en el ejercicio de acciones conjuntas, y debido a una geografía conformada ríos y mares, la cooperación entre las fuerzas aérea y naval es crucial para su buen término, y eventualmente para la consolidación de la superioridad aérea.

Pizarro (2002) resalta la precariedad en la que se encuentra la Fuerza Aérea paraguaya. Destacar, sin embargo, que el interés por cambiar esta situación ha crecido recientemente y se ha venido trabajando para adquirir una superioridad aérea mediante la compra de diferentes aeronaves de gran capacidad bélica. La compra de estas aeronaves, en sí misma, no garantiza una mejora inmediata de la fuerza aérea, más aún si se carece de un ordenamiento de presupuesto coherente con las pretensiones legales. Sumado a esto, la clase dirigente del país no da un gran respaldo al desarrollo de capacidades aéreas.

Perú

Desde la expedición y posterior publicación del Libro Blanco de Defensa Nacional del Perú, en el 2004, ha habido múltiples avances en la construcción de políticas públicas en torno a la seguridad y la defensa. El Libro Blanco peruano es el marco normativo y estratégico

que organiza al sector de defensa. Representa los intereses de la nación de proteger el territorio, garantizar la soberanía y la seguridad de la población. Dentro de los aspectos más relevantes de esta política marco, está el desarrollo de la Reserva Aérea Nacional y la delegación de actividades tendientes a establecer capacidades en el escenario aeroespacial a la Fuerza Aérea (Navarrete Anderson, 2019; Ministerio de Defensa del Perú, 2005).

Al igual que en otros países de la región, el narcotráfico ha determinado muchas de las acciones de desarrollo de capacidades militares. Perú ha puesto un especial énfasis en la consecución de capacidades aéreas en función de la interdicción aérea de las actividades del narcotráfico. De igual manera, Perú ha prestado una gran atención al análisis y la proyección de capacidades aéreas y antiaéreas. Esto nos presenta una aproximación a la concreción de la superioridad aérea desde la planeación estratégica, que apoya la reestructuración y modernización del Estado.

Cabe señalar que el Libro Blanco de Defensa Nacional determina puntualmente las capacidades de la Fuerza Aérea. Estas funciones incluyen el control aeroespacial, la superioridad de la información, las operaciones de precisión y la movilidad aérea eficaz; en conjunto, tienen el objetivo de dar al Estado una gran posibilidad de lograr la superioridad aérea por cuenta de la implementación táctica de los recursos estratégicos y de la adaptabilidad material de la fuerza bélica en un escenario de conflicto (Ministerio de Defensa del Perú, 2005).

La participación de la Fuerza Aérea Peruana en ejercicios de cooperación y en acciones conjuntas internacionales es destacable. Además, se resalta la participación en conflictos internacionales como el acaecido en Irán e Iraq a finales de la década de 1980, en Namibia en la misma época, en Sierra Leona en el 2000 y en Haití, con cuarenta y tres efectivos de la Fuerza Aérea. También se destaca la participación de este país en ejercicios de cooperación, como las operaciones UNITAS; ejercicios con Brasil, Chile y Ecuador en “detección, identificación e interceptación de aeronaves, ejercicios combinados para atender a la población en caso de desastres naturales y ejercicios de búsqueda y rescate” (Ministerio de Defensa del Perú, 2005).

La evolución de la política pública peruana de seguridad y defensa nacional es de las más destacadas de la región. Si bien el Libro Blanco no fue publicado recientemente, el Estado ha seguido desarrollando ejercicios de actualización por medio de la expedición de varios decretos supremos y planes. En el 2011, por ejemplo, se expidió el Plan Estratégico de Desarrollo Nacional. Este plan vincula los conceptos de operatividad y eficacia del sistema planteado en el Libro Blanco para garantizar la defensa de los intereses nacionales (Presidente de la República del Perú, 2018).

En el 2007, se promulgó el Decreto Supremo 027. Dentro de sus lineamientos más relevantes, este decreto establece la participación activa de diferentes sectores en el cumplimiento de los objetivos de la política de seguridad y defensa. El Decreto Supremo 027 se apoya en el Decreto Legislativo 1129, que formula la creación y funcionamiento del Consejo de Seguridad y Defensa Nacional y lo presenta como el órgano decisivo principal en el sector. Todo lo anterior fue aprobado por el Decreto Supremo 012 del 2017.

Mediante este último decreto, el Estado peruano establece como principales objetivos la protección de la Amazonía, la presencia en la Antártida y la lucha contra la minería ilegal. Incluye además las luchas contra el terrorismo y el narcotráfico como ejes de acción estratégicos. Como aspecto diferenciador, esta política presenta una posición formal con respecto al concepto de identidad nacional. Presenta además un marco ampliado, multidimensional, del ejercicio de la seguridad y la defensa nacional, en el cual se articulan conceptos como el desarrollo económico, la lucha contra la pobreza, la desnutrición infantil y los conflictos sociales, entre otros. Esta articulación representa una verdadera innovación en comparación con otras políticas de la región (Presidente de la República del Perú, 2018).

La relación entre, por una parte, los sectores de seguridad y defensa y, por otra parte, la política y la rama judicial se destaca en la política del Perú. Esta política establece acciones determinantes para garantizar el logro de los objetivos de interés nacional, amenazados por la corrupción. En cuanto a la capacidad y superioridad aérea, no se hace referencia a esta en el documento.

En la misma línea, el presidente de la red táctica Consulting Services de Washington, José Miguel Pizarro Ovalle (2002), presenta a Perú como “probablemente la fuerza aérea de combate más poderosa de la región” en su informe “Poder Aéreo en América del Sur”. Este juicio se basa en las condiciones de la flota de combate aéreo y los equipos de inteligencia aérea y baterías antiaéreas que posee Perú, provenientes de Rusia en su mayoría. Así pues, la Fuerza Aérea del Perú, junto con la de Brasil, se encuentra en la cima en cuanto a las posibilidades de obtención de superioridad aérea en la región.

Uruguay

La Política de Defensa Nacional del Uruguay, formulada en el 2014, se plantea a raíz de la política de gobierno denominada *Un Uruguay integrado en la región y abierto al mundo*, liderada por el presidente José Mujica. En este documento se pretenden integrar los conceptos de seguridad y defensa a los objetivos de desarrollo de la nación. Se plantean así objetivos a mediano y largo plazo con la vocación de construir una política estatal de seguridad y defensa nacional.

En ese sentido, el gobierno y las instituciones del Estado hacen un gran esfuerzo por vincular a la ciudadanía y a los diferentes actores sociales en el logro del objetivo común (la defensa nacional). La Política fue materializada por medio de la Ley Marco de Defensa Nacional n.º 18 650. Allí se plasman los diferentes intereses nacionales que se quieren proteger con la eficiencia en la utilización de los recursos a disposición y con el desarrollo de potenciales multidimensionales (Gobierno de la República Oriental del Uruguay, 2014).

Como aspecto diferenciador del resto de las políticas aquí analizadas, la del Uruguay presenta un perfil absolutamente integrador con la región. Este perfil viene no solo del establecimiento de la política gubernamental de donde nace, sino de la filosofía propia de la política uruguaya. En ella, la seguridad regional se presenta como la base articuladora de la seguridad pública y la defensa militar. Se defiende que “la integridad territorial, la soberanía, y la paz del Uruguay, demandan un escenario de estabilidad y equilibrio en las relaciones interestatales” (Gobierno de la República

Oriental del Uruguay, 2014). A partir de este postulado se fomenta la cooperación estratégica con las naciones de la región y se determina que este es el fundamento de la seguridad y la defensa nacional.

En esta política se presenta acertadamente la consideración de que las amenazas pueden venir del ámbito internacional. Por ello es necesario incentivar la cooperación interestatal para el desarrollo de procesos de integración con el fin de mantener la seguridad de la nación y de la región. Esto garantiza la salvaguarda de un espacio común (Gobierno de la República Oriental del Uruguay, 2014).

Por tanto, la República del Uruguay presenta una disposición de acción muy cercana a la Unión de Naciones Suramericanas (UNASUR). Sin embargo, desde su creación, las políticas nacionales no han reflejado la unidad que esta Unión supondría. En todo caso, se puede identificar un marco de diálogo al interior del Consejo de Defensa Suramericano (CDS). Esta institución permitirá afianzar los lazos de cooperación entre los ministerios de defensa de la región y construir agendas de seguridad y defensa comunes. En este sentido, la Política de Defensa Nacional del Uruguay califica al CDS como “de alto valor geopolítico por su impacto geoestratégico para la preservación de los recursos naturales estratégicos y la biodiversidad y la consolidación de Sudamérica como zona de paz y cooperación (Gobierno de la República Oriental del Uruguay, 2014).

Más allá de resaltar los valores tácticos o estratégicos de la operatividad de las fuerzas armadas, esta política presenta como valores superiores los escenarios de integración en el campo de la seguridad. Estos valores están representados en la creación del Centro de Estudios Estratégicos de la Defensa o en la creación de una industria militar regional. En este documento no se presentan criterios referentes a la superioridad aérea, sino que se caracterizan puntualmente los intereses nacionales, las amenazas y los escenarios que pueden amenazar dichos intereses.

Venezuela

La Asamblea Nacional de la República Bolivariana de Venezuela, expidió en el 2002 la Ley Orgánica de

Seguridad de la Nación. Esta ley se fundamenta en los principios de integralidad del desarrollo y la seguridad multidimensional. Se destaca la vinculación de la sociedad civil, considerando las diferentes condiciones sociales de sus pobladores, y la inclusión de los pueblos indígenas, incluso. Este es un aspecto que otras naciones no consideran (Asamblea Nacional de la República Bolivariana de Venezuela, 2002).

En sus planteamientos no hay una referencia clara a las condiciones, características o disposiciones que deben cumplir las Fuerzas Armadas. Tampoco se entrevé una pretensión de lograr la superioridad aérea como eje central de la estrategia de seguridad y defensa nacional. En este sentido, no existe mucha claridad sobre el poder aéreo de la Fuerza Aérea venezolana, especialmente con la situación socio-política que afronta este país desde hace ya varios años.

Sin embargo, la adquisición de diferentes aeronaves de alta capacidad bélica, por las fuertes relaciones entre Rusia y Venezuela en las últimas dos décadas, ha permitido a este país reforzar y fortalecer su capacidad aérea. Venezuela muestra un comportamiento tendiente a la consecución de la superioridad aérea, especialmente frente a Colombia y a Estados Unidos, países a los que la presidencia venezolana considera como la principal amenaza a su seguridad nacional.

Conclusiones

En términos generales, se puede observar que el desarrollo de políticas públicas de seguridad y defensa nacional en América del Sur ha sido poco. Pese a que las estructuras de seguridad y defensa están consolidadas a lo largo y ancho del continente, los soportes legales de estas aún se encuentran en construcción. Además, la gran mayoría de leyes o decretos sobre defensa nacional tiene más de diez años de antigüedad, lo cual indica un atraso o la poca importancia del tema.

En este mismo sentido, se identifica que la gran mayoría de las políticas analizadas corresponden a posiciones gubernamentales y no estatales. Esto disminuye la probabilidad de continuidad de las agendas de

seguridad y defensa. Junto con los procesos socio-políticos que ha afrontado la región en los últimos veinte años, la falta de continuidad de las políticas hace prever que habrá una precariedad en las condiciones para aplicar los conceptos estratégicos del poder aéreo. Frente a la homogénea situación de seguridad y defensa de la región, en la que las principales amenazas son el narcotráfico, el terrorismo, el crimen organizado y las condiciones socio-económicas de la población, las legislaciones no muestran la homogeneidad y multidimensionalidad necesarias.

Es poco el análisis de las condiciones en las que se encuentran las diferentes políticas públicas que hay en la región. Esto se debe principalmente a la ausencia de un direccionamiento estatal del planteamiento estratégico. En vez de esto, se encuentran las diferentes pretensiones de gobierno, lo que indica una fluctuación de los intereses y de las condiciones de aplicación de la política con cada cambio de gobierno.

Es necesario precisar que no se ha identificado con claridad o suficiencia el reconocimiento de la importancia de la superioridad aérea en el mundo, y de su conceptualización en el continente suramericano, por parte de los decisores políticos. Quienes formulan las políticas en el área del poder aéreo están en la necesidad de establecer como prioridad, eje o pilar estratégico, la superioridad aérea. Esta es una herramienta clave de disuasión y contención de las amenazas en los escenarios de conflictos armados inter e intra-estatales.

Sin embargo, los casos de Brasil, Chile, Venezuela y Colombia nos permiten inferir algunos criterios que definen al concepto de superioridad aérea. Así pues, la actuación de las mismas fuerzas militares, y en especial las fuerzas aéreas, de estos países se ha desarrollado sobre el supuesto de la importancia de conseguir la superioridad aérea.

Más allá de identificar que en ninguna de las políticas analizadas se hace referencia a la superioridad aérea, o que el desarrollo armamentístico en el escenario aeronáutico es evidente y que de allí se desprende la hipótesis de que sí hay una lucha por el objetivo de la superioridad aérea, se debe resaltar que existe la necesidad primaria de reformular muchas de las políticas

públicas en Suramérica enfocadas en la seguridad y defensa. Es necesario alejar esas políticas de pretensiones gubernamentales y elevar la seguridad y la defensa a la categoría de interés estatal, con miras a la salvaguarda de los intereses nacionales. La prioridad debe ser realizar una construcción colectiva no solo de visiones, sino de las mismas políticas, de planteamientos estratégicos regionales, para fortalecer la lucha contra las amenazas que se deben afrontar.

Esto nos lleva a plantear la necesidad de consolidar escenarios de discusión regional para fomentar la cooperación en seguridad y defensa. Igualmente, debemos resaltar la necesidad de propender por la seguridad multidimensional ante las amenazas y para garantizar los intereses nacionales. En este aspecto, se destaca la política del Uruguay. Esta puede servir de inicio para la construcción de escenarios de seguridad multidimensional y ser un ejemplo de que una política pública puede atender a un interés colectivo regional si se proponen y apoyan los escenarios idóneos para que los interlocutores tengan la confianza necesaria y desarrollen coherentemente los procesos que garantizan la seguridad.

A pesar de las falencias en la consolidación de los criterios propios del poder aéreo, el avance y actualización constante de las políticas de seguridad en la región son el primer paso para lograr la consolidación de una política de defensa y seguridad regional. Dentro de esta política, la superioridad aérea debe ocupar un lugar importante con el fin de garantizar la paz y seguridad, no solo de cada uno de los países, sino de la región en su conjunto.

Referencias bibliográficas

- Aguirre, L. M. (2006). Las relaciones entre América Latina y Estados Unidos: balances y perspectivas. En A. Borón y G. Lechini, *Política y movimientos sociales en un mundo hegemónico* (pp. 37-50). Consejo Latinoamericano de Ciencias Sociales.
- Andrews, W. F. (1995). The Luftwaffe and the Battle for Air Superiority. Blueprint or Warning? *Air Power Journal*, 9(3),

- 6-15. <https://dialnet-unirioja-es.ezproxy.javeriana.edu.co/servlet/articulo?codigo=6967091>
- Asamblea Nacional de la República Bolivariana de Venezuela. (2002). *Ley Orgánica de Seguridad de la Nación*. Asamblea Nacional de la República Bolivariana de Venezuela.
- Congreso de la Nación Paraguaya. (1998, 11 de abril). *Ley 1337 de 1998*. De defensa nacional y seguridad interna. <https://pdba.georgetown.edu/Security/citizenssecurity/paraguay/leyes/1.pdf>
- Corum, J. S. (2019). Los teóricos de la guerra aérea (1918-1939). *Desperta Ferro: Contemporánea*, 34, 62-65. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6967091>
- Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales. (2016, octubre). *La riesgosa política del gobierno para las fuerzas armadas*. http://flacso.org.ar/wp-content/uploads/2016/10/la_riesgosa_politica_del_gobierno_para_las_ffaa.pdf
- Fitzgerald, V. (2009). La distribución de ingresos y rentas en América Latina durante el siglo xx: un estudio inicial. *Cuadernos Económicos Revista ICE*, 78, 29-59. <http://dx.doi.org/10.15446/cuad.econ.v36n72.65819>
- Giaccaglia, C. (2017). *Las nuevas teorías del poder aéreo y su influencia en el diseño de la campaña: evolución de los conceptos de Boyd y Warden*. <http://www.cefadigital.edu.ar/bitstream/1847939/1133/1/RESGA%20241%20GIACCAGLIA.pdf>
- Giudice, V. (2005). Teorías Geopolíticas. *Gestión en el Tercer Milenio, Revista de Investigación de la Facultad de Ciencias Administrativas, UNMSM*, 8(15), 19- 23. <https://doi.org/10.15381/gtm.v8i15.9691>
- Gobierno de la República Federativa de Brasil. (2012). *Libro Blanco de Defensa Nacional*. Gobierno de la República Federativa de Brasil.
- Gobierno de la República Oriental del Uruguay. (2014). *Política de Defensa Nacional*. Gobierno de la República Oriental del Uruguay.
- Grupo Simbólico de Transporte Aéreo. (2018, 5 de marzo). *Grupo Simbólico de Transporte Aéreo 346*. http://www.grupo346.com.uy/boletin/comunes/Analisis_evolution_doctrina_operaciones_aereas.pdf
- Hadmann, F. N. (2019). A influência dos Arquitectos do Poder Aéreo na Estruturação de Forças Aéreas. *Revista Defesa e Segurança*, 3, 29-48. <http://revistaeletronica.fab.mil.br/index.php/afa/article/download/99/108>
- Jordán Enamorado, J. (2016). El debate sobre la primacía del poder aéreo: un recorrido histórico. *Bie3: Boletín IEEE*, 4, 1039-1077. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6029307>
- Ministerio de Defensa de la República de Bolivia. (2004). *Libro Blanco de Defensa de la República de Bolivia*. Instituto Geográfico Militar.
- Ministerio de Defensa del Perú. (2005). *Libro Blanco de Defensa Nacional*. Ministerio de Defensa del Perú.
- Ministerio de Defensa Nacional. (2011). *Política Integral de Seguridad y Defensa para la Prosperidad*. Imprenta Nacional de Colombia.
- Ministerio de Defensa Nacional de Argentina. (1998). *Libro Blanco de la República Argentina*. República Argentina.
- Navarrete Anderson, F. G. (2019). *El Control del Espacio Aéreo en el Perú Como Factor Contribuyente para la Defensa Nacional, año 2017* [Tesis de Maestría no publicada]. Centro de Altos Estudios Nacionales, Lima.
- Ochoa, O. A. (2013). Plan Colombia: una lectura retrospectiva. *Panorama*, 7(12), 9-22. <https://journal.poligran.edu.co/index.php/panorama/article/view/366>
- Peixoto de Oliveira, R. (2014). (Re) Configuración o vieja configuración geopolítica hemisférica: La integración de la Región Andina en el comienzo del siglo XXI. *Revista Andina de Estudios Políticos*, 4(2), 1-17. <https://dspace.unila.edu.br/bitstream/handle/123456789/2593/Peixoto%20%26%20Centuri%C3%B3n.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Piglia, M. (2018). Poder aéreo y concurrencia regulada: las raíces de la política aérea argentina, 1935-1966. *Revista de Gestión Pública*, 7(1), 77-105. https://www.researchgate.net/publication/329399458_PODER_AEREO_Y_CONCURRENCIA_REGULADA_LAS_RAICES_DE_LA_POLITICA_AEREA_ARGENTINA_1935-1966
- Pizarro, J. M. (2002). Poder Aéreo en América del Sur. Las Fuerzas Aéreas Latinoamericanas en el siglo 21. *Tecnología Militar*, 30-36. <https://www.insumisos.com/lecturas/insumisas/Poder%20Aereo%20en%20Am%20E%20rica%20del%20Sur.pdf>
- Presidente de la República del Perú. (2018, 21 de marzo). *Decreto Supremo 012-2017-DE*. <http://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/decreto-supremo-que-aprueba-la-politica-de-seguridad-y-defensa-decreto-supremo-n-012-2017-de-1600032-1/>
- Renouvin, P. (1990). *La Primera Guerra Mundial*. Oikos-tau.
- República de Chile. (2010). *Libro de la Defensa Nacional de Chile*. Gobierno de Chile.
- República del Ecuador. (2005). *Libro Blanco del Ecuador*. República del Ecuador.
- Reyes Segovia, M. E. & Urbina Rodríguez, H. A. (2014). *La política exterior de la República Popular de China para la*

- cuena del Pacífico. Una nueva correlación de fuerzas para América Latina. Perspectivas para Centroamérica, periodo 2007-2012.* Universidad De El Salvador. Facultad De Jurisprudencia Y Ciencias Sociales. Escuela De Relaciones Internacionales.
- Saíz, M., & Saíz, D. (2012). El inicio de la psicología aplicada a la aviación: desde el principio del siglo xx a la década de los años 30. *Revista de Historia de la psicología*, 33(4), 7-36. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5452522.pdf>
- Sanguinetti, P., & Villar, L. (2012). Patrones de desarrollo en América Latina: ¿Convergencia o caída en la trampa del ingreso medio? *Coyuntura Económica*, 42(2), 155-188. <https://scioteca.caf.com/handle/123456789/231>
- Serrano, J. M. (2017). La industria de guerra alemana como elemento de planificación estratégica durante la Segunda Guerra Mundial. *Revista de Estudios en Seguridad Internacional*, 3(2), 77-96. <http://dx.doi.org/10.18847/1.6.5>
- Siminic Ossio, I. (2018). Fuerza Aérea de Chile, historia e Identidad Nacional. *Revista Política y Estrategia*, 115, 172-182. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5182662>
- Simonetta, J. C. (2016, 1 de septiembre). *Argentina y la imposibilidad de defender su espacio aéreo*. <http://www.seguridadinternacional.es/?q=es/content/argentina-y-la-imposibilidad-de-defender-su-espacio-a%C3%A9reo>
- Sodupe, K. (1991). La teoría de la disuasión: un análisis de las debilidades del paradigma estatocéntrico. *Afers Internacionals*, 22, 53-79. <https://core.ac.uk/download/pdf/39007618.pdf>
- Tapia, L., & Gavino, L. (2019). *Visión geopolítica del Ecuador en el período 2006-2016: Su influencia en la Seguridad y Defensa* [Tesis de Maestría no publicada] Instituto de Altos Estudios Nacionales, Quito.
- Vitelli, M. (2015). La identidad estratégica de Brasil: política de defensa. *Colombia Internacional*, 85, 141-169. <http://dx.doi.org/10.7440/colombiant85.2015.05>
- Widnall, S. E. (1995). State of the Air Force. *Airpower Journal*, 9(1), 4-14.
- Zuinaga, S. (2015). El enfoque de la geopolítica en el contexto de las relaciones internacionales en el nuevo milenio. *Revista Venezolana de Análisis de Coyuntura*, 21 (1), 11-32. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=36442240002>

La inteligencia militar como actor fundamental en el afianzamiento de los escenarios de paz*

| Fecha de recibido: 31 de enero del 2020 | Fecha de aprobación: 29 de abril del 2020 |

Abdón Estibenson Uribe Taborda

Magíster en Seguridad Operacional,
Magíster en Ciencias Militares Aeronáuticas

Comando Aéreo de Combate n.º5

Grupo de investigación: CETAD

Rol de investigador: intelectual

<https://orcid.org/0000-0003-4058-4365>

✉ abdon.uribe@fac.mil.co

Leonardo de Jesús Mesa Palacio

Magíster en Sistemas Automáticos de Producción

Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA)

Grupo de investigación: CETAD

Rol de investigador: intelectual

<https://orcid.org/0000-0002-4903-723X>

✉ lomesap@sena.edu.co

* Artículo de reflexión.

Cómo citar este artículo: Uribe Taborda, A. E., & Mesa Palacio, L. J. (2020). La inteligencia militar como actor fundamental en el afianzamiento de los escenarios de paz. *Revista Ciencia y Poder Aéreo* 15(1), 87-107. <https://doi.org/10.18667/cienciaypoderaereo.656>



La inteligencia militar como actor fundamental en el afianzamiento de los escenarios de paz

Resumen: El presente documento de revisión resume el reto estratégico, operacional y táctico que tiene la inteligencia militar en Colombia, en el escenario del posconflicto. Por posconflicto se entiende el escenario posterior a la firma del acuerdo de paz entre el Gobierno colombiano y el grupo exguerrillero de las Fuerzas Armadas Revolucionarias de Colombia (FARC), convertido hoy en el partido político Fuerza Alternativa Revolucionaria del Común. El presente trabajo, basado en las experiencias vividas por países como Irlanda del Norte y El Salvador en tiempos de posconflicto, compara el proceso de dichos países con el escenario colombiano. En este escenario, se presenta la reactivación de actores generadores de violencia, un incremento de la delincuencia, la reactivación de grupos paramilitares y la formación de nuevos grupos al margen de la ley, también llamados Grupos Armados Organizados (GAO). Estos nuevos retos se deben afrontar usando la inteligencia militar, la cual se constituye en un actor fundamental en el afianzamiento de los escenarios de paz, en especial, en las zonas más apartadas y marcadas por la violencia de nuestro país. Este afianzamiento convertirá a esas zonas en parte del desarrollo competitivo de Colombia.

Palabras clave: Actividades delictivas; inteligencia aérea; posconflicto.

Military Intelligence as a Key Player in the Consolidation of Peace Scenarios

Abstract: This research summarizes the challenges for Colombian Air Intelligence and its application at the strategic, operational, and tactical levels during the post-conflict stage resulting from the peace process signed between the Colombian Government and the FARC guerrilla group. This study is based on the experiences of countries such as Northern Ireland and El Salvador, which went through various stages after signing a peace agreement for ending the conflict they sustained, which, like the Colombian case, left consequences of violence such as crime, the persistence of paramilitary groups, and the formation of new groups outside the law, among others. These challenges must be faced through military intelligence in order to combat any possible scourges and leverage the aim of the State of reaching the remote regions of the country stroke by violence and make them part of the competitive development model required in Colombia.

Keywords: Criminal Activities; Air Intelligence; Post-conflict.

A inteligência militar como ator fundamental na consolidação dos cenários de paz

Resumo: O presente documento de revisão resume o desafio estratégico, operacional e tático que tem a inteligência militar na Colômbia, no cenário pós-conflito. Por pós-conflito entende-se o cenário após a assinatura do acordo de paz entre o governo colombiano e o grupo ex-guerrilheiro das Forças Armadas Revolucionárias da Colômbia (FARC), que hoje é o partido político Fuerza Alternativa Revolucionaria Común. Este trabalho, baseado nas experiências de países como a Irlanda do Norte e El Salvador em tempos de pós-conflito, compara o processo desses países como o cenário do pós-conflito colombiano. Neste cenário, são apresentadas a reativação dos atores geradores de violência, o aumento da delinquência, a reativação de grupos paramilitares e a formação de novos grupos fora da lei, também denominados Grupos Armados Organizados (GAO). Estes novos desafios devem ser enfrentados com a inteligência militar, que constitui um ator fundamental na consolidação de cenários de paz, especialmente nas áreas mais remotas e marcadas pela violência no nosso país. Essa consolidação fará dessas áreas parte do desenvolvimento competitivo da Colômbia.

Palavras-chave: Atividades criminosas; Inteligência aérea; Pós-conflito.

Introducción

Cada conflicto, proceso y escenario de paz es único para cada nación. Sin embargo, en ellos se encuentran características generales que pueden suministrar información, así como experiencias y lecciones aprendidas que logran ser referentes para procesos similares en otros países.

El proceso actual de posconflicto en Colombia presenta variables y aspectos que difieren de los presentados por los procesos que otras naciones han experimentado en el establecimiento una paz permanente. De dichos aspectos, se destaca la existencia de otras organizaciones alzadas en armas. Entre ellas se encuentran las disidencias de las Fuerzas Armadas Revolucionarias de Colombia (FARC), las bandas criminales (Bacrim), la guerrilla del Ejército de Liberación Nacional (ELN) y grupos organizados ilegales que en la actualidad se dedican a la extorsión, el secuestro y la minería ilegal —también llamados Grupos Armados Organizados (GAO)— (Reyes, 2016).

Tomando como referente las vivencias de naciones como El Salvador e Irlanda del Norte, se establecen puntos de convergencia en la finalización de sus conflictos armados. Los grupos insurgentes dejaron a su paso secuelas de violencia, como víctimas inconformes, delincuencia, grupos paramilitares, nuevos grupos al margen de la ley, pobreza y desigualdad social. La forma en que las naciones afrontaron sus procesos de paz, se convierten en la base de análisis de las medidas y acciones necesarias para mejorar la respuesta de los entes de seguridad del Estado colombiano.

Los entes de seguridad del Estado son los garantes del bienestar y la soberanía, según el mandato constitucional. Ellos hacen un aporte activo en la toma de decisiones sobre las operaciones en contra de crímenes o el combate de fenómenos o amenazas. Estas decisiones, para el desarrollo de las operaciones militares, se basan en información esencial de las unidades de inteligencia que, “utilizando todos medios humanos o técnicos para la recolección, análisis y difusión de información” (Congreso de la República de Colombia, 2013), coadyuvan a proteger los derechos humanos, a prevenir y combatir amenazas.

Problema

Después del acuerdo de paz firmado en Colombia, se inició el establecimiento del escenario de paz. Algunos autores hablan de “un proceso largo, difícil y duro para el país” y lo consideran “el escenario adecuado para trabajar por una paz firme y duradera” (González, 2017, p. 6). Sin embargo, para establecer un escenario de paz permanente, es necesario superar los nuevos retos que están surgiendo, como el de enfrentar a las disidencias y otros actores violentos al margen de la ley. Históricamente, la inteligencia militar ha desempeñado un importante papel en la identificación y combate de estas amenazas, lo que la convierte en un actor fundamental para la seguridad y defensa nacional. Según Barbosa, “la inteligencia militar es una importante herramienta para las fuerzas militares y el Estado en la toma de decisiones, garantizando la protección de los ciudadanos de diversas amenazas” (2016, p. 1).

En el presente documento se revisará y evaluará la participación histórica de la inteligencia militar de otras naciones en escenarios de posconflicto. Con esto se espera determinar cómo sus habilidades y acciones podrían ser un referente para el proceso de posconflicto que vive Colombia.

Justificación

Considerando las condiciones en las que se han desarrollado los conflictos armados y los escenarios de paz de otras naciones, es claro que los eventos de violencia posteriores a la firma de acuerdos de paz no son iguales a los fenómenos que vive actualmente Colombia. En el caso nacional, se cuenta con herramientas importantes para proponer mejoras en las capacidades de inteligencia militar y evitar los errores cometidos por otros países (Rojas, 2016, p. 62).

En países como Irlanda del Norte, gracias al aporte de la inteligencia británica, los grupos de inteligencia militar “lograron destacarse en el mundo gracias a la eficacia de sus operaciones militares, las cuales,

condujeron al acuerdo de paz” (Bowlin, 1999, p. 8). Este caso, aunado al ejemplo de El Salvador, país que no se ha destacado en el mundo por sus capacidades de inteligencia militar, permite considerar diferentes escenarios que ofrecen información importante con respecto al uso de la información, el reconocimiento y las capacidades de vigilancia. Estas actividades, propias de la inteligencia militar, “se necesitan para sacar adelante las etapas críticas de un país” (Barbosa, 2016).

Antecedentes

La construcción de la paz se refiere al “conjunto de acciones que permite a una sociedad gestionar, prevenir y resolver el conflicto, a través de sus propias capacidades, sin recurrir al uso de la violencia” (IECAH, 2010). Colombia ha recurrido a procesos de paz realizados mediante negociaciones dialógicas, las cuales han resuelto algunos conflictos internos desde 1982 (Chernick, 1996). En el gobierno de Belisario Betancur (1982-1986) se buscó la apertura político-democrática con las guerrillas. Esta apertura condujo a un acercamiento con distintos grupos armados (como el Movimiento 19 de abril —M-19— y las FARC). El acercamiento con el M-19 concluye con la toma del Palacio de Justicia, el 6 de noviembre de 1985. Después de la toma, se retoman los diálogos de paz y el 9 de marzo de 1990, en el gobierno de Virgilio Barco (1986-1990), se firma el acuerdo de paz entre el M-19 y el Gobierno colombiano. Esta firma puso fin a esta lucha armada y dio paso a la participación política del grupo político Alianza Democrática M-19, la cual se consolidó como fuerza política dentro del marco legal colombiano. Finalmente, se da una transformación de fondo en la política colombiana cuando dicho grupo político impulsa la Asamblea Nacional Constituyente, que tiene como resultado la Constitución Política de 1991 (Bernal, 2016). Más adelante, en 1991, el Gobierno Nacional también logra un pacto de paz, que contiene varias garantías políticas, con el Ejército Popular de Liberación (EPL), que era uno de los grupos guerrilleros más dogmáticos y beligerantes del país.

El Gobierno colombiano, actuando en concordancia con la Constitución Nacional que le exige la protección de los conciudadanos, ordenó realizar bombardeos contra la guerrilla de las FARC insistiendo en la necesidad de reducir los hombres en sus filas y de que el conflicto tuviera una terminación real. En la década de 1990 hubo un crecimiento militar y una expansión territorial con la que las FARC pasó de tener 48 frentes y 5800 combatientes en 1991, a tener 62 frentes y 28 000 combatientes en el 2002. El grupo armado tenía una presencia en 622 municipios, es decir, en un 60 % de los municipios del país (Centro Nacional de Memoria Histórica, 2013, p. 162).

Después de varios intentos fallidos de diálogos de paz con las FARC, la insurgencia de mayor capacidad delictiva firmó un acuerdo de paz con el Gobierno colombiano el 24 de noviembre del 2016 (Villarraga, 2017). Es importante mencionar que, aunque se logró firmar un acuerdo de paz con ellos, aún hace falta lograr un pacto de paz definitivo con el ELN y disolver de forma completa las estructuras paramilitares de las Autodefensas Unidas de Colombia (AUC), parcialmente desactivadas entre 2003 a 2006 con el proceso de paz firmado en Santafé de Ralito, Córdoba, el 15 de Julio del 2003 (Villarraga, 2017).

Después del compromiso de paz con las FARC, la tarea del Gobierno es construir una paz firme y duradera. En cumplimiento de esta labor, el Gobierno nacional debe hacer frente a los temas pendientes que han sido mencionados, sumando a estos los rezagos que deja el conflicto armado con las FARC, el incumplimiento de los acuerdos firmados y otras amenazas que pueden surgir en este escenario de paz. Durante este tiempo, el Gobierno Nacional tendrá que contar con el apoyo de sus instituciones militares, en especial la inteligencia aérea, la cual desempeña un papel importante en la toma de decisiones y el mantenimiento de una paz estable y duradera (Villarraga, 2017).

A lo largo de su historia, Colombia ha acumulado experiencias de diferentes acuerdos de paz entre los gobiernos y la mayoría de las guerrillas. Esto muestra los esfuerzos gubernamentales para construir la paz, pero también, que no se han podido controlar las tensiones y dinámicas de prolongación del conflicto (Barbosa, 2016).

Fundamento teórico

Con el acuerdo de paz con las FARC se dan varios logros importantes que hoy permiten hablar de un escenario de paz. Uno de ellos, el cese del conflicto que, aunque permite reducir las afectaciones de la violencia en el país, no elimina por completo el accionar violento de ese grupo, el cual es uno de los rezagos del conflicto armado. Actualmente se combaten las disidencias de las FARC para garantizar la seguridad nacional. Este es uno de los principales desafíos para el Estado colombiano y las Fuerzas Militares (Villarraga, 2017).

En el nuevo escenario, como parte del afianzamiento de la paz en Colombia, se requiere realizar operaciones militares específicas. En estas operaciones, instituciones como la Fuerza Aérea Colombiana deben diseñar un conjunto de acciones que les permitan fortalecer sus capacidades de gestión de crisis con el fin de prevenir nuevos conflictos y crear condiciones para una paz duradera. Las habilidades complementarias que se deben desarrollar para afrontar los nuevos desafíos y retos de la seguridad nacional, deberán cumplir con el marco constitucional y legal que determina el accionar de las instituciones. Para conocer las cualidades que deben tener las operaciones de inteligencia aérea colombiana, es indispensable entender de dónde vienen las características y los retos que suponen las nuevas amenazas. Se requiere, igualmente, un entendimiento amplio de la importancia que tienen las operaciones militares en la toma de decisiones. Para esto se hace necesario conocer algunos conceptos relevantes, asociados al tema de la presente investigación (Barbosa, 2016).

Inteligencia

La inteligencia es definida como “la capacidad para pensar y para desarrollar el pensamiento abstracto, como capacidad de aprendizaje y de adaptarse a situaciones nuevas, o para solucionar problemas” (Mayer, 1983). En el contexto militar, es considerada como un elemento necesario en la proyección y la ejecución de las operaciones militares (Prieto del Val, 2014).

En las funciones de comando, el concepto se refiere a que cada área de comando debe disponer de la inteligencia requerida para la toma de decisiones (Llop et al., 2013).

En el marco legal colombiano, la Ley estatutaria 1621 del 17 de abril del 2013, capítulo 1, artículo 2, afirma que la función de inteligencia y contrainteligencia es “aquella que desarrollan los organismos especializados del Estado de orden nacional, utilizando medios humanos o técnicos para la recolección procesamiento, análisis y difusión de información”. La ley 162, por su parte, indica cómo proteger los derechos humanos “prevenir y combatir amenazas internas y externas contra el régimen democrático, constitucional y legal”, preservar la seguridad y la defensa nacional.

Inteligencia militar

La inteligencia militar se ha logrado posicionar como un instrumento requerido para planificar diferentes actividades tanto operacionales como administrativas. Su eficacia puede demostrar un amplio conocimiento sobre las actividades que el enemigo actual o potencial puede desarrollar. La inteligencia militar es necesaria para obtener la victoria que garantice la prevalencia de la democracia y la visión de una sociedad que está en constante cambio (Sainz, 2012).

La inteligencia militar es “el producto resultante de recolectar, evaluar e interpretar la información disponible que ofrece valor inmediato o potencial para el planeamiento y conducción de operaciones militares”. La inteligencia militar abarca inteligencia de combate, inteligencia básica, inteligencia estratégica y la contrainteligencia.

En el sistema de inteligencia militar español, se habla de tres tipos de inteligencia:

- *Estratégica*: centrada en el plano político, sus receptores son el Gobierno y el Jefe del Estado Mayor de la Defensa (JEMAD), que sirve como enlace entre las decisiones políticas y las militares.
- *Operativa*: destinada al planeamiento, ejecución y apoyo de operaciones, sirve al mando de operaciones y los cuarteles generales.

- *Táctica*: tiene en cuenta el terreno, meteorología, adversario, y responde a los fines inmediatos de las unidades sobre el terreno.

Inteligencia militar en tiempos de paz

Kent indica que la aplicación de la inteligencia “es tan real [...] en tiempos de paz como en tiempos de guerra” y, además, que la utilización de las capacidades de la inteligencia militar durante el desarrollo de una guerra y en época de paz reflejan consecuencias similares. “Los errores en la gran estrategia de la paz podrán no producir el espectáculo de un campo de batalla innecesariamente desastroso, pero a veces producen algo mucho peor” (Kent, 1950, p. 93).

En cuanto al caso colombiano, el señor mayor general Paredes indica que, en el periodo de “postconflicto”, la estrategia militar debe “poner a disposición de sus comandantes los medios para prevalecer, diseñar los objetivos, evaluar las limitaciones del alcance del concepto de victoria y argumenta que no se debe perder el esfuerzo del poder militar” (Paredes, 2011, p. 7).

Fuerza Aérea Colombiana en un escenario de paz

El escenario de paz que vive actualmente Colombia obliga a las instituciones militares, como a la Fuerza Aérea Colombiana, a transformar su estructura organizacional para tener la capacidad de actuar bajo estándares internacionales y asumir los nuevos retos que trae consigo el posconflicto. Las instituciones deben ser especializadas y efectivas en su actuar, tener un mayor control de recursos de tipo técnico, económico y humano, aumentar la velocidad de respuesta y simplificar los procesos que ayuden a contrarrestar las amenazas (Fuerza Aérea Colombiana, 2016).

Amenazas para el escenario de paz en Colombia luego de firmado el acuerdo con las FARC

Antes de haberse dado la firma del acuerdo de paz, algunas fuentes afirmaban que Colombia no había

logrado llegar a un acuerdo, porque su conflicto era muy diferente y las condiciones colombianas involucraban múltiples actores y fuentes de violencia (Chernick, 1996). Sin embargo, con los resultados de los últimos años, Colombia logró demostrar que, a pesar de sus particularidades, no era un caso excepcional, que podía aprender de otras experiencias y llegar a una solución negociada (Chernick, 1996). Ahora bien, como afirma Flavin (2003), “la terminación de conflictos es el final de la lucha pero no es el fin del conflicto” (p. 112). Este autor indica, además, que el objetivo de las operaciones militares es establecer las condiciones que obliguen a los beligerantes a poner fin a las hostilidades. Estas operaciones dependen del liderazgo militar y civil. Hay que reconocer, en todo caso, que el final del conflicto es tan crítico como la propia guerra. No obstante, este escenario también posibilita el reordenamiento territorial, al igual que el replanteamiento de nuevas formas de resolver las dificultades nacionales (Torres, 2016).

Los constantes ataques por parte de la guerrilla del ELN y las disidencias de las FARC ponen a prueba la estabilidad de la paz en Colombia. Aunque no se conoce una cifra exacta de las personas que hacen parte de estos grupos, las Fuerzas Militares calculan que el número supera las 1200. Estos grupos cuentan con un conjunto de mandos medios con capacidad bélica, presencia territorial, pretensiones políticas que siguen vigentes y una alianza con economías criminales (principalmente del narcotráfico). Estas condiciones ponen en riesgo la seguridad nacional (Álvarez et al., 2018).

Se puede observar que el Estado colombiano no tiene una completa presencia en lugares que se caracterizaron en el pasado por la presencia guerrillera. Esto favorece la aparición de grupos criminales emergentes que se componen de combatientes que no se desmovilizaron de la guerrilla, e incorporan adicionalmente a carteles tradicionales que aprovechan estas áreas huérfanas para establecerse y promocionar sus actividades delictivas migratorias (Estrada et al., 2016).

Los acontecimientos posteriores a la firma de la paz con las FARC indican que el Estado colombiano debe adaptarse a amenazas delictuales complejas. Estos hechos “obligarán a modificar sus políticas

preventivas, los objetivos y funciones de sus sistemas de inteligencia para conseguir unas respuestas más flexibles y adaptables a las amenazas, obligando, en algunos casos, a modificar su percepción de seguridad” (Pulido, 2017).

Los temas de seguridad en Colombia, tras haberse realizado un acuerdo de paz, “han producido un debate en relación a la necesidad de la actualizar los procedimientos, medios y capacidades, tanto de las Fuerzas Armadas como las policiales, para adaptarse al nuevo escenario” (Pulido, 2017).

Pulido (2017) indica que las nuevas “actividades delictivas de las bandas criminales emergentes (Bacrim) plantean el pensamiento de nuevos retos a la Seguridad del Estado, en materia de los nuevos actores que intervendrán” (p. 1).

Por su parte, Molano, quien estudió los fenómenos más importantes en materia de seguridad, evolución y propuestas para la transformación de la Fuerza Pública colombiana en el posconflicto, indica que a corto plazo se debe dar un despliegue de batallones ligeros a los territorios colombianos con el fin de “dar respuesta inmediata a una posible mutación del crimen en los territorios de estabilización con presencia de las FARC” (Molano, 2016, p. 1). Un segundo componente a mediano plazo es el uso de la inteligencia militar y de policía para estabilizar las posibles amenazas a la seguridad de la nación (Molano, 2016).

El papel de las fuerzas militares frente a las amenazas

La reforma de la Fuerza Pública para afrontar el proceso de posconflicto, se enmarca en las reestructuraciones de seguridad como principal objetivo para proteger a la población. Se considera la posibilidad de establecer una Policía Civil Internacional (Civpol) bajo las órdenes de la ONU en condiciones de no guerra, e igualmente se analiza el tamaño de las fuerzas militares en posconflicto, la capacitación y el reentrenamiento de estas.

Strong y Jaramillo (2014) ponen en evidencia el rol de la Fuerza Aérea en la doctrina de la Acción Integral como política de afianzamiento de la Seguridad

Democrática. Los autores analizan la doctrina, la labor del poder aéreo y la manera en que la Fuerza Aérea ha contribuido a la seguridad colombiana. Además, indican la importancia del poder aéreo, en el futuro, para el control territorial, puesto que se presentarán nuevas amenazas y el territorio nacional deberá estar preparado para la lucha contra el crimen, el tráfico ilegal, la piratería y la extracción ilegal de recursos naturales.

Por otra parte, Esquivel (2016) expone, en cinco apartados, el análisis histórico de la Fuerza Aérea Colombiana entre 1998 y el 2015. El artículo da a conocer las estrategias que ha utilizado la Fuerza Aérea en sus operaciones para contribuir al cese del conflicto interno colombiano. Este trabajo es pertinente para la investigación aquí planteada, ya que aborda todas las operaciones realizadas por la Fuerza Aérea durante el conflicto interno colombiano, desde 1998 hasta el 2015, cuando el Gobierno ordenó cancelar los bombardeos contra las FARC (este fue el punto de partida para los acuerdos con el grupo revolucionario).

La inteligencia militar como herramienta fundamental para la toma de decisiones

Siguiendo con el tema de la inteligencia, y para tener una visión más clara de su importancia en periodos de pos-guerra y paz, Campbell (2013) explora las causas y los cambios que ha sufrido la inteligencia desde el final de la guerra fría. Indica que la inteligencia en la actualidad es un asunto de todos. Esto se ve reflejado en las zonas de conflicto en donde se recoge información de inteligencia, la cual es utilizada y analizada por mandos superiores e inferiores. Otro ejemplo es el de los ciudadanos comunes y corrientes, quienes se han convertido en productores y consumidores de inteligencia. Este público espera que las áreas de inteligencia y seguridad de los países sean proactivas y colaboradoras para evitar las amenazas y esperan que los gobiernos mantengan sus libertades civiles.

Para conocer un poco sobre el origen y desarrollo de la inteligencia en Gran Bretaña, Charters (2009) nos muestra cómo la inteligencia surgió como una parte central de la teoría y la práctica de la contrainsurgencia británica en la época de posguerra. Hoy en día,

la inteligencia es ampliamente reconocida en las operaciones y campañas contra la insurgencia. Pero no siempre fue así. El artículo de Charters es importante para la presente investigación porque establece el desarrollo de la inteligencia británica y analiza cómo la experiencia operativa de la posguerra cambió la doctrina antes de la guerra, a través del ensayo y el error en las condiciones únicas de Irlanda del Norte. Este artículo sostiene además que la inteligencia permite que las fuerzas de seguridad se anticipen a los problemas para prevenirlos. La prevención depende de una recolección y análisis eficaz de la información.

Monroy habla de la importancia de los diálogos de paz en Irlanda del Norte a partir de la firma del acuerdo del Viernes Santo de 1998. Este acuerdo ha servido como guía para solucionar los conflictos armados en otras latitudes (Monroy, 2017). El documento analiza la historia del conflicto armado del Irlanda del Norte, el acuerdo de Viernes Santo y sus principales consecuencias para el posconflicto. Analiza además las consecuencias del conflicto que deben solucionarse en el periodo siguiente a la firma del acuerdo de paz. El conflicto irlandés se ha convertido en un referente de análisis obligatorio para la solución de conflictos como el colombiano. Según Monroy, la contribución de los servicios de inteligencia es importante para negociar con los grupos insurgentes.

Colombia ha usado operaciones de inteligencia militar para combatir las fuerzas insurgentes a lo largo del conflicto armado. Entre el 2007 y el 2015 se realizaron bombardeos de precisión, ayudados por la inteligencia previa, que debilitaron a los grupos ilegales. De esta manera se “crearon las condiciones para atacar a los líderes medianos y altos” (Spencer & Gómez, 2011, p. 107). Igualmente, Esquivel (2016) se refiere a estas como “operaciones decisivas que garantizaron el debilitamiento de sus oponentes”.

Pulido (2017) nos muestra el concepto de “inteligencia híbrida como nueva forma de adaptación de las estrategias tradicionales contrainsurgentes” (p. 56). El objetivo de la inteligencia híbrida es realizar un análisis de las nuevas políticas de seguridad e inteligencia que Colombia aplicará en la etapa posterior a la firma del acuerdo de paz para contrarrestar la contrainsurgencia

y los nuevos fenómenos criminales que buscan el control territorial (Pulido, 2017). El artículo menciona que, después de la firma del acuerdo de paz, se observa la necesidad de transformación de la Fuerza Pública para que sea competente en el escenario de posconflicto. Este artículo es pertinente para la presente investigación puesto que destaca la importancia de la inteligencia colombiana en la etapa posterior al acuerdo de paz, la necesidad de prevenir la criminalidad organizada y la insurgencia criminal.

Barbosa (2016) explica “la importancia de la inteligencia militar a lo largo de la historia del conflicto colombiano” (p. 3). En su texto expone algunas labores que la especialidad de inteligencia puede cumplir en el contexto del posconflicto para que el Estado colombiano pueda garantizar la seguridad y defensa nacional.

A continuación, se presentan dos experiencias de inteligencia militar desarrolladas en el conflicto y en su etapa posterior con los grupos guerrilleros. Estas contienen elementos importantes que ayudarán a identificar cuáles son las capacidades que debe tener la inteligencia aérea colombiana en la toma de decisiones para el escenario de posconflicto.

Irlanda del Norte

Luego del acuerdo de paz, Irlanda del Norte inició una nueva etapa en la que persistieron varias problemáticas. Entre ellas, se destaca la legitimidad estatal, que, como afirman Lavaux & Lair (2009), “ha permitido la presencia de grupos paramilitares” (p. 11). La falta de control estatal, después de firmado el acuerdo de paz, e incluso antes de su firma, condujo a la conformación de grupos disidentes que rechazaron los acuerdos. Igualmente, los líderes paramilitares que cambiaron sus actividades delictivas, lo cual generó un mayor índice de inseguridad y criminalidad. Las actividades criminales, económicamente lucrativas, compensaron las pérdidas que se dieron con el fin de la guerra. En este caso, varios grupos disidentes evolucionaron hasta conformar verdaderas mafias involucradas en

cualquier tipo de tráfico criminal que les permitiera mantener su estilo de vida (poder, estatus, seguridad, ventajas económicas). Todos estos factores dificultaron los procesos de desmovilización y aumentaron la resistencia de los miembros de esas organizaciones, lo que hizo difícil la implementación de cualquier alternativa para neutralizar su reincidencia (Lavaux & Lair, 2009).

Para contrarrestar la insurgencia y el terrorismo en la transición hacia un estado de paz en Irlanda del Norte, la comunidad de inteligencia británica se vio obligada a enfrentar sus mayores desafíos operacionales después de la segunda guerra mundial. Aunque muchas de las operaciones que llevaron a cabo fueron valientes e inventivas con éxito, al inicio sus operaciones fueron desorganizadas, más allá de la ley británica y adoptaron métodos que, en última instancia se hicieron, contraproducentes. La inteligencia británica jugó un papel crítico en la guerra en Irlanda del Norte y sus experiencias tienen hoy aplicaciones universales para cualquier servicio de inteligencia (Bowlin, 1999). Sin duda, en la guerra y en el posconflicto de Irlanda del Norte, la comunidad de inteligencia británica evolucionó en materia de tácticas y técnicas.

Experiencia de la inteligencia británica en Irlanda del Norte

En 1970, la comunidad de inteligencia británica se dividió en dos, unos apoyaron a la Unión Soviética y otros a Irlanda del Norte. Para los oficiales de inteligencia que actuaron en Irlanda del Norte, esta fue la oportunidad de probarse a sí mismos personal y profesionalmente. En este escenario hubo recompensas presupuestarias, las cuales se traducían en prestigio institucional. Según Mark Bowlin, a pesar de que la mayoría de las actividades de las organizaciones de inteligencia británica eran clasificadas (y por eso no han sido confirmadas al público) según la Ley de Secretos Oficiales, eso no es un obstáculo para bosquejar una imagen razonable de la comunidad de inteligencia británica y su historia reciente en Irlanda del Norte (Bowlin, 1999).

La participación de la inteligencia británica en la guerra de Irlanda del Norte tiene, como es lógico, una

historia mixta de éxitos y fracasos. Sin embargo, estas organizaciones de inteligencia rara vez se dan el lujo de elegir o aceptar la aprobación pública. En consecuencia, se sabe poco sobre sus éxitos. Las fallas se hacen públicas con mayor frecuencia que el éxito y tienden a dar forma a la percepción de la eficacia que el público tiene de las operaciones de inteligencia (Bowlin, 1999).

Para comprender la coordinación y el desarrollo de las operaciones de inteligencia en Irlanda del Norte, es importante conocer cómo se encontraban integradas las diferentes agencias que intervinieron durante el conflicto armado y el escenario de paz.

Agencias de inteligencia nacional

Para esa época, el Reino Unido tenía tres agencias de inteligencia nacional: la Seguridad Servicio (M15), el Servicio Secreto de Inteligencia (M16) y el Gobierno Sede de Comunicaciones (GCHQ). Hubo dos eventos simultáneos, ocurridos en agosto de 1979, que sacudieron a la comunidad de inteligencia británica nacional. El primero de ellos fue el asesinato de Lord Mountbatten y el segundo fue la emboscada del Irish Republican Army (IRA) a una patrulla del ejército británico en Warrenpoint. En esta emboscada murieron dieciocho soldados. Estos eventos llevaron a los programas de inteligencia humana (Humint) a actualizarse y coordinarse de manera más eficiente. El exdirector del M16, Maurice Oldfield, fue nombrado por el primer ministro británico y la ministra Margaret Thatcher para enderezar la situación de inteligencia en Irlanda del Norte. Oldfield recomendó al Gobierno que la inteligencia británica coordinara sus actividades a través de un conjunto regional de Grupos de Tareas y Coordinación (TCG). Se estableció un TCG en Castlereagh para coordinar las operaciones de Belfast; un segundo grupo en Armagh, que coordinó las actividades de inteligencia en el sur de Ulster, y un último grupo en Londonderry, para coordinar el norte de la provincia. Con esto, las unidades encubiertas ya no podían andar por ahí actuando de forma independiente, en su propio nombre y siguiendo sus propias agendas. Estas unidades eran responsables ante una unidad centralmente basada en TCG, la cual también coordinaba a otras unidades para

trabajar juntas cuando se requirieran diferentes habilidades en un área de operación (Bowlin, 1999).

Cada TCG era dirigido por un oficial de la Rama Especial y tenía representantes de la inteligencia del Ejército asignados a él (oficiales de la M15; Urban, 1992, p. 95). Además de la M15 y el M16, la última agencia de inteligencia británica, era la responsable de la inteligencia de señales (SIGLINT). Esta es la contraparte de la Agencia de Seguridad Nacional (NSA). La idea de los TCG era mejorar dramáticamente la coordinación de inteligencia (Bowlin, 1999).

El GCHQ era la entidad encargada de la recopilación de información de otras agencias. Además, prestaba asesoría sobre procesos de investigación y recopilación de información en telecomunicaciones. La M15 era la organización responsable de la recopilación de inteligencia doméstica y su responsabilidad principal era la contrainteligencia británica. Esta realizaba una función aproximadamente análoga a la función de contrainteligencia del FBI, aunque la M15 carecía de la autoridad de aplicación de la ley. El M16 era responsable de las operaciones de inteligencia extranjera (así pues, era análoga a la Agencia Central de Inteligencia, CIA). Tanto la M15 como el M16 se involucraron ampliamente en Irlanda del Norte y desde 1969 dedicaron un esfuerzo considerable para expulsar al otro de Irlanda. La opinión generalizada entre los integrantes de la M15 y el M16 era que el IRA podría haber sido el adversario, pero el otro servicio era el enemigo (Bowlin, 1999).

Inteligencia militar en Irlanda del Norte

Según Urban, el gobierno del primer ministro, Edward Heath, sintió que el M16 no solo tenía una historia más extensa en Irlanda, sino que también se adaptaba mejor al trabajo en campo, es decir, el establecimiento de redes de informantes (Urban, 1992). Sin embargo, en 1972 la M15 logró convencer a Londres de que sus esfuerzos para proteger al Reino de los actos violentos requerían de su presencia en el otro lado del mar de Irlanda. Todo esto provocó una rivalidad entre los dos servicios, históricamente conocida como una desagradable guerra burocrática de territorio.

Agencia de inteligencia de ejecución de la ley

Otro evento importante para las fuerzas de seguridad de Irlanda del Norte y las operaciones de inteligencia que combatieron al IRA fue la implementación de una política conocida como *Ulsterization*, en 1977. La política reconocía que el conflicto debía ser civilizado, así que la primacía de la aplicación de la ley fue restablecida (Kennedy-Pipe, 1997). En consecuencia, se construyó el servicio de inteligencia de la Real Policía de Ulster (RUC), que estableció una red de informantes de inteligencia. Dicha red estaba conformada por jóvenes locales que conocían el terreno y crecieron en el mismo entorno que el IRA; comprendían la cultura única de Irlanda del Norte, y además tenían una estrecha relación con la policía nacional de la República de Irlanda (Bowlin, 1999). Sin embargo, debido a que el RUC era visto como simpatizante de los paramilitares leales, el ejército restringió frecuentemente los intercambios de inteligencia con el RUC para evitar que la información llegara a los “hombres duros” protestantes (Gill, 1994, p. 157).

Establecer lazos de confianza entre las organizaciones especiales fue difícil y las acusaciones de abuso de prisioneros durante el interrogatorio ayudaron al fracaso de la inteligencia en ese momento. Algunas de las operaciones llevadas a cabo por la inteligencia británica fueron las operaciones secretas de cobro, operaciones de propaganda, penetración clandestina del IRA y participación de inteligencia en las llamadas operaciones “disparar a matar”, entre otras (Bowlin, 1999).

En materia de inteligencia militar, se considera que, gracias a la efectividad de la inteligencia militar, hoy en día existen lecciones muy valiosas sobre cómo contrarrestar el terrorismo. Una de esas lecciones viene del “grado de organización y el enfoque que utilizaron a la hora de planificar la ofensiva” (Miranda, 2016). Como ejemplo, se destaca la resistencia del IRA y su adaptabilidad, pues “consiguió poner en jaque al Estado británico haciendo uso de su sofisticación y su capacidad de operar con precisión” (Miranda, 2016).

De igual manera, Gran Bretaña es considerada como un líder mundial en contrainsurgencia. Allí, la

inteligencia surgió como una pieza central de la teoría y la práctica en la era de posguerra. Los británicos experimentaron una empinada curva de aprendizaje en inteligencia a nivel operacional y táctico que les permite tener la flexibilidad para adaptarse a condiciones locales específicas (Charters, 2009). Luego de mucho tiempo, las experiencias y cambios dentro de las instituciones de las cuales la inteligencia hace parte, lograron consolidar a una institución importante para quienes viven un conflicto o un periodo de posguerra (Charters, 2009).

A finales del siglo XIX, la inteligencia militar británica todavía estaba en su infancia. Existía un fuerte prejuicio contra la inteligencia, que prevaleció como un remanso profesional, solo adecuado para aquellos oficiales considerados no aptos para el comando. En consecuencia, el personal y las unidades de inteligencia se incubaron al final de un conflicto y luego se disolvieron o se vinieron abajo con su finalización. Por lo tanto, el apoyo de inteligencia a menudo era insuficiente (Charters, 2009).

Los servicios secretos tuvieron un comienzo aún menos auspicioso y una existencia igualmente tenue antes de la Segunda Guerra Mundial. El Servicio de Seguridad y Secreto de Inteligencia (M15 y M16) estableció dos organizaciones de inteligencia simultáneamente, en 1909, como respuesta a la amenaza de espionaje alemán (Charters, 2009).

El ejército británico entró intelectualmente desprevenido contra la insurgencia en la posguerra. En consecuencia, a menudo fue superado por sus enemigos en esta época crucial de la guerra. La combinación de terrorismo y propaganda emuló conscientemente el modelo del IRA y su política confundió a los responsables de la formulación de políticas, a los comandantes militares y a las propias fuerzas de seguridad británica (Charters, 2009).

Hay quienes sugieren que la inteligencia británica fue en última instancia muy efectiva, pero a costa de emplear algunos métodos muy dudosos. “Hoy tuvimos mala suerte, pero recuerda que solo tenemos que tener suerte una vez” (Bamford, 2005, p. 3). Se emplearon controvertidas técnicas de interrogatorio británicas, conocidas como las “cinco técnicas”, como ayuda

para el interrogatorio en Irlanda del Norte en el otoño de 1971 (Newbery, 2009). Se empleaban técnicas como la privación del sueño, limitación de la dieta a pan y agua, la aplicación de ruidos para causar desorientación, cubrimiento de la cabeza con una capucha, mantener al interrogado de pie con las manos levantadas y contra la pared durante prolongados periodos de tiempo. Según un comité del ministerio del interior, se consideró que estas técnicas estaban justificadas en excepcionales circunstancias, como las que atravesaba Irlanda del Norte, en las que “la obtención de información resultaba vital” (Alonso, 2001, p. 154).

Bennett (2010) argumenta que la estrategia militar británica fue adaptable, alternó entre medios defensivos y ofensivos dependiendo de los cambios del contexto político. La política de bajo perfil permitió al ejército consolidar una base firme para operaciones ofensivas contra el Ejército Republicano Irlandés Provisional (PIRA). Dicha política se consideró exitosa, porque contrasta con la violencia republicana, para negociar y comprometerse cuando sea necesario. La campaña británica en Irlanda del Norte, a principios de la década de 1970, a menudo se presenta como consistente en su carácter represivo. Su fracaso o éxito militar se relacionaron con fines políticos.

La experiencia británica en Irlanda del Norte ha servido como modelo para el ejército de los Estados Unidos en la preparación y realización de “operaciones de establecimiento de la paz”, aunque sus operaciones de pacificación han requerido de diferentes entrenamientos, diferentes equipos y enfrentan hechos diferentes. Sin una extensa previsión y preparación, el empleo de fuerzas entrenadas convencionalmente para ejecutar el establecimiento de la paz podría ser inconveniente (Miller, 1993, p. 41).

Henriksen (2008) proporciona una excelente reconstrucción histórica para enmarcar su análisis del conflicto y las formas de operar del IRA y el ejército Británico. Henriksen se ha orientado por la búsqueda de ideas sobre la destreza de la contrainsurgencia en Irlanda del Norte para aplicarlas y mejorar las fuerzas combatientes actuales de los Estados Unidos.

Irlanda del Norte es un modelo viable o válido para el mundo de hoy. Pero el lector debe tener

cuidado al sacar conclusiones rápidas. Es necesario abordar algunos problemas subyacentes. El más importante es el papel del gobierno del Reino Unido. El Reino Unido es una democracia rica, capaz, moderna y liberal, con un sistema estatal y una sociedad civil bien desarrollados.

Experiencia del conflicto en El Salvador

La historia de El Salvador inicia con la crisis general de 1930, producida por la gran depresión de la economía internacional. El régimen político de El Salvador fue incapaz de responder a esta crisis, que va desde 1931 hasta 1980 y se caracterizó por algunos factores socio-económicos como la pobreza en que estaba viviendo la población, la creciente desigualdad social y la concentración de riqueza (Ramos & Cordoba, 2007).

Desde 1929, El Salvador ha tenido varios golpes militares así como gobiernos de extrema derecha. Todo esto dio origen a la conformación de grupos guerrilleros, apoyados por movimientos de izquierda, que impulsaron el nacimiento del Frente Farabundo Martí para la Liberación Nacional, el 10 de octubre de 1980 (Global, 2013).

Las fuerzas militares durante el conflicto armado en el El Salvador

El Salvador inició su conflicto armado en 1980, año en que estalla la guerra civil que enfrenta a las Fuerzas Armadas de El Salvador (FAES) y las fuerzas insurgentes del frente Farabundo Martí para la Liberación Nacional (FMLN). Este conflicto es considerado como uno de los más sangrientos que ha visto el hemisferio occidental. Se estima que durante esta guerra, que duró doce años, murieron más de cien mil personas.

El doctor Corum indica que las Fuerzas Armadas en su conjunto tenían graves dificultades de liderazgo. Además, la selección para el mando se basaba más en las conexiones políticas y los patrocinadores que en los méritos. La mayoría de los enlistados eran simples

hombres reclutados (o presionados), el entrenamiento era mínimo y mediocre. En síntesis, “era un ejército que no estaba preparado para una guerra seria” (Corum, 1998, p. 28).

En comparación con otras áreas de sus fuerzas militares, la Fuerza Aérea Salvadoreña (FAS) fue el brazo de servicio más profesional. Era una pequeña fuerza formada por un pequeño “batallón de paracaidistas, una unidad antiaérea y cuatro pequeños escuadrones con un total de 67 aviones; [fue] considerada como la principal fuerza de combate del FAS” (Corum, 1998, p. 32).

La FAS tenía dos bases aéreas principales. La primaria estaba en Ilopango, en la parte sur del país; la otra, un poco más pequeña, se ubicaba en San Miguel (Corum, 1998).

El Salvador después de la guerra

El fin de la guerra, en 1992, no significó la disminución del crimen. En el periodo de guerra, murieron anualmente alrededor de 6250 personas. En el periodo de la posguerra, los homicidios pasaron de 8019 en 1996 a 8281 en 1998. “El Salvador, con una proliferación de bandas delictivas tras la guerra civil (1980-1989), se ubicó en el primer lugar de la lista, seguido de Irak, donde la invasión de Estados Unidos iniciada en marzo del 2003 se convirtió en un conflicto caracterizado por ataques entre musulmanes chiítas y sunitas, sin ser considerado una guerra civil” (Periódico Desde Abajo, 2011).

Los causantes de estos hechos violentos, fueron aquellos que intervinieron en el conflicto armado, pues una vez terminado se relacionaron con las redes de delincuencia común. De este modo, se presentaron altas tasas de criminalidad y de delincuencia debido a dificultades en la reinserción económica de los excombatientes, el vacío institucional en materia de seguridad pública, justicia y la existencia de armamento circulante que quedó en manos de civiles después de finalizado el conflicto.

Después de doce años de guerra, se firmó la paz y se aplicó una reducción de las Fuerzas Armadas, que pasaron de tener 56 000 miembros a 20 000 (Pérez,

2009). También, con los acuerdos de paz, se incluyeron reformas del sector militar y la seguridad pública (Montes, 2005). Las fuerzas militares se limitaron únicamente a “la defensa de la soberanía y la integridad del territorio nacional” (Montes, 2009), lo que implicó medidas para la “reducción, reestructuración y depuración militar” (García, 2014). Los acuerdos relacionados con las Fuerzas Armadas implicaron la reducción de tropas y cambios en la doctrina en materia de inteligencia (García, 2014).

Cale afirma que el acuerdo de paz firmado entre El Gobierno de El Salvador y el FMLN, intermediado por las Naciones Unidas, no pudo haber sido firmado sin la ayuda militar de los Estados Unidos, específicamente, del Grupo Auxiliar de Asesoramiento Militar (Cale, 1996). Este grupo se desplegó en El Salvador inmediatamente después de que la administración del presidente Carter tomó la decisión de apoyar al gobierno salvadoreño con asistencia económica y militar.

Un primer contingente de cincuenta y seis efectivos militares de Estados Unidos, desplegados en El Salvador para finales de marzo de 1981, se desglosó en las siguientes áreas funcionales:

- a. Aumento del personal de militar (MilGroup) en la embajada de Estados Unidos.
- b. Equipo de entrenamiento móvil (MTT) que trabajaba al interior del MilGroup para fines administrativos, logísticos y de comando.
- c. Equipo Naval de Entrenamiento (NTT), que buscaba ayudar a la Armada salvadoreña a mejorar su capacidad para interceptar la infiltración de armas destinadas a las guerrillas de izquierda.
- d. Personal de entrenamiento y mantenimiento de helicópteros.
- e. Pequeños equipos de entrenamiento de unidades, de cinco hombres cada uno. Estos equipos proporcionaban guarnición y entrenamiento a la nueva fuerza de reacción rápida de los salvadoreños.
- f. Equipos especializados (OPAT), de cinco hombres cada uno, para ayudar a los cinco comandos regionales de El Salvador en la planificación de operaciones específicas.

En el grupo inicial se incluyeron soldados de las Fuerzas Especiales del Ejército que habían sido entrenados específicamente para ese tipo de operaciones. Algunos soldados de las Fuerzas Especiales (boinas verdes) también se encontraban en El Salvador para ayudar a capacitar al personal militar salvadoreño en comunicaciones, inteligencia, logística y otras habilidades. Estas capacitaciones estaban diseñadas para mejorar sus capacidades de interceptación de la infiltración y de responder rápidamente a los ataques terroristas (Montgomery, 1982).

Bases legales

La Constitución política de Colombia (1991), artículo 217, es el punto de partida dentro del marco legal colombiano que rige las actividades de inteligencia y contrainteligencia para el proceso de posconflicto y construcción de la paz. En dicho artículo se indica que

la nación tendrá para su defensa unas fuerzas militares permanentes constituidas por el Ejército, la Armada y la Fuerza Aérea. Las fuerzas militares tendrán como finalidad primordial la defensa de la soberanía, independencia, la integridad del territorio nacional y el orden constitucional.

Es necesario considerar este apartado en la presente investigación, puesto que la Fuerza Aérea ejerce soberanía en el espacio aéreo de Colombia. Para ello, la institución debe hacerse responsable de la preparación de la fuerza para los operativos y ejecución de la guerra, así como de las operaciones militares en épocas de posconflicto y en tiempos de paz.

En este marco regulatorio, es importante también la Ley 684 del 2001 (del 18 de agosto del 2001), por la cual se expiden “normas sobre la organización y funcionamiento de la seguridad y defensa nacional y se dictan otras disposiciones” (Congreso de la República de Colombia, 2001). La inteligencia aérea militar debe contribuir, según esto, con la edificación de la paz en un periodo de posconflicto.

Al hablar de posconflicto y de construcción de la paz, es necesario hacer referencia también a la Ley 1794 del 11 de julio del 2016, por medio de la cual se aprueba “el acuerdo marco entre las Naciones Unidas y el Gobierno de la República de Colombia relativo a las contribuciones al sistema de acuerdos de fuerzas de reserva de las Naciones Unidas para las operaciones de mantenimiento de la paz”. El objetivo de esta ley es “establecer el marco de contribución del Gobierno colombiano a las operaciones de mantenimiento de la paz”. Es importante aclarar que para las operaciones de mantenimiento de la paz de las Naciones Unidas el Gobierno colombiano proporcionará el equipo y el personal necesario. Dentro de este personal, se encuentran las unidades de la Fuerza Aérea que se requieran para mantener la paz y seguridad de la nación en busca de la paz. El personal debe ser capacitado con un alto nivel crítico y de inteligencia.

También se encuentra el Decreto 2176 del 2015, mediante el cual se reglamenta “el funcionamiento del consejo interinstitucional del Posconflicto creado por el artículo 127 de la Ley 1753 del 2015 por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018, Todos por un nuevo país. El consejo interinstitucional articula los programas que contribuyen a la construcción de paz en el posconflicto.

Por último, se encuentra la Ley estatutaria 1621 del 17 de marzo del 2013, por medio del cual el Congreso de la República decreta la “normas para fortalecer el marco jurídico que permite a los organismos que llevan a cabo actividades de inteligencia y contrainteligencia cumplir con su misión constitucional y legal, y se dictan otras disposiciones”. En el capítulo 1 de esta ley, el Congreso de la República de Colombia establece los límites, función, mecanismos de control, supervisión, protección de agentes y la finalidad de las actividades de inteligencia y contrainteligencia. La Fuerza Pública, y los organismos que indica la ley, son los encargados de realizar la función de inteligencia y contrainteligencia, por lo que deben cumplir adecuadamente con la Ley estatutaria 1621. El artículo 3 ilustra la pertinencia de la presente investigación, al referirse a “los organismos que llevan a cabo la función

de inteligencia y contrainteligencia”, dentro de los cuales se encuentra la Fuerza Aérea.

Marco metodológico

A continuación, se presentan los temas que se van abordar en el desarrollo metodológico. Para el cumplimiento de los objetivos propuestos, se realizó una investigación de tipo descriptivo con enfoque cualitativo.

Alcance de la investigación

La investigación fue de tipo descriptivo y utilizó herramientas cualitativas para la recolección de datos. Esta recolección se hizo por medio de una revisión de la literatura sobre las problemáticas que se pueden presentar en un país en la etapa de posconflicto y sobre cómo la inteligencia de la Fuerza Aérea de Colombia puede afrontar las diferentes etapas en los procesos de consolidación de la paz. Con esta información se buscó especificar las propiedades y características de los fenómenos, para someterlos al análisis y “medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre las variables a las que se refieren” (Hernández et al., 2004, p. 95).

Diseño de investigación

Para este trabajo de investigación se empleó el estudio de casos, pues este permite comprender los diferentes contextos investigados para la construcción de conocimiento sobre la base de conceptos con el fin de describir, verificar o generar contenidos. En este caso, se tomaron como referentes las experiencias vividas por otros países. Así, este estudio se basó en “una discusión en la literatura que aborda la investigación cualitativa, con respecto a la forma de considerar los estudios de caso” (Hernández et al., 2010).

La investigación cualitativa establece una postura con respecto al conocimiento existente del caso de estudio. La estrategia permite que el investigador

cualitativo desarrolle un paradigma y un enfoque de recolección de información acerca de los eventos. Se abordan de este modo varios temas teóricos generales asociados con los casos estudiados (Hernández et al., 2010). La estrategia de investigación se orientó por hechos con antecedentes históricos relacionados, y resaltó la importancia de estudios previos sobre el tema, lo que permitió obtener las conclusiones pertinentes (Hernández et al., 2010).

Presentación y análisis de resultados

En este apartado se muestran los resultados y su respectivo análisis. Nos referiremos a las capacidades que debe tener la inteligencia aérea para afrontar los efectos venideros en la etapa del posconflicto.

Resultados

De acuerdo con el análisis cualitativo realizado, se encontró que existen vivencias en la etapa de posconflicto de otros países que pueden ser referente para la toma de decisiones en el área de inteligencia aérea en Colombia.

Entre las amenazas existentes de cara al posconflicto se encuentra la minería ilegal, que es uno de los problemas que afectan la seguridad y el medio ambiente. Otras amenazas frecuentes son la extorsión, el narcotráfico, el tráfico de armas, el crimen transnacional organizado, el terrorismo y el fenómeno de la convergencia. Esta última se refiere a la asociación de distintas amenazas según sus objetivos o sus medios. Todas estas actividades delictivas lucrativas deben tener un mayor control por el Estado colombiano (Ardila & Torrijos, 2017).

De igual manera, en el posconflicto se presentan situaciones particulares como la de excombatientes que amenazan la paz o guerrilleros que no encuentran un papel en la vida política (Garzón et al., 2003, p. 19). Sumando a esto los fenómenos de globalización que determinan la futura economía mundial y afectan a los países en desarrollo de una forma significativa,

surgen las denominadas nuevas amenazas. La actividad delictiva, criminal o terrorista no puede atacarse individualmente puesto que tiene un carácter global, de interconexión y sumatoria transnacional. Esto hace que los enfoques en materia de seguridad tradicionales queden desactualizados (Ardila & Torrijos, 2017).

Dentro de estas nuevas amenazas se encuentran el terrorismo, el tráfico mundial de drogas, la delincuencia transnacional organizada, el tráfico ilegal de armas, la “trata de personas, los ataques a la seguridad cibernética, la posesión y uso de armamento de destrucción masiva y sus medios vectores por terroristas” (Ardila & Torrijos, 2017).

En el territorio colombiano se manifiestan estas problemáticas después de la finalización de conflictos. Además, en nuestro país hay factores complejos como la inconformidad social; la presencia de actores ilegales que explotan los recursos naturales, lo que les da gran rentabilidad; las fronteras porosas, que permiten los fenómenos de convergencia y nuevas amenazas; la debilidad estatal; la corrupción, y el subdesarrollo (Ardila & Torrijos, 2017).

Sumado a esto, algunos autores manifiestan que la inteligencia militar necesita cada vez más análisis de datos para pronosticar las demandas sociales, siempre crecientes, de seguridad (Velasco et al., 2012). Estas demandas provienen de las opiniones de los individuos y estas, a su vez, surgen de la base de información a la que el individuo tenga acceso. “Nadie puede tener una opinión sobre un libro cuya existencia desconoce” (Velasco et al., 2012). Las comunidades actuales tienen un amplio acceso a la información y comunicación, y basadas en ellas se hacen una idea de las situaciones y sucesos y se manifiestan con respecto a ellos. En definitiva, una desinformación puede causar diferencias de opinión que, a su vez, se convierten en un reto para la fuerza de cara a al posconflicto. En el área social, esto constituye un reto de transformación de conductas y de opinión (Velasco et al., 2012).

La inteligencia aérea puede proporcionar datos para análisis con énfasis en al área social. Estos datos brindan conocimiento sobre las actividades que se están desarrollando y sobre la posible manipulación de la información para transformar la opinión cultural a

favor de los grupos ilegales y continuar con sus actividades delictivas. Esta problemática se ha visto en otros campos con la utilización de abundantes tecnologías y medios para transmitir información de forma masiva (Velasco et al., 2012).

En su cuaderno de trabajo, la doctora Carolina Sancho manifiesta lo importante que es pensar en la “ciberinteligencia” como un área en la que interactúan las “personas, organizaciones e instituciones”. La ciberinteligencia es una realidad teórica que emerge para impulsar a las diferentes organizaciones de un Estado a prepararse para afrontar las variantes de transformación culturales que ocultan el accionar de nuevas estructuras delictivas. “Un creciente uso del ciberespacio y constante aumento en su cobertura, puede verse limitado por amenazas y vulnerabilidades” (Sancho, 2018).

El ciberespacio es actualmente la última dimensión o dominio reconocido en la cual las personas, organizaciones e instituciones a nivel nacional, internacional y transnacional interactúan con la finalidad de comunicarse, intercambiar bienes o servicios, generar valor agregado a productos, entre otros (Sancho, 2018).

Análisis de los resultados

Al revisar los resultados obtenidos del análisis de la literatura consultada y de las vivencias de Irlanda del Norte y El Salvador, se pudo determinar que los escenarios posteriores al cese de la confrontación armada implican retos e interrogantes para los actores sociales. Igualmente, los alcances de los procesos hacen que estos acuerdos de paz puedan tomar un rumbo incierto (Herbolzheimer, 2012).

La disolución de un grupo guerrillero no implica necesariamente el fin de la violencia ni la terminación de los problemas relacionados con el enfrentamiento armado. Esto significa que la mayor parte de los retos del posconflicto estarán relacionados con dos tipos de amenazas: las amenazas existentes y las nuevas amenazas. Obligatoria, esto generará cambios en la seguridad que deberán ser la prioridad para el Estado colombiano y sus instituciones (Prieto del Val, 2014).

Discusión

El mayor general Paredes (2011) considera que un “país pacifista por naturaleza como Colombia, debe construir su pensamiento estratégico sobre Hipótesis de Guerra”. Por esta razón, los grandes desafíos derivados de un entorno estratégico como el colombiano consisten en pensar en la reconfiguración de las amenazas a la seguridad y la defensa nacional. Esto implica la proyección del fortalecimiento y modernización de las capacidades existentes de inteligencia de la Fuerza Aérea en el corto, mediano y largo plazo (Paredes, 2011).

El fortalecimiento de la inteligencia aérea cumplirá “un papel decisivo en los escenarios donde se desarrolla el día a día de la etapa de posconflicto” (MINTA). La inteligencia aérea hará “presencia efectiva donde la requieran e indistintamente, en la aplicación de la fuerza o en apoyo de labores humanitarias, al contar con una capacidad de privilegio que la hace de por sí superior” (MINTA).

En ese sentido, se debe realizar una reingeniería a la inteligencia aérea “a fin de [que se especialice] en su rol operativo, liderando las operaciones aéreas, basada en los insumos obtenidos y procesados a través de un recurso humano competente y comprometido con el país y con la fuerza” (MINTA).

La inteligencia aérea

tiene su razón de ser en el conocimiento preciso de la amenaza real y potencial, para evaluarla, prever sus movimientos y anticiparse a su accionar; lo que le permitirá a la Fuerza Pública o a las agencias de seguridad del Estado, hacer más eficiente la aplicación de la fuerza cuando se considere necesario (MINTA).

En Suramérica, la investigación académica en inteligencia estratégica ha sido poco estudiada. Debido a los constantes cambios, que implican la aparición de fenómenos de mayor complejidad como los delitos transnacionales, se requiere de una inteligencia dinámica y oportuna que logre poner en marcha planes directos para responder a estos nuevos retos (Bartolomé et al., 2016). La inteligencia estratégica militar es la encargada de prever y enfrentar los problemas de

la sociedad ligados la seguridad y la defensa. En Suramérica, considerada como una región de paz pero con una historia de “altos niveles de violencia y fenómenos que por su complejidad requieren de lecturas cada vez más especializadas” (Bartolomé et al., 2016), la inteligencia estratégica militar debe ser capaz de “desentrañar las causas y ofrecer respuestas adecuadas para la toma de decisiones” (Bartolomé et al., 2016), en especial en las etapas posteriores al conflicto.

Latinoamérica es una de las áreas con menor índice de conflictividad entre los países. No existen armas nucleares en la región y hay un bajo índice de inversión en gasto militar. La óptica de la estrategia militar permite deducir que ningún país latinoamericano representa una amenaza para el orden mundial. Cobo (2014) afirma que Latinoamérica “es una región que tiene problemas de violencia de tipo regional, que no repercute con gran importancia políticamente hablando ante las grandes potencias mundiales”. Latinoamérica es “una zona de gran potencial en la producción de materia prima para las industrias de países desarrollados” (Cobo, 2014).

Conclusiones

Como resultado de la investigación teórica presentada, se concluye que los procesos de conflicto y posconflicto no son nuevos para Colombia y muchos otros países. Han existido diálogos, acuerdos y firmas de procesos de paz con los grupos al margen de la ley gracias al apoyo y mediación de organismos internacionales; pero también por situaciones que los han obligado a determinar un cese al fuego, desarme, desmovilización y a hacer que los excombatientes se reintegren a la vida civil.

En el periodo posterior al conflicto, se deben instaurar nuevas estrategias que permitan combatir las nuevas actividades delictivas mediante la aplicación de las capacidades existentes de la inteligencia aérea colombiana. Estas capacidades se fortalecieron durante el conflicto vivido, y se requiere que se sigan fortaleciendo y se modernicen para contrarrestar

las actividades delictivas que prevalecen. Aunque los procesos de paz y posconflicto son únicos y diferentes para cada nación, es importante que, en el momento de iniciar las actividades de inteligencia, se cuente con las herramientas necesarias y el personal capacitado que se enfoque en combatir la criminalidad de una manera acertada.

El fin de la guerra no se traduce en el fin del conflicto en la región. Esta es solo la oportunidad para que la Fuerza Pública pueda encauzar sus capacidades en el combate de las problemáticas que se derivan de la continuidad de la criminalidad. Los acuerdos de paz se convierten en oportunidades para que las naciones fortalezcan sus instituciones para que estas, a su vez, puedan responder a los nuevos retos. Estos retos tienen que ver con los grupos que siguen utilizando medios delictivos para mantener el control en las áreas donde anteriormente otros grupos delinquían. Enfrentar a estos grupos se convierte en un desafío esencial para la inteligencia militar en el posconflicto.

La firma de la paz, “no siempre produce los resultados esperados ni cumple las expectativas generadas por la negociación, a pesar de que la terminación de la guerra brinda un entorno positivo para la reducción de los niveles de violencia política” (Prieto del Val, 2014, p. 4). Los brotes de violencia e insurgencia “dependen de una serie de factores internos y externos no necesariamente vinculados a las negociaciones de paz” (Prieto del Val, 2014, p. 7), sino a la conformación de nuevas estructuras que persisten. Hay una mutación en la manera en que opera la criminalidad y el terrorismo transnacional. Estos exigen que la inteligencia militar tome un rol determinante y definitivo, siguiendo la premisa de que “la clave del poder aéreo está en la acertada selección de los objetivos y la clave de la selección de esos objetivos es la Inteligencia Aérea” (Prieto del Val, 2014, p. 11).

Recomendaciones

El presente trabajo de investigación sugiere adoptar las siguientes recomendaciones, emitidas con el fin de mitigar los brotes de violencia producto de actores siguen generando violencia en la clandestinidad. El fortalecimiento de la inteligencia aérea permitirá

suministrar información detallada y en tiempo real para cumplir con los objetivos de interés nacional. Es necesario que la inteligencia y contrainteligencia aérea aporten información oportuna, profesional y consecuente con los deberes constitucionales y morales. La inteligencia aérea debe servir como garante de la seguridad e integridad de todos los colombianos, mediante desarrollo de las siguientes actividades:

- Tomar las medidas requeridas para “prevenir la ruptura de la cohesión interna de la guerrilla y asegurar que cualquier fragmentación o criminalización, no arruine las posibilidades de continuar con el proceso de reinserción a la vida civil” (Herbolzheimer, 2012).
- Erradicar la confrontación armada y construir un escenario que cuente con el compromiso necesario para las partes. Garantizar la oportunidad, el cumplimiento de los tiempos, el respeto de los actores y los alcances del proceso, para que el acuerdo de paz no tenga un rumbo incierto (Herbolzheimer, 2012).
- El posconflicto es el escenario adecuado para que el estado colombiano, en colaboración de las Fuerzas Armadas, utilice la inteligencia militar como garante para llegar sin obstáculos a las zonas más apartadas y marcadas por la violencia.
- Abordar los retos en la etapa de posconflicto por medio del conocimiento que se ha adquirido con las vivencias de otros países, las cuales brindan herramientas para la toma de decisiones.
- Aplicar los conceptos, las capacidades existentes y mejoras tecnológicas para vigilancia, control e inteligencia aérea, con el único fin de proteger al estado colombiano y cuidar su infraestructura energética y vial.
- Que la inteligencia aérea colombiana sea usada para consolidar los fines del Estado. Con la finalización de la guerra por la desmovilización de las FARC surgen nuevas necesidades de transformación por parte de la Fuerza Pública, de acuerdo con los cambios en el panorama nacional, que obligan a redefinir sus funciones y dispositivos.
- La aplicación de la inteligencia tendrá que adaptarse a las nuevas etapas de la seguridad, que presentarán una serie de desafíos que deben ser advertidos desde la actualidad. No se debe esperar a que surjan nuevas amenazas sin que el estado colombiano esté preparado para ellas. Es esencial adoptar un enfoque diferenciado porque el postconflicto será muy diferente de una región a otra (Strong & Jaramillo, 2014).
- Reducir el riesgo de reproducción de la violencia y de recaída en el conflicto. Para ello, será crucial contener el mercado de la violencia, bloquear las posibilidades y ocasiones de reincidencia de los excombatientes, y prevenir el resurgimiento de una facción insurgente o la persistencia de un remanente de las guerrillas que se margine del proceso y que insista en reivindicar la lucha armada, en conexión, probablemente, con actividades criminales (Molano, 2015).
- Se debe desarrollar una propuesta para las operaciones militares y de paz que sean necesarias, con el propósito de anticiparse a las amenazas que puedan venir en esta etapa de posconflicto. En este punto es importante el papel de la inteligencia, ya que no existe otra organización que conozca en mayor detalle a los grupos guerrilleros que han participado en el conflicto colombiano.
- Brindar capacitación y entrenamiento a las Fuerzas Militares, con énfasis en la mutación de la criminalidad. Adquirir tecnología de punta y otros elementos fundamentales para realizar efectivamente la labor constitucional de proteger la soberanía nacional (MINTA).
- La inteligencia aérea debe contar con “tecnología de punta, que detecte y neutralice el accionar delictivo de la amenaza según sea su lineamiento o conformación armada sea posible su neutralización” (MINTA).
- Se deben adquirir nuevos equipos técnicos de inteligencia y contrainteligencia con el fin de modernizar los equipos existentes. Se debe garantizar su reposición, actualización y el fortalecimiento de la inteligencia humana (MINTA).

- Combatir el accionar de las amenazas existentes con tecnología de punta. En especial, debe enfrentarse la minería ilegal como uno de los mayores problemas de seguridad y medio ambiente. A este problema se suman amenazas frecuentes como el narcotráfico, la extorsión, el terrorismo y el fenómeno de la convergencia (Ardila & Torrijos, 2017).
- Combatir las nuevas amenazas, que incluyen el narcotráfico internacional, la delincuencia transnacional organizada, el tráfico ilegal de armas y su conectividad, la trata de personas, los ataques a la seguridad cibernética, la posesión y uso de armamento de destrucción masiva, entre otras (Ardila & Torrijos, 2017).

Referencias bibliográficas

- Alonso, R. P. (2001). *Irlanda del Norte: una historia de guerra y la búsqueda de la paz*. Editorial Complutense S.A.
- Álvarez, E., Pardo, D., & Cajiao, A. (2018). *Trayectorias y dinámicas territoriales de las disidencias de las FARC*. Fundación Ideas para la Paz (FIP).
- Ardila C. C., & Torrijos R. V. (2017). *Políticas públicas de seguridad y defensa: herramientas en el marco del postconflicto en Colombia*. Escuela Superior de Guerra. <https://doi.org/10.25062/9789585605497>
- Bamford, B. (2005). The role and effectiveness of intelligence in Northern Ireland. *Intelligence & National Security*, 20(4), 581-607. <https://doi.org/10.1080/02684520500425273>
- Barbosa, M. (2016). *Desafíos de la Inteligencia Militar del Ejército Nacional en un escenario de posconflicto*. Universidad Militar Nueva Granada.
- Bartolomé, M., Sancho, C., Maldonado, C., Pérez, J., Cruz, G., Pérez, C., Balbi, E., Velastegui, M., Rivera, F., Cabrera, A., & Ordóñez, M. (2016). *Inteligencia estratégica: perspectivas desde la región suramericana*. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. https://www.academia.edu/30787200/Inteligencia_Estrat%C3%A9gica_Contempor%C3%A1nea_ESPE-Ecuador_2016_
- Bello-Montes, C. (2005). Posconflicto y desmovilización: comparativo de las experiencias en Colombia, Camboya y El Salvador. *Revista Criminalidad. La nación y el crimen trasnacional*, 232-241.
- Bello-Montes, C. (2009). Un análisis del homicidio después del proceso de desmovilización de los grupos de autodefensa. *Revista Criminalidad*, 51(1), 163-177.
- Bennett, H. (2010). From Direct Rule to Motorman: Adjusting British Military Strategy for Northern Ireland in 1972. *Studies in Conflict & Terrorism*, 33(6), 511-532. <https://doi.org/10.1080/10576101003752648>
- Bernal, L. (2016). *Proceso de paz del movimiento 19 de abril (M-19) con el gobierno de Virgilio Barco. "Subvertir la paz, negociar la democracia"* [Tesis de pregrado no publicada]. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/5859/1/Lizarazo%20Bernal%20Liseth%20Andrea%202017.pdf>
- Bowlin, M. (1999). *British Intelligence and the IRA: The Secret War in Northern Ireland, 1969-1988*. Naval Postgraduate School.
- Cale, M. (1996). *The United States Military Advisory Group in El Salvador, 1979-1992*.
- Campbell, S. H. (2013). Intelligence in the Post-Cold War Period. *Intelligence; Journal of U.S. intelligence studies*, 19(3), 45-52. <https://www.afio.com/publications/CAMPBELL%20Stephen%20Part%20I%20WinterSpring2013%20AFIO%20INTELLIGENCER.pdf>
- Centro Nacional de Memoria Histórica. (2013). *Los orígenes, las dinámicas y el crecimiento del conflicto armado*. Centro Nacional de Memoria Histórica.
- Charters, D. A. (2009). Counter-Insurgency Intelligence: The Evolution of British Theory and Practice. *Journal of conflicts studies*, 9, 55-74.
- Chernick, M. (1996). Aprender del pasado: Breve historia de los procesos de paz en Colombia (1982-1996). *Colombia Internacional*, 36, 4-8. <https://doi.org/10.7440/colombiaint36.1996.02>
- Cobo, I. F. (2014). *Análisis crítico de la seguridad en Iberoamérica*. http://www.ieee.es/Galerias/fichero/docs_analisis/2014/DIEEEA29-2014_SeguridadIberoamerica_IFC.pdf
- Colombia, Cp. (1991). *Constitución política de Colombia*. Legis.
- Congreso de la República de Colombia. (2001, 13 de agosto). *Ley 684 del 2001*. Diario Oficial 44.522. <http://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?ruta=Leyes/16956761>
- Congreso de la República. (2013, 17 de abril). *Ley estatutaria 1621 del 2013*. Diario Oficial 48.764. https://www.uiaf.gov.co/sistema_nacional_ala_cft/normatividad_sistema/leyes/ley_estatutaria_1621_2013

- Congreso de la República. (2016, 11 de junio). *Ley 1794 del 2016*. Diario Oficial 49.931. <https://diario-oficial.vlex.com.co/vid/ley-1794-2016-medio-645146137>
- Corum, J. (1998). The Air War in El Salvador. *Airpower Journal*, 12(2) 27-44.
- Esquivel, R. (2016). La Fuerza Aérea colombiana y el cese del conflicto armado (1998-2015). *Revista Científica General José María Córdova*, 14(17), 377-401.
- Estrada, F., Moscoso, F. F., & Andrade, N. (2016). Políticas de Seguridad contra el Narcotráfico. *Análisis político*, 86, 29(86), 3-34. <http://dx.doi.org/10.15446/anpol.v29n86.58039>
- Flavin, W. (2003). Planning for Conflict Termination and Post-conflict Success. *Parameters, us Army War College Quarterly*, 33(3), 95-112.
- García, V. (2014). *Reformas al sector seguridad en contextos de post-conflicto armado*. Conferencia FLACSO-ISA. <http://web.isanet.org/Web/Conferences/FLACSO-ISA%20BuenosAires%202014/Archive/6ce04630-f865-4f27-9746-2e6bbc953154.pdf>
- Garzón, J. D., Parra, A. D., & Pineda, A. S. (2003.). *El Posconflicto en Colombia: cordenadas para la paz* [Tesis de pregrado no publicada]. Universidad Jeveriana.
- Gill, P. (1994.). *Policing Politics: Security Intelligence and the Liberal Democratic State*. Frank Cass.
- Global, C. (2013, 8 de junio). *El post conflicto de El Salvador: ¿una lección para Colombia?* Blog de FM El Ciudadano Global. <http://ciudadanoglobalfm.blogspot.com/2013/06/el-post-conflicto-de-el-salvador-una.html>
- González, A. (2017). *Relación entre conflicto y posconflicto: Colombia y los acuerdos de paz*. IEEE. http://www.ieee.es/Galerias/fichero/docs_analisis/2017/DIEEEA25-2017_Paz_Colombia_Postconflicto_AGM.pdf
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2004). *Metodología de la Investigación*. McGraw-Hill Interamericana.
- Henriksen, T. (2008). *What Really Happened in Northern Ireland's Counterinsurgency: Revision and Revelation*. *JSOU Report 08-5*. The JSOU Press.
- Herbolzheimer, K. (2012). *La paz: objetivo claro con rumbo incierto*. Conciliation Resources. <https://www.c-r.org/es/news-and-views/comment/la-paz-objetivo-claro-con-rumbo-incierto>
- IECAH. (2010, 23 de noviembre). *Construcción de la paz*. IECAH. <https://www.iecah.org/index.php/investigacioncp>
- Kennedy-Pipe, C. (1997). *The Origins of the Present Troubles in Northern*. Harry Hearder.
- Kent, S. (1950). *Inteligencia estratégica para la política mundial norteamericana*. Pleamar.
- Lavaux, S., & Lair, E. (2009). *Estado del arte, El conflicto en Irlanda del Norte*. Facultad de Ciencia Política y Gobierno y de Relaciones Internacionales, Universidad del Rosario.
- Llop M. S., Martínez, E. L., & Valeriano E. F. (2013). *Apuntes de inteligencia básica*. División de publicaciones de la Escuela Superior de Guerra Naval.
- Mayer, R. (1983). *Pensamiento, resolución de problemas y cognición*. Paidós Ibérica.
- Miller, W. (1993, 19 de mayo). *The British Experience in Northern Ireland: A Model for Modern Peacemaking Operations?* [Manuscrito]. School of Advanced Military Studies.
- Miranda, E. (2016, 18 de octubre). *La estrategia contra el terror en Irlanda del Norte*. elordenmundial.com.
- Molano, J. L. (2016). *Pautas de corto y mediano plazo para analizar la recomposición de la fuerza pública de cara a un eventual escenario de estabilización y posconflicto*. <http://www.pensamientopenal.com.ar/system/files/2016/05/doctrina43474.pdf>
- Molano R. A. (2015). *El posconflicto en Colombia: Reflexiones y propuestas para recorrer la transición*. Instituto de Ciencia Política Hernán Echavarría Olózaga.
- Monroy, M. (2017). La transición de Irlanda del Norte del conflicto al posconflicto: guía para otras latitudes. *InterNaciones*, 10, 31-52. <https://doi.org/10.32870/in.v4i10.6889>
- Montgomery, T. (1982). *Revolution in El Salvador: Origins and Evolution*. Colorado.
- Newbery, S. (2009). *Intelligence and controversial British interrogation techniques: the Northern Ireland case, 1971-2*. Department of History, Trinity College Dublin.
- Paredes, L. F. (2011). Seguridad y Estrategia: los desafíos del futuro. *Revista Fuerzas Armadas*, 217, 4-5.
- Periódico Desde Abajo. (2011). El Salvador, Honduras y Colombia, entre los países más violentos de Latinoamérica. <https://www.desdeabajo.info/mundo/item/18424-el-salvador-honduras-y-colombia-entre-los-pa%C3%ADses-m%C3%A1s-violentos-de-latinoam%C3%A9rica.html>
- Pérez, T. H. (2009). *El papel de la democracia en sociedades posconflicto y en situación de conflicto armado interno. El caso de El Salvador y Colombia*. Universidad de La Salle de Bogotá.
- Presidencia de la República. (2015, 9 de noviembre). Decreto 2176 del 2015. <https://bit.ly/2XqQg5w>
- Prieto del Val, T. (2014). *La inteligencia militar, una constante histórica*. Instituto Español de Estudios Estratégicos.
- Pulido, J. (2017). La amenaza de la insurgencia criminal en Colombia: El concepto de inteligencia híbrida como nueva

- forma de adaptación de las estrategias tradicionales contrainsurgentes. *UNISCI Journal*, 44, 1-18. <http://dx.doi.org/10.5209/RUNI.55778>
- Ramos, N. L., & Cordoba, R. (2007). *La contribución del proceso de paz a la construcción de la democracia en El Salvador (1992-2004). Construyendo la democracia en sociedades posconflicto*. <http://www.idrc.ca/EN/Resources/Publications/openebooks/340-9/index.html>
- Reyes, M. (2016). *Desafíos de la inteligencia militar del ejército nacional en un escenario de posconflicto* [Trabajo de grado de especialización no publicado]. Universidad Militar Nueva Granada.
- Rojas, J. (2016). Etapas del conflicto armado en Colombia: hacia el posconflicto. *Latinoamérica: revista de estudios latinoamericanos*, 62, 227-257. <https://doi.org/10.1016/j.larev.2016.06.010>
- Sainz, J. (2012). *Inteligencia Táctica*. UNISCI Discussion Papers.
- Sancho, C. (2018). *Ciberinteligencia: contextualización, aproximación conceptual, características y desafíos*. Centro de Investigaciones y Estudios Estratégicos. <https://www.anepe.cl/wp-content/uploads/Cuaderno-Trabajo-N%C2%B01-2018.pdf>
- Spencer, D., & Gómez, J. (2011). *Colombia: camino a la recuperación: seguridad y gobernabilidad 1982-2010*. <http://digitalindulibrary.ndu.edu/cdm/ref/collection/chdspubs/id/18089>
- Strong F. J., & Jaramillo J. M. (2014). *La Fuerza Aérea Colombiana y la acción integral, doctrina y política de Estado*.
- Torres, C. (2016). Conflictos territoriales y acuerdos de paz en Colombia, impactos en el ordenamiento territorial. *Bitácora Urbano Territorial*, 26(2), 7-10. <http://dx.doi.org/10.15446/bitacora.v26n2.59304>
- Urban, M. (1992). *Big Boys' Rules: The SAS and the Secret Struggle against the IRA*. Faber and Faber.
- Velasco et al. (2012). *Inteligencia y seguridad: revista de análisis y prospectiva* (n. 12).
- Villarraga, A. (2017). *Acuerdos de paz entre el estado y las guerrillas (1982 – 2017...)*. Corporación Viva la Ciudadanía. http://viva.org.co/cajavirtual/svc0531/pdfs/Articulo056_531.pdf

Sustainable Design of a Nanosatellite Structure Type CubeSat as a Modular Platform for Tests*

| Fecha de recibido: 25 de enero del 2020 | Fecha de aprobación: 29 de abril del 2020 |

German Wedge Rodríguez Pirateque

Magíster en Ingeniería Mecatrónica

Universidad Militar Nueva Granada,
Programa Doctorado en ingeniería Mecánica y
Mecatrónica. Universidad Nacional de Colombia
Grupo de investigación y desarrollo aeroespacial (GIDA)
y Grupo de investigación en electrónica y tecnologías
para la defensa (TESDA) Cod: COL0152042

Rol de investigador: intelectual,
experimental, comunicativo
<https://orcid.org/0000-0002-8617-0558>

✉ gwrodriguezp@unal.edu.co

Nelson Arzola de la Peña

Doctor en Ciencias Técnicas

Universidad Central del las Villas, Santa Clara, Cuba
Docente titular, Universidad Nacional de Colombia
Grupo de investigación y desarrollo aeroespacial (GIDA)

Rol de investigador: comunicativo
<https://orcid.org/0000-0002-5004-113X>

✉ narzola@unal.edu.co

Ernesto David Cortés García

Ingeniero Mecatrónico

Universidad Nacional de Colombia
Grupo de investigación y desarrollo aeroespacial (GIDA)

Rol de investigador: experimental
<https://orcid.org/0000-0001-7298-7519>

✉ erdcortesga@unal.edu.co

* Artículo de investigación derivado del proyecto *Desarrollo de arquitecturas de control en sistemas multiagente para servicios de observación terrestre*. Financiado por la Universidad Nacional de Colombia.

Cómo citar este artículo: Rodríguez-Pirateque, G. W., Arzola de la Peña, N., & Cortés García, E. (2020). Sustainable Design of a Nanosatellite Structure Type CubeSat as a Modular Platform for Tests. *Revista Ciencia y Poder Aéreo*, 15(1), 108-134.
<https://doi.org/10.18667/cienciaypoderaereo.519>



Sustainable Design of a Nanosatellite Structure Type CubeSat as a Modular Platform for Tests

Abstract: This article is intended to contribute to the development of proprietary technologies and the evaluation and selection of integrated technologies in the study of the aerospace concept necessary for the processes of technological appropriation. The problem addressed lies in the lack of modular platforms and low-cost test systems for experimental development and simulations of satellite systems. Therefore, compared to this the proposal of a scalable modular platform of the 1U CubeSat standard is presented as the main results. The design and characterization process presented from the concept of sustainability, contributes to the use and development of low-cost equipment that minimizes the impact on the environment and, in turn, is practical for its implementation in activities of groups and research centers that promote the diffusion of space technologies in Colombia. The methodology of sustainable design, the definition of design principles and conceptual design, which is materialized with the application of quality function deployment method (QFD), the theory of inventive problem solving (TRIZ), the manufacturability-oriented design (DfM), assemblability (DfA), environmental impact (DfE), reliability (DfR), and safety assessment, are relevant for compliance with the CubeSat operating standards described in CDS. Finally, several constructive modes of the low-cost test platforms are proposed with different materials such as 3D prototyping in paper, ABS, MDF wood and aluminum. All of them are small-scale satellite structures designed and constructed at low-cost. These designs result in the materialization to test on-board systems and integration resistance in assembly and materials, in laboratories as vibration test-bench, for research groups or companies interested in promoting the development of space technologies.

Keywords: Modular Platform; Conceptual Design; Sustainable Design; CubeSat; Nanosatellite; Design by Factors; Testbed.

Diseño sostenible de una estructura nanosatélite tipo CubeSat como plataforma modular para pruebas

Resumen: Este artículo busca contribuir al desarrollo de tecnologías propias y la evaluación y selección de tecnologías integradas para los procesos de apropiación tecnológica en el ámbito aeroespacial. El problema abordado surge de la falta de plataformas modulares y de sistemas de prueba de bajo costo que permitan el desarrollo experimental de sistemas satelitales y la realización de simulaciones. Por lo tanto, se presenta la propuesta de una plataforma modular escalable del estándar 1U CubeSat como principal resultado. El proceso de diseño de esta plataforma con criterios de sostenibilidad contribuye al desarrollo de equipos de bajo costo que minimizan su impacto ambiental y son de fácil adopción por parte de grupos y centros de investigación interesados en la difusión de tecnologías espaciales en Colombia. La metodología de diseño sostenible, la definición de los principios de diseño y del diseño conceptual, materializados con la aplicación del método de despliegue de la función calidad (QFD), la teoría para resolver problemas de inventiva (TRIZ), el diseño orientado a la fabricación (DfM), la capacidad de ensamblaje (DfA), el impacto ambiental (DfE), la confiabilidad (DfR) y la evaluación de seguridad, son relevantes para el cumplimiento de los estándares operativos requeridos por CubeSat. Por último, se proponen varios modelos para la fabricación de plataformas de prueba con diferentes materiales, tales como prototipos 3D en papel, ABS, madera MDF y aluminio. Todos estos son estructuras satelitales a pequeña escala diseñadas y construidas a bajo costo. Los diseños propuestos permiten poner a prueba los sistemas a bordo y la resistencia de la integración de ensamblaje y materiales a escala laboratorio, con el fin de que los grupos de investigación o las empresas interesadas promuevan el desarrollo de este tipo de tecnologías espaciales.

Palabras clave: Plataforma modular; diseño conceptual; diseño sostenible; CubeSat; nanosatélite; diseño por factores; banco de pruebas.

Design sustentável de uma estrutura de nanossatélites do tipo CubeSat como plataforma de teste modular

Resumo: Este artigo busca contribuir para o desenvolvimento de tecnologias próprias e a avaliação e seleção de tecnologias integradas necessárias para os processos de apropriação tecnológica no campo aeroespacial. O problema abordado surge da falta de plataformas modulares e sistemas de teste de baixo custo permitindo o desenvolvimento experiencial de sistemas de satélites e a realização de simulações. Portanto, a proposta de uma plataforma modular e escalável do padrão 1U CubeSat é apresentada como resultado final. O processo de desenho desta plataforma, sob critérios sustentáveis, contribui para o desenvolvimento de equipamentos de baixo custo que minimizam seu impacto ambiental e podem ser facilmente adquiridos por grupos e centros de pesquisa interessados na disseminação de tecnologias espaciais na Colômbia. A metodologia de design sustentável, a definição dos princípios de design e o design conceitual, materializados com a aplicação do método Desdobramento da Função Qualidade (QFD), a Teoria da Solução Inventiva de Problemas (TRIZ), o Design para Fabricação (DFM), a Capacidade de Montagem (DFA), o Impacto Ambiental (DFE), a confiabilidade e a avaliação da segurança são relevantes para atender aos padrões exigidos pelo CubeSat. Por último, vários modelos são propostos para a fabricação de plataformas de testes com diferentes materiais como protótipos 3D em papel, ABS, madeira MDF e alumínio. Todas estas são estruturas de satélite de pequena escala projetadas e construídas com materiais de baixo custo. Os desenhos propostos permitem testar os sistemas a bordo e a resistência da integração de montagens e materiais em escala laboratorial, para que o desenvolvimento desse tipo de tecnologia espacial seja divulgado pelos grupos de pesquisa ou empresas interessadas.

Palavras-chave: Plataforma modular; Design conceitual; Design sustentável; CubeSat; Nanossatélites; Desenho por fatores; Banco de ensaio.

Introduction

The opportunities that come with the democratization of space open doors to developing countries for the use of technologies and the implementation of standards in the provision of aerospace service. Due to the above, it is necessary to engage into processes, procedures and the use of equipment that project the launching of satellite platforms into orbit, such as the CubeSat standard, due to their reduced costs compared to large classic technologies (Paredes, 2010).

Considering these processes of democratization of space, the research problem identified in this work focuses on the deficit of technological capabilities of Colombia within the aerospace field, since the development of such capabilities involves not only public policy processes, but also the search, development and dissemination of the space field, for which the present project proposes mitigation actions. Said actions focus on the search for solutions, such as the identification of tools and the use of physical means, on which progress can be made both in the knowledge of space technologies and in the dissemination and execution of basic activities for the handling of tests, simulations and the general recognition of the variables related to satellite equipment.

In this sense, it is important to identify different types of aerospace technologies or devices with which services are being supplied in orbit, configuration forms in hardware and software (Match, 2016), and other aspects for the support of these services (Báez & Rodríguez, 2010) regarding the possibility of developing production lines, equipment assembly and even test development with user-friendly platforms.

Advances in the development of small-scale satellites are led widely by the United States, as shown in figure 1.

The origin and tendency of these types of satellites arose from a materialized project with the name of “CubeSat” (CalPoly, 2009), by the Polytechnic University of California (Cal Poly) and Stanford University, since 1999. Table 1 shows the classification used according to the satellite mass.

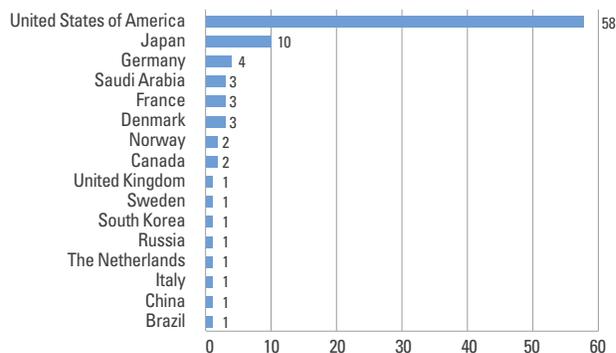


Figure 1. Geographical distribution of peak developers and nanosatellites. Source: Bouwmeester and Guo (2010).

Table 1
Classification of small satellites

Satellite Type	Mass
Mini-satellite	100-500 kg
Micro-satellite	10-100 kg
Nano-satellite (CubeSat)	1-10 kg

Source: Radhakrishnan and Burleigh (2016).

A fundamental purpose of using these smaller satellites is to be able to supply the services of conventional large monolithic satellites using small structures with the same capacities on board, but distributed in different units. Figure 2 shows the use of the standard in dimensional and modular terms, as alternative solutions for ground test systems (Mier-Hicks, 2017).

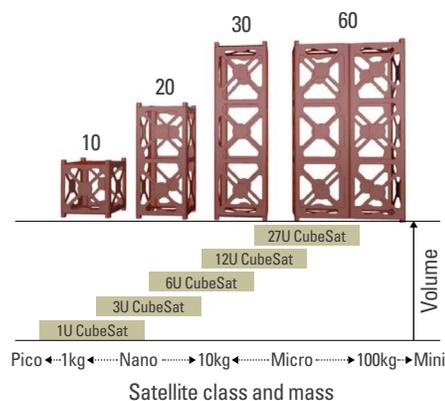


Figure 2. CubeSat basic settings. Source: Poghosyan and Golkar (2016).

It also highlights the high demand for the 3U type configuration (Carnahan, 2014) for different mission and use categories (Owen *et al.*, 2013), both on land and in orbit, such as the use of multispectral cameras in one of the developments carried out by Sergio Arboleda University (Díaz-González, 2014). In addition to the use of different types of structures (Medina, 2018), different studies reflect their interest in the search for alternatives and optimal designs for this type of satellites (Camacho, 2016), such as the work carried out in the University of Patras by (Ampatzoglou & Kost, 2018), in others, designs of cubesat with alternative materials (Sandik, 2012), propose methodologies with specific steps for the design of structures (Herrera *et al.*, 2015). Other works from different universities propose designs such as the CP1 and CP2 California Polytechnic project, UW CubeSat, Washington, CanX-1, Toronto, Cysat, Iowa, NarcisSat, Stanford, TUSAT1, Tylor, ICE cube, Cornell, AAU CubeSat Aalborg, NCUBE, Norwegian Technique (Romero & Rodríguez, 2005). Others analyze designs with coatings and fixed joints for different types of launchers (Arroyave *et al.*, 2015) or validation of life cycle requirements (Maropoulos & Ceglarek, 2010), which in the end promote the use and development of this type of structure.

Taking this background into account, the design of structural platforms for nano-satellites required in the execution of ground tests is justified by the fact that such platforms can be equipped with the different subsystems and components of the satellite system (Jacobs & Ruiz, 2013) in order to physically demonstrate the affectations or strengths of equipment and dimensionality of the components tested, considering not only their physical characteristics (Gavrilovich *et al.*, 2014) but also the implications of the external environment and the phenomena to which the platforms are exposed at the time of being placed in a specific orbit (Antunes, 2012).

In this sense, the problem addressed in this study lies in the lack of modular platforms and low-cost test systems for the experimental development and simulations of satellite systems. Thus, the design of a CubeSat as a sustainable and materializable product (Ullman, 2010) requires the search for information and

possible alternatives for the design of new structures (Araya, 2014) capable of integrating the functionalities of a particular aerospace service (Ulrich, 2015), such as ground observation, which would be the service currently used to address space issues in Colombia and for which the proposals in this article are being formulated. With this, the proposed contribution regarding the design focuses on the utility of replicating satellite structure standards to low-cost modular platforms for laboratory tests and teaching processes in space-related subjects.

This article shows the proposal of scalable modular platform of the 1U CubeSat standard, in addition to the methodology followed for the sustainable development of a nanosatellite. The final scope of the research starts from the design and characterization process of a 1U standard structure, followed by the manufacture of four test platforms in different materials, ending with the demonstration of the use of one of these structures in the setup and design of an experimental test on a vibration bench available at the Laboratory of Industrial Electrical Tests of the National University of Colombia (LABE), as one of the many tests that these structures can be subject to.

The structure of this article contains the research procedural route, the development of each of the development phases, the evaluation of each of the stages of the detailed design analysis, and the materialization of the sustainable product design, evidenced in the manufacture of the prototypes real scale using 3D prototyping in paper, ABS, MDF and aluminum, which compiles the proposed innovation intentions for the use of laboratory satellite test equipment. Finally, we present the experimental test on a vibration bench, showing the effects of acceleration and frequency to which these types of structures can be exposed at the time of launching on board rockets to be put into orbit.

Materials and Methods

Starting from the opportunity of using low-cost technologies and the development of test platforms for

laboratories, the method was proposed within a descriptive and correlational research methodology through the execution of five structural phases, namely:

- a. Definition of design specifications
- b. Conceptual design
- c. Preliminary design
- d. Detail design
- e. Application and manufacturing

These phases bring together the levels of analysis and context of the different requirements, standards and applications used for structuring the platform design and the proposal for innovation in laboratory equipment concepts (Herrera-Arroyave & Pérez, 2015) in order to address different specialized areas that gather the application of space-related issues, from academia to the industry and the state (Tirado & Rodríguez, 2016).

The definition of design specifications establishes a series of procedures that allow identify customer needs and translate them into engineering specifications. In this phase, potential competitors were also identified and the main features and attributes of similar competing products were analyzed. Finally, the design problem and sub-problems were established and fully understood.

The conceptual design was approached through the interpretation of the client's need with its different categories and levels of importance. The analysis of competitors and the description of possible solutions available in the market were developed, not only for satellite laboratory test platforms on a small scale, but also for its components and operating subsystems for putting it into orbit. The functional analysis was also carried out, where the formulation of black and gray boxes of the platform model was obtained, along with the functional decomposition (Ullman, 2010), specified by the generation and integration of the conceptual alternatives of the product.

Throughout the project's execution, various limitations related to time, material resources, and manufacturing occurred. Regarding the time, as a university project, the execution of the prototypes in Paper and

ABS considered a term of 6 months. For the aluminum prototype, Aluminum 6061 is poorly accessible in Colombian commerce and its cost tends to be high. Regarding manufacturing, machines such as bending machines and laser cutters were not accessible for financial resources, so designs such as MDF and aluminum were repeatedly changed. Machines such as the CNC milling machine had a limited space to machine the material, so it was necessary to previously manufacture to access the final design. Likewise, the 3D prototyping machines had a delimited internal space, so the dimensions of the designs were changed.

In this sense, and taking as a reference the conceptual design described and previously formulated, several relevant components were then raised for a preliminary and detailed design of the test platform, such as the definition of product architecture, with their respective schemes and interactions at the system level, fundamental for the detailed design to be developed at the end of the proposal.

Subsequently, the detailed design was developed, a phase where the selection of the components, materials and production techniques was made, the functional interfaces were refined, and physical models and useful prototypes were developed to understand the operation of the product, describing the evaluation and compliance of the functions and performance, together with the assessment of manufacturability (DfM),¹ assemblability (DfA)² (Ullman, 2010), environmental impact (DfE),³ reliability (DfR)⁴ and safety factors, relevant to compliance with design standards for the CubeSat (Alvarez & Walls, 2016).

Based on these considerations, the design characteristics, manufacturing processes, tooling, improvement strategies, product life cycle analysis, product process tree, assemblability evaluation, testing, and design of experiments were established, with their respective factors. Experimental, variables and analysis

- 1 Design for Manufacturing
- 2 Design for Assembly
- 3 Design for Environment
- 4 Design for Reliability

results, planned for evaluation of tests on the modular platform were also established (Medina, 2018).

Finally, the production and process parameters were established for product scalability and application of the engineering design techniques available for the management of laboratory test equipment with CubeSat-type platforms, demonstrating the process by manufacturing the full-scale model in 3D printing, to finally verify its modular use in laboratory tests.

Results

Design Requirements

Based on the design subproblems deduced from the analysis of different types of structures, customer needs and engineering requirements are defined; this is the basis of the design constitution. The design subproblems identified are the following:

- Low load capacity of the device.
- Possible electromagnetic interference.
- Relative low mechanical resistance.
- Limited resistance to temperature changes.
- Lack of portability of flight platforms and their equipment on board.

Customer's need was identified after different processes of information analysis and interviews with sector researchers and equipment dealers for launches of nanosatellites, who argue the need for modular platforms capable of providing performance of test systems and portability of functions for the different subsystems of the satellite equipment. This allowed stating the requirement of test benches, as well as the structures to be able to equip and simulate the reference frame of a nano-satellite, in terms of stability control, positioning and responsiveness to level variations in simulated orbit.

Taking as a reference the description of the client's need and having a possible name for the proposed solution (Nano), table 2 lists the customer's requirements

next to the assigned level of importance, according to a scale between 1 and 5, where 5 means very important.

Table 2
Levels of importance for customer requirements.

Level of importance	Customer requirement
4.0	Nano is lightweight with free joints
5.0	Nano has attachable shapes and joints
4.0	Nano is not contaminable but biodegradable
3.0	Nano has disarmable components
3.0	Nano allows you to insert electronic cards and easily resists your weight
3.0	Nano can be transported and stored in a practical way
4.0	Nano is allowed to scale with the union of components

Based on the functional review, different specific requirements for the platform are added below, as well as its correlation with useful engineering specifications to satisfy the quality function of the basic product design.

Structural Requirements:

- Launch segment protection
- Protection of the space environment
- Interface integration with the P-POD space launch vehicle (Poly Pico-Satellite Orbital Deployer)

Mass requirements and mass distribution:

- 1.33 kg per unit
- Center of gravity within 2 cm of the geometric center

Technological requirements:

- Access by side face
- Minimum access area with maximum 6.5 mm to the normal face
- Minimum width of 8.5 mm rails with rounded edges of 1mm
- Minimum roughness of the rails of 1.6 μm
- Hard anodized aluminum rails to avoid cold welding

- Minimum contact surface of the ends of the rails with the side faces of 6.5 mm x 6.5 mm with the neighboring launch rails, for a 75 % contact secured with the P-POD rails
- Manufacture with 7075, 6061, 5005 or 5052 aluminum alloys

Launching requirements:

- Support static acceleration of the launch vehicle (effects of propulsion systems, aerodynamic loads and inertial loads) and static load by the ejection spring
- No vibrational nodes below the random frequency spectrum (PSD)
- Withstand sinusoidal vibrations due to the growth of the takeoff pulse and combustion of the engines; random vibrations due to the noise and pressure reflected in the launch; shock vibrations measured by the shock response spectrum (SRS) due to the ignition of the propellant systems and the activation of the mechanisms of separation of stages and release of the satellite

Operational requirements:

- Permanent structural union of components for the launch, expulsion and operation of the equipment

1) *Competition Analysis*: The deduction of competitors and suppliers of these platforms results from the debugging and information of contributions to the sector, previously analyzed, and from which the companies ISIS, GOMSPACE, Cubesatkit, Tyvak Nano-Satellite Systems LLC are extracted, as possible references for the outstanding weighting of these requirements, where mainly the levels of forms, unions and requirements of low weight are ratified as the most prominent of the products offered by these companies.

2) *Engineering specifications, category and objective values*: Engineering specifications are presented indicating for each of them the estimated values and ranges of operation (table 3), with which it is expected

to count in the design of the platform, in the same way the categories and possible magnitudes of being considered for the deployment of the quality function.

Table 3
Values and ranges of operation.

Engineering specifications	Values and ranges of operation
Density of construction material	1.2 g / cm ³ (12.1 pts)
Volume of the basic unit of the nanosatellite	1000 cm ³ (30.4 pts)
Total weight of the basic unit	500 g (11.3 pts)
Tensile strength of the structure	50 MPa (10.1 pts)
Platform load capacity	10 kg (16.6 pts)
Basic lateral load area	100 cm ² (9.8 pts)
Operating temperature of the nano	-170 to 150 C (9.8 pts)

In brackets, the score achieved by each of the engineering specifications. This score makes it possible to organize the Engineering Specifications according to their level of importance to meet the expectations of potential customers.

3) *Development of the quality function deployment (QFD)*: The development of the deployment of the quality function addresses the levels of impact and correspondence between the client's requirements and the engineering specifications raised. In relation to the latter, it is possible to observe not only the correlation of impact between them, but also, as shown in figure 3, the weights of the most representative specifications, such as the volume of the structure and the capacity of load of the same, for which the different estimation of impact between customer requirements and engineering specifications, account for the design attributes of greater relevance for the product design.

4) *Application of the Inventive Problem Solving Technique (TRIZ)*: As a result of the interactions and results offered by the deployment of the quality function, the two engineering specifications with higher weights were taken as a reference, that is mentioned the volume and load capacity. These engineering specifications represent the contradictions to work according

Figure 3. Degree of interaction between customer requirements vs. engineering specifications.

Row #	Max relationship value in row	Relative weight	Weight / Importance	Demand Quality (a.k.a. "Customer Requirements" or "Whats")	Quality Characteristics (a.k.a. "Functional Requirements" or "Hows")	Column #						
						1	2	3	4	5	6	7
						▼	▼	▼	▲	▲	▼	▲
						Construction material density	Volume of the basic unit of the nanosatellite	Total weight of basic unit	Tensile strength of the structure	Platform load capacity	Basic side loading area	Nano operating temperature
1	9	15.4	4.0	Nano is lightweight with free joints		⊖		⊖		⊖		
2	9	19.2	5.0	Nano has attachable shapes and joints			⊖				○	
3	9	15.4	4.0	Nano is not contaminable but biodegradable		○	▲					⊖
4	3	11.5	3.0	Nano has detachable components			○		○	▲	▲	
5	9	11.5	3.0	Nano allows to insert electronic cards and resists is weight easily				○	⊖	⊖		▲
6	9	11.5	3.0	Nano can be conveniently transported and stored			⊖				○	
7	9	15.4	4.0	Nano is allowed to scale with the union of components unitarily			⊖		▲		○	

to the TRIZ methodology⁵ technique appealing. When using this technique (Rodríguez, 2017), the attributes mentioned were related in the characteristics to be improved within the design, since the contradiction effect could generate problems in the characteristics of the row, such as the weight of the moving object and the ease of manufacturing.

These being the most significant characteristics obtained from the quality function, it follows that the most significant inventive principles and that are related to these contradictions are both segmentation and copying and even the fact of being able to replace systems within the design. In this sense, both segmentation and copying refer to the possibility of working with modular systems within the design proposal, which are capable of being integrated and scaled if necessary for the implementation and manufacturing of the platform.

5) *Functional analysis*: The general status of small-scale satellite technology platforms represents

different types of mission, among which we want to highlight related designs for topologies and control of network agents.

Within the most common and generically described satellite architectures, the following subsystems are related:

- Structure
- Propulsion
- Power or energy
- Communications

Additionally, the gray box model is developed as the first outline of the entrances and exits of the system, considering both the gravitational movements of the satellites and the effect of stability and armed with components that the platform must replace. Taking into account the subsystems of the on-board platform for different aerospace service missions (figure 4), the gray box model is presented, including the processing of the energy, material and information flow conditions for the observation of the states of each of the components and subsystems.

5 Teorija Rezbjenija Izobretatel'skib Zadach (Inventive Problem Solving Technique).

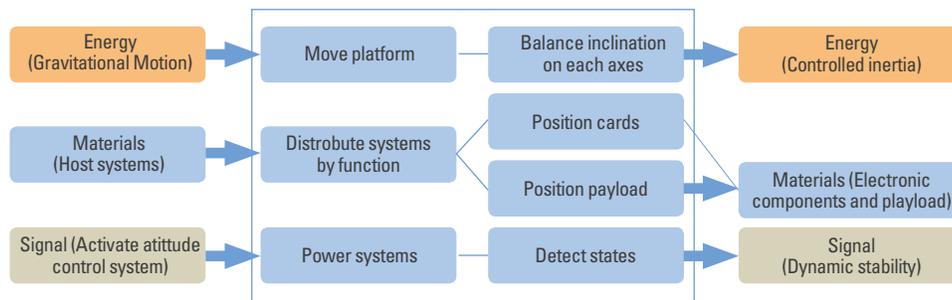


Figure 4. Gray box model for the CubeSat.

After the deduction of the functional gray box model, the complementary functions (figure 5) can be approached from the general functions of the system; for example, attitude control (Meissner, 2019), on-board data control, power supply, communications control, propulsion control and, specifically, and as a particular aspect for functional design, the structural control function is resumed. This last main object of study guarantees both the support and well as the protection and maintenance of the equipment on board the platform.

6) *Application of creativity techniques and concept generation:* The application of creativity techniques in the generation of conceptual solution alternatives for the test platform is supported by external elements such as satellite designs used within the international balltype space station and home artifacts projects for balloon launches, up to design of new models such as the proposed nanosatellite for communications

applications and other services. Another generation of concepts is based on the identification of patterns followed by operational models of modular and deployable platforms, which are currently used in the market.

Finally, the generation of concepts is supported by the search for patents of platforms used for multiple purposes, making use of creativity techniques by analogies focused on the history of patents granted in the market.

7) *Concept Integration:* After the correlation estimates between customer requirements and engineering specifications, added to the functional configuration of the platform, the creation of useful concepts to interrelate the sub-functions of the system is reached through creativity techniques, as is the case presented in figure 6, with the classification tree. The latter allows the integration of the components of each subfunction and clarifies the guidelines for the conceptualization of component operation.

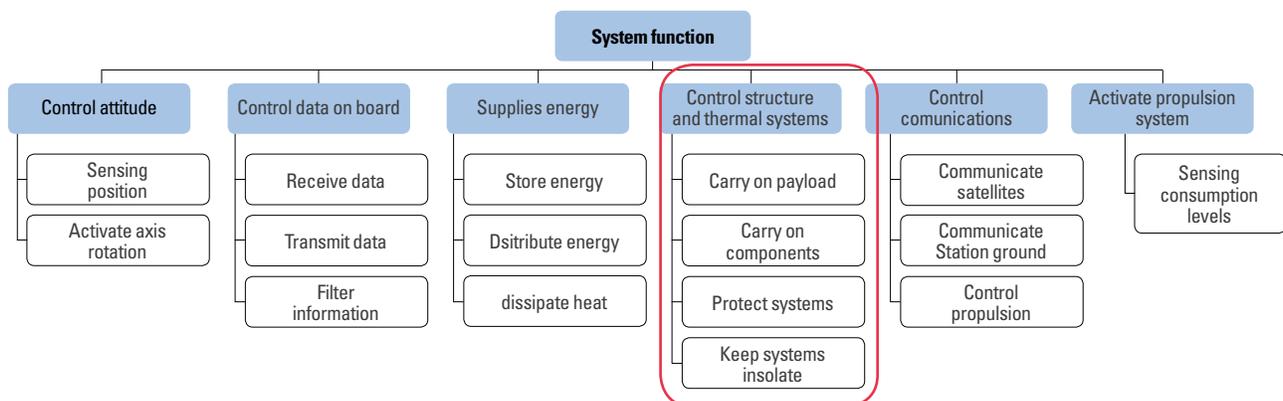


Figure 5. General functional decomposition.

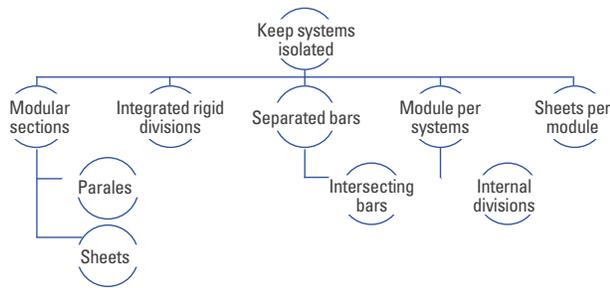


Figure 6. Concept integration (concept classification tree).

8) Evaluation procedure and concept selection: In general terms and after the process of formulating the possible types of concepts for the design of the test platform, these are consolidated in the Pugh decision matrix, as shown in table 4. This matrix allows the evaluation of the different global concepts, obtained by means of combination techniques of elements such as bars, rivets, screws, sections, stops and even profiles, considering CG1⁶, CG2⁷, CG3⁸, CG4⁹. As a result of the application of this evaluation technique, the integrated concept number 2 is obtained as the most promising and strong as a design solution.

Table 4
Pugh decision matrix for the evaluation of the different concepts for the testing platform.

RC	NI	CG1	CG2	CG3	CG4
Nano is lightweight with free joints	4	-3	3	-3	
Nano has attachable shapes and joints	4	0	5	3	
Nano is not contaminable but biodegradable	3	-3	0	-5	
Nano has removable components	5	-3	3	-5	
Nano allows you to insert electronic cards and easily resists your weight	5	0	0	0	
Nano can be transported and stored in a practical way	4	0	3	3	
Nano is allowed to scale with the union of components	4	-3	0	-3	
Total		-12	14	-10	
Score (+)		0	11	6	
Score (-)		-9	0	-11	
Weighted		-33	44	-15	

6 CG1. Sheets, rivets, profiles.
 7 CG2. Bars, screws, sections.
 8 CG3 Bars, rivets, sections.
 9 CG4. Pivot, blades, screws, stops.

9) *Effective transmission of the Global Dominant Concept (CGD)*: As a result of the conceptual design processes, the previous concepts are proposed as alternatives of use in the conformation of shapes and volumes, which meet both the inventive principles of the TRIZ matrix and the integration of the basic elements of the concepts. The guidelines for the construction of a model based on the dominant global concept are given, with the combination of side sections bars and screw-type joint elements, as shown in figure 7.

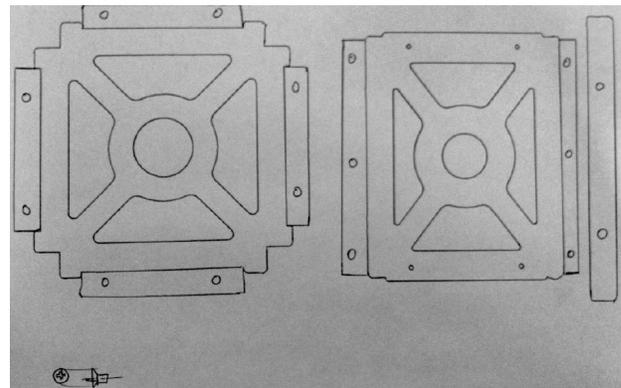


Figure 7. Integrated assembly proposal.

In general terms, a structure with adjustment of the lateral faces is proposed (figure 7), which are the sections included in the concept, unlike the plates that were previously proposed without special shapes or holes, thus achieving visualization of the internal components, as well as the provision for air circulation and thermal protection of the components.

Preliminary design modular platform

In reference to the conceptual design developed so far for the advancement in the development of the structural system of a nanosatellite, different aspects prior to the definition of the design at the system level are related, considering the need to properly document the architecture of the product.

1) *System level design. Product Architecture Definition*: Faced with these characteristics and effects to which the spatial structures are exposed, the different

subsystems of the nanosatellite (Herrera-Arroyave & Pérez, 2015) are resumed, and are described below, to emphasize the design approach at the system level related to the structure of the equipment.

- i. Structural subsystem (shapes and rigidity - made of aluminum alloys).
- ii. Thermal subsystem (active or passive maintains temperature control, its passive category refers to surface finishes and coatings).
- iii. Control and attitude determination subsystem (ADCS), measures and guides, position and orientation.
- iv. Electrical Power subsystem (EPS) - supplies and guarantees energy in the light and shadow phase.
- v. Communications subsystem (sends and receives data from the payload to the ground station, using electromagnetic waves with antennas).
- vi. Command and data subsystem (OBC, On Board Computer) is the on-board control computer, with PC-104 standard connector electronic cards, fire resistant and made of glass fiber reinforced polymer (GFRP), Glass Fiber (Reinforced Polymer item, manufactured by Commercial-Off-The-Shelf - COTS).

On the other hand, in order to advance in the process of detailed design and product generation, it is important to identify the general requirements of space materials, arranged to withstand the difficult conditions to which they are subjected while in orbit:

- a. Tempering
- b. Tenacity
- c. Extreme temperature resistance
- d. Abrasion resistance
- e. Wear resistance
- f. Corrosion resistance

In this sense, and in accordance with the described subsystems, product development focuses on this stage in the evaluation of the structural subsystem. Taking as a reference both the modular architecture and the geometric arrangement at the system level,

different interactions are established between each of the subsystems of the structure in figure 8, such as the versatility and objective stability between the side sections of the model with the respective support bars, which are subject to vibrations at launch and, subsequently, to dynamic loads by the vertical movement of the loading device. Additionally, a vulnerable interaction for the operation of the system is presented, such as the dimensional tolerance between the support bars and the connecting elements, since the friction of subjection and the stability in the rails greatly compromise the safety of the components on board the nanosatellite. Finally, the interaction of resistance and load is established between the joining elements and the frontal sections which are subjected to nodal and shock vibrations to ensure the content and expulsion of the equipment in orbit.

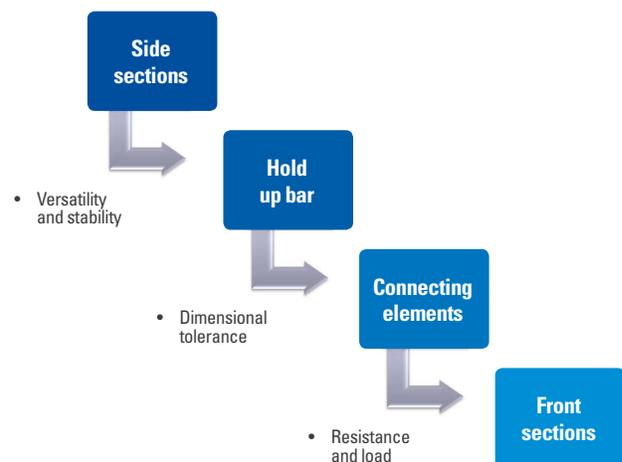


Figure 8. System level interactions.

Based on these interactions and the geometric arrangements that together with the modular architecture integrate the nano-satellite, the detailed design generation can be projected referring to both the materials and the components required for the design sequence (figure 9), this being one of the milestones of the process with respect to the consolidated proposal of the dominant global concept.

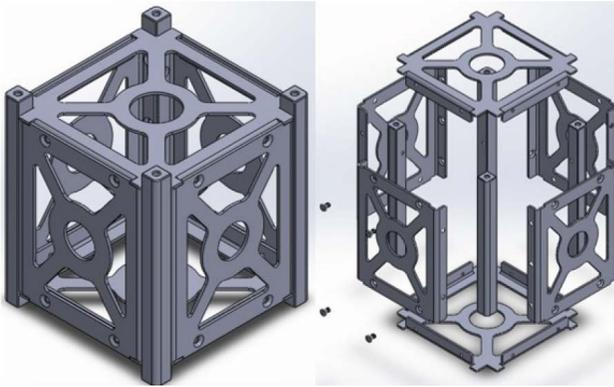


Figure 9. Final graphic model for the CubeSat 1U.

CubeSat structure detail design

The basis for the process of generating the detailed design is addressed by means of the CubeSat type modular architecture, composed of the basic cubic unit with 100 mm side, called 1U, which is scalable to 2U, 3U, 6U even 12U, as additional units in a single modular structure. This scaling is done depending on the load and the specific requirements of each mission.

Detailed design generation

Component Selection: The following is the selection of standardized components according to the identification of interactions and operating interfaces of the proposed platform:

- a. Connecting elements
- b. Structural sheets
- c. Divider sections
- d. Support profiles

It also stands out that the detailed design must start from the selection of standardized components, where the Poly Picosatellite Orbital Deployer (P-POD) launch vehicle is mainly located, within which the nanosatellite whose structure is being developed is to be housed and for which not only dimensions and materials but also process and deployment standards

must be considered, both for launching and for putting into orbit. To do this, the mission design must be clearly defined.

Selection of materials and production techniques: For the right selection of materials and manufacturing processes of custom components of the CubeSat, according to the spatial environment, the following aspects can be mentioned (Sandvik, 2012b):

- Ceramic matrices of amorphous silica and reinforced with ceramic nanoparticles of Titanium oxide, alumina and zirconia
- Aluminum 7075, 6061, 5005, 5052 for structural beams
- Maximum mass of a CubeSat 1U of 1.33 kg
- Structural beams with the following parameters: thickness of 8.5 mm, roughness of the surface of less than $1.6 \mu\text{m}$, and edges of the structural beams of at least 1 mm

Definition of spatial restrictions: In addition to the characterization of the materials available for the manufacture of the CubeSat, it is important to highlight the standardized design of each of the CubeSat configurations about the space restrictions that have been established (Poghosyan & Golkar, 2016), considering the 1U, 2U and 3U configurations, with reference systems such as the physical characteristics and the finishes of the structures.

1) *Development and connection of interfaces:* Considering the parameters previously related to the standards, both structurally and functionally and material selection. Figure 10 summarizes the functional interfaces of definition, and the development and connection between the subsystems of the product.

2) *Description of calculation and computational tools used:* From the geometric and structural definition of the prototype, the static, modal and dynamic analysis of the structure performance scenarios for the CubeSat can be projected. After the simulation of the loads applied to understand their effects (Mooij, 2007), figure 11 shows the lateral deformations due to the induced stresses; for this restrictions are placed on the

bars where the displacement rails are attached to the structure of P-POD (Chin & Puig-Suari, 2008). It can be observed in the results that, despite the generated deformations, the structure remains integrated and the upper and lower sides support the launching forces, without uncoupling the lateral sides of the CubeSat.

On the other hand, figure 12 shows the simulation of deformation of one of the PCB¹⁰ plates that are contained within the CubeSat (Camacho, 2016). There is also an increase in the stresses in the center of the plate where the electronic components of the CubeSat subsystems are located.

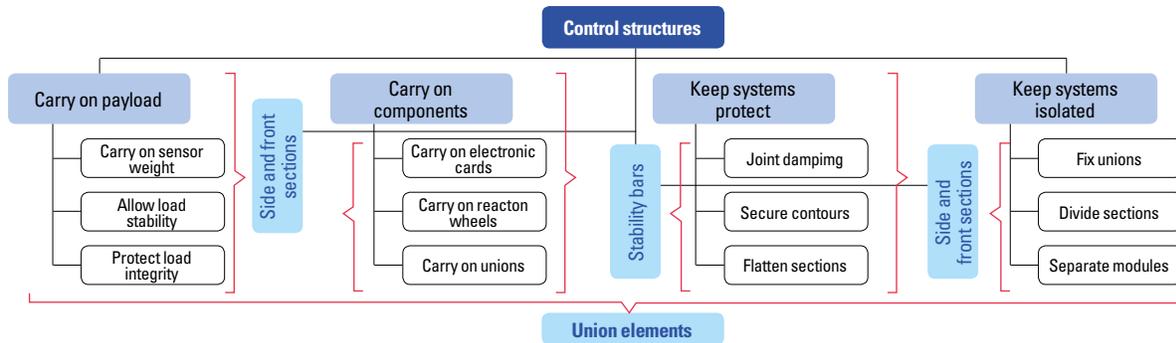


Figure 10. Functional design interfaces.

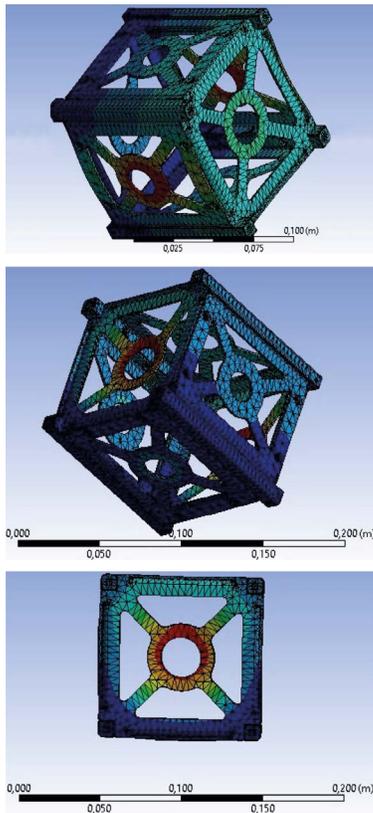


Figure 11. Analysis of displacements on the structure of the CubeSat.

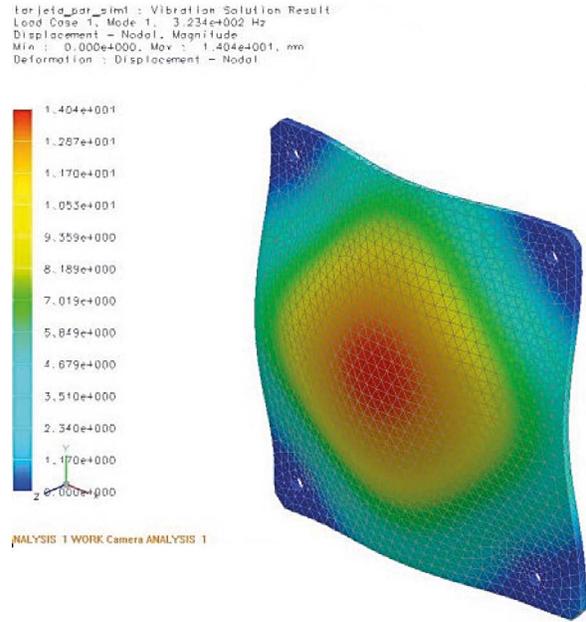


Figure 12. Deformation of the PCB with vibration at 323 Hz
 Source: Pierlot (2009).

10 Protoboard Circuit Board

In addition, it is important to study by thermal modeling the effect of temperature changes during the stabilization process of the CubeSat. Figure 13 shows the influence that the light and eclipse phases have on the CubeSat during its positioning in orbit.

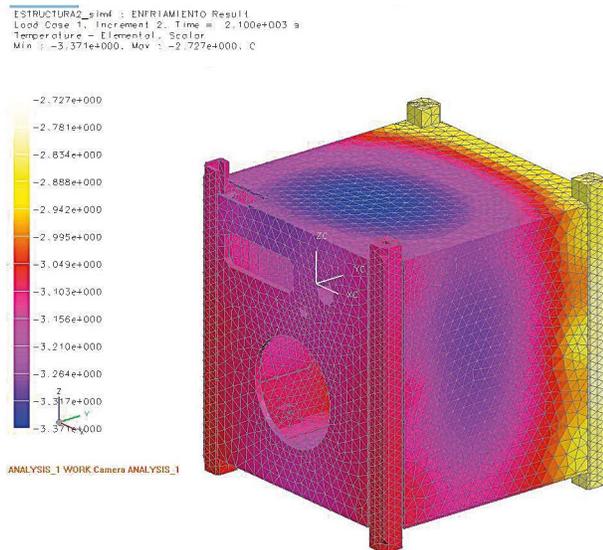
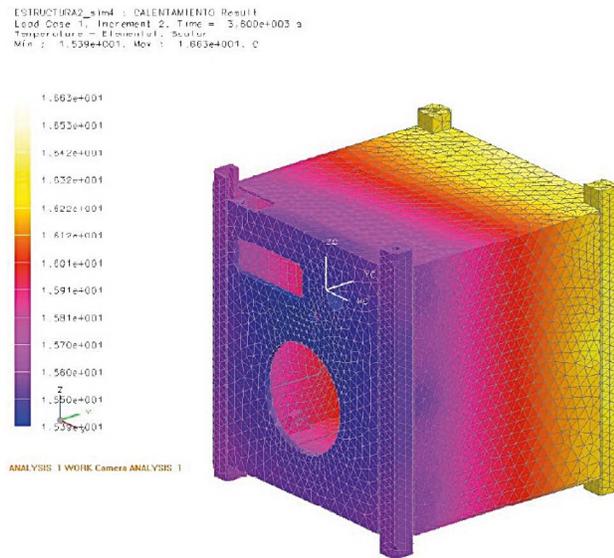


Figure 13. Analysis of the effect of light and eclipse phases.
 Source: Gallegos (2009).

After carrying out simulations of loads, vibrations and thermal effects, which study the aspects that most significantly impact a CubeSat, it is observed that both the selection of standards in materials and components comply with the operating requirements of the structure during all phases of operation.

3) *Modeling and analysis:* As part of the design process, the optimization of the useful volume as a function of the amount of structural material is a fundamental task. To do this, a parametrization of the mathematical model is performed, and a topological optimization of the geometry is used to obtain the final shape of the lateral, upper and lower sides of the structure. The objective volume is defined as the total volume subject to the condition of admissible stress in the structure of the CubeSat, optimizing the payload capacity (Pierlot, 2009). Figure 14 shows one of the simulations used.

The integrity of all the components of the structure is expected from this functional correlation. The right balance must be found between the subfunctions of the platform through the support of the payload, the support of components, the protection, and the isolation of the systems. All these are expressed in geometric terms by means of the design of the lateral, superior and inferior sides of the CubeSat.

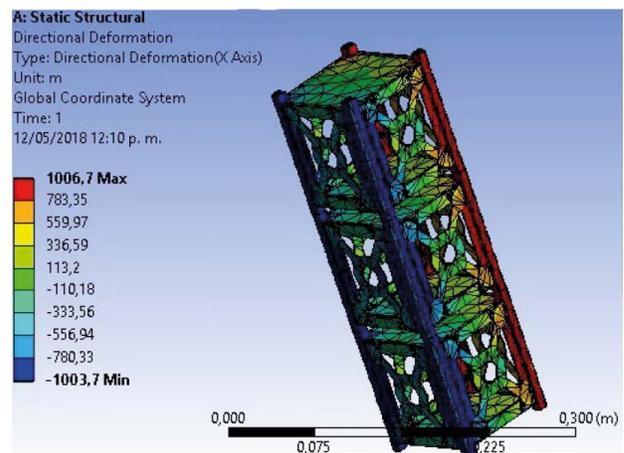


Figure 14. Simulation to obtain the deformations on the structure according to the launch loads on the CubeSat.

Discussion

Evaluation of the product in terms of compliance with functions and performance

For the evaluation of the functions and performance of the product, the prescriptive model of the planning phase is taken as reference with the different steps of the process, which are of use and application in nanosatellite systems. About the different requirements of the customer, table 5 shows the basic design criteria, considering the defined levels of importance, to carry out the respective evaluation of the selected detailed design.

Table 5
Evaluation of compliance with customer requirements.

Level of importance	Requirements of the client	Cubesat design evaluation (0 lower performance - 5 higher performance)	Relative weighting of requirements
4.0	CubeSat is lightweight and with free joints	5	20/20
5.0	CubeSat has coupling shapes and connections	4	20/25
4.0	CubeSat is bio degradable	3	12/20
3.0	CubeSat has removable components	4	12/15
3.0	CubeSat allows to introduce electronic cards and resists its weight easily	4	12/15
3.0	CubeSat can be transported and stored in a practical way	3	9/15
4.0	CubeSat is scalable with the union of components unitarily	4	16/20
Total	Customer requirements assessment	27/35	101/130
	Total percentage	77%	

Table 6 Shows the evaluation of compliance with the engineering specifications for the selected detail design.

Table 6
Evaluation of engineering specifications.

Engineering specifications	Relative weight	Global Concept # 2 Compliance level: 0-10	Total
Density of the construction material	12.1	9	108.9
Volume of the basic unit of the nanosatellite	30.4	8	243.2
Total weight of the basic unit	11.3	7	79.1
Tensile strength of the structure	10.1	6	60.6
Loading capacity of the platform	16.6	7	116.2
Basic side loading area	9.8	7	68.6
Operating temperature of the satellite	9.8	5	49.0

Product evaluation in terms of manufacturability, assemblability and costs (DfM y DfA).

The design oriented to the manufacturability, the assemblability, and the analysis of costs retakes the analysis and redefinition of each one of the components, along with the constructive processes required to obtain the CubeSat at a competitive cost. For this, not only the inputs and outputs of a manufacturing system are considered, but also the materials and products involved in the production activities of the CubeSat.

1) *Design oriented to manufacturing:* Manufacturability is approached from the analysis of the manufacturing system necessary to produce CubeSat. Figure 15 shows a diagram detailing the inputs and outputs necessary to guarantee the manufacture of the product in question. The inputs consist of the raw materials, such as the basic construction materials of the platform (Delgado, 2016), the standardized components, the estimate of the labor, supplies, energy, services, tooling, and necessary information for each one of the required processes. On the other hand, the outputs of the system are composed of finished products, waste materials, recyclable and reusable parts.

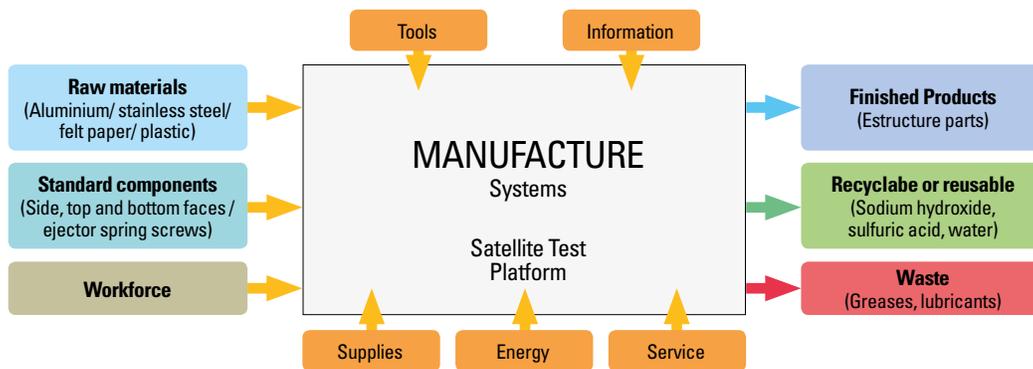


Figure 15. Scheme of the manufacturing system required to produce CubeSat.

The manufacturing processes of the CubeSat type structure considers the following work groups and process parameters:

Sheet cutting processes:

- Electric shear

Machining processes:

- CNC and conventional milling for the side faces
- Cutting by laser or EDM-CNC, for geometries of the lateral and superior sections of the CubeSat
- Threaded and cylinder operation for the machining of the separation spring between CubeSats

Bending process:

- Neutral fiber radius
- Bending length
- Bending tolerance
- Stretch length
- Folds

Milling process:

- Revolutions per minute
- Cutter, roughing and finishing

Surface coating process:

- Anodized for the rails or structural bars to avoid cold welding with the P-POD structure

The cost model is based on the calculation of the production cost of a unit of product, which is determined by means of the expression (1).

$$C_{\frac{s}{u}} = \frac{(C_{set} + C_{tool})}{V_{prod}} + C_{var} \quad (1)$$

where C is the total cost of production of a unit of product, C_{set} is the cost of preparation, C_{tool} is the cost of tooling and other non-recurring costs, V_{prod} is the volume of production and C_{var} the variable costs to produce a product unit. According to the processes formulated in table 7, the evaluation of manufacturability is related to each of the pieces of CubeSat, qualifying the level of impact, accessibility, and estimated costs (Gallegos, 2009).

Table 7
Qualification of CubeSat manufacturability. High (H), medium (M) and low (L).

Parts	Process	Environmental impact	Accessibility	Costs
Lateral and top sides	Laminate	M	M	M
	Shearing	L	H	L
	Laser cut	L	M	M
	Bent	L	H	L
	Shearing	L	H	L
Vertical support bars and rail guides	Boring	M	H	L
	Anodized	H	L	H
	Cylinder	M	H	L
Elements of joint and fixation	Threaded	M	H	L
	Bucking	M	H	L

2) *Design oriented to assemblability*: Based on the disposition of the different parts of the structure, the characteristics and qualifications of the assemblability performance of the design are evaluated. For this, the number of parts and fasteners, assembly sequences, coupling trajectories, and accessibility to the different interfaces are considered. From this, 54 reference points are obtained as evaluation parameters and improvement criteria for the design of the components, where the general scheme, the recovery of parts, and the handling and joint of these are evaluated. The cost model for the task of assembling the product is defined with the help of expression (2) (Boothroyd, 2005).

$$C_a = C_H (t_{man} + t_{ins}) \quad (2)$$

Where C_a is the cost of assembly, C_H is the hourly rate of assembly, as in the equation t_{man} is the time to take and manipulate the components and finally t_{ins} is the time to attach and fix the components.

Design oriented to the environmental impact of the product (DfE)

For the analysis of the environmental impact, the life cycle of the satellite test platform is defined, with which the different aspects that generate a certain impact are identified and related to the intensity of use of the raw materials, standardized components, process of production, quality control, packaging, storage, marketing and distribution, use by the customer, maintenance and repair, product recall, recycling and reuse (EHU/UPV, 2017). Figure 16 shows a simplified diagram of the life cycle phases for the CubeSat.

For this activity, the CubeSat life cycle process tree is developed (figure 17) based on the different basic composition materials of the structure, processes, uses and final disposal. For this product, there is a multipurpose disposition in the laboratory. The above as a result of its nature, destined to the simulation of systems on land and the modeling of multi-agent control systems with on-board equipment.

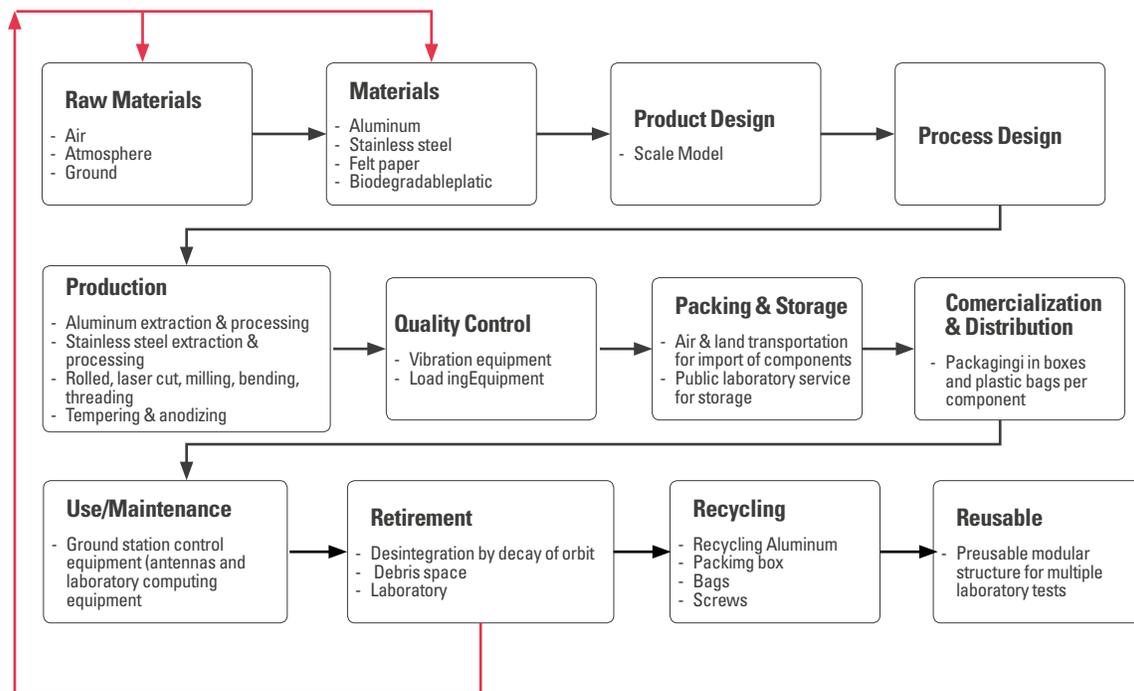


Figure 16. Diagram for the life cycle analysis of CubeSat.

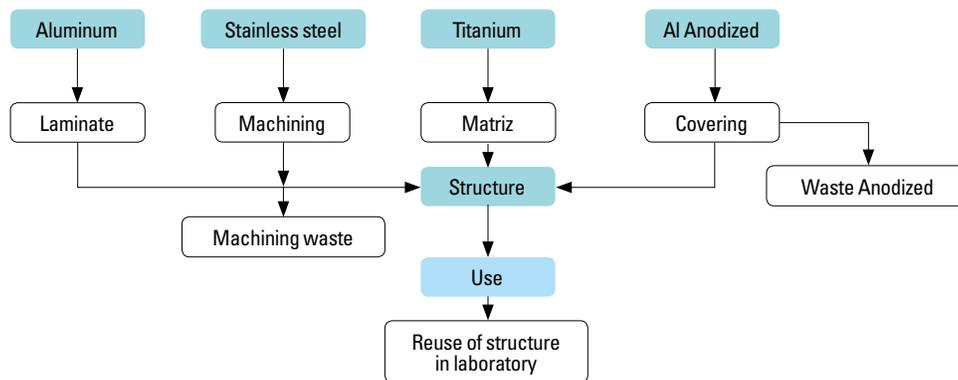


Figure 17. Process tree for the CubeSat life cycle.

Based on the life cycle and the product process tree, improvement strategies aimed at achieving a sustainable design are implemented. For this purpose, the concepts of each strategy, their respective scales and comparison with the reference model of the market and the designed product are used. As strong aspects of the generated product, we can mention the significant reduction in the use of materials and the decrease of the environmental impact during use, typical of a reusable platform. The eco-efficiency index of the proposed design is an important indicator to characterize the efficiency of the product in terms of the value it produces and how much it negatively impacts the environment throughout its life cycle (Louzguine *et al.*, 2000). The eco-efficiency index is calculated according to the equation (3).

$$I_{eco} = \frac{V}{El_{LC}} \quad (3)$$

Where I_{eco} is the index of eco-efficiency, V the value of the product, and El_{LC} is the environmental impact throughout the life cycle of the product. As a value of the product, the estimated net profit is taken according to the sale price that the potential customer would be willing to pay and the unit production cost that has been projected. On the other hand, to determine the environmental impact during the life cycle, it is necessary to determine the individual values of each of the processes involved in the manufacture, distribution,

final use of the platform, and removal of the product at the end of its useful life. Here we take as a starting point, for example, the extraction of bauxite ore and the production of aluminum as the main material of several of the CubeSat components.

About the different processes previously described, the environmental impact assessment for CubeSat is presented in table 8.

Table 8
Environmental impact assessment of the CubeSat structure

Item	Process	Quantity	Indicator	Result
Production (raw materials and processes)				
	Aluminum	0.8 kg	780	624
	Stainless steel	0.2 kg	86	17.2
Fabrication process				
1	Aluminum bending	0.8 kg	0.000047	0.0000376
	Aluminum shearing	0.2 kg	0.00006	0.000012
Chemical derivatives				
	Sulfuric acid	0.018 kg/L	22	0.396
	Sodium hydroxide	0.01 kg/L	38	0.38
Use				
2	Low-voltage electricity	20 kWh	37	740
Final disposition				
3	Cardboard packaging	0.2 kg	69	13.8
	Municipal waste	1.33 kg	2	2
	Total indicator			1,397.66

Returning the index of ecoefficiency with the value of utility of the estimated product of USD 3,700, due to the quantification of total costs of investment in the platform and the value of environmental impact totalized during the life cycle, the CubeSat modular structure has an eco-efficiency index as calculated in equation (4).

$$I_{eco} = \frac{3700\text{USD}}{66 \text{ eco-points}} = 2647;3 \frac{\text{USD}}{\text{eco-points}} \quad (4)$$

Design oriented to reliability and security (DfR y FMEA)

Design oriented to reliability: The following verification aspects and test specifications are verified for the approval of the CubeSat structure at the time of scheduling the launch:

- Test of structural loads: support acceleration in each axis and in both directions.
- Random vibration test: support random vibration environment.
- Test of sinusoidal vibrations: support sinusoidal vibrations environment.
- Spatial thermal cycle test: withstand thermal cycles without presenting fatigue failure.

Taking the categories of tests performed on the CubeSat structure for its operation, the vibration test was selected as a reference for the analysis of the reliability of the design. For this, the test parameters for the design of experiments that appear in (Kuehl, 2001)

are taken, which is done by the computational simulation method.

The central purpose of the experimental design is to determine the fault elements subject to structural vibration loads, such as modeling the process of placing a CubeSat into orbit according to the standards by the European Cooperation for Space Standardization (ECSS). The hypothesis to be tested is the following: the structural supports and joining elements of the modular platform remain coupled and fixed under the conditions of the vibration test. To answer this, the following independent factors and experimental response are established:

Experimental factors:

- Amplitude
- Frequency

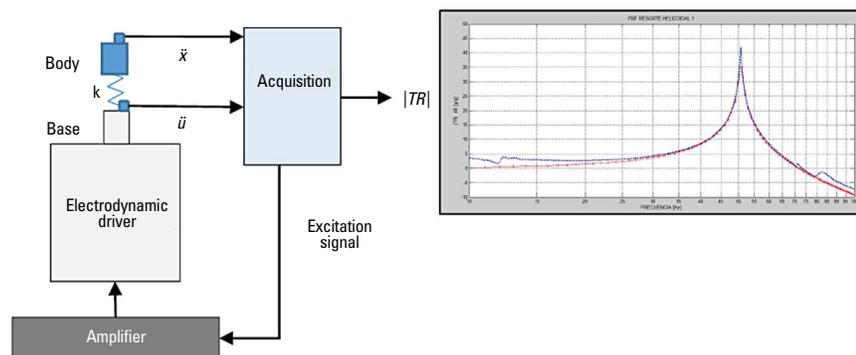
Response variables to be measured:

- Displacement (each longitudinal axis x, y, z) in mm
- Maximum acceleration (each longitudinal axis x, y, z) in units of gravity

Figure 18 shows the arrangement of the elements used to carry out the experiment. The main components of the experimental assembly are:

- Amplifying equipment
- Electrodynamic exciter head
- Support base and fixing clamps
- Vibration sensors
- Data acquisition and processing system

Figure 18. Study assembly of a structure supported on a mobile base.
Source: Arroyave (2015).



At the end of the acceptance of the proposed hypothesis, based on the simulations, the rethinking and refinement of the physical model and the product prototype take place. Then a reevaluation of the client's requirements and engineering specifications is performed.

Design oriented to security: This activity considers the following aspects of safety within the concept of structural design of the test platform, which present the conditions under which risk factors could occur in the product:

- a. Design of components without dimensional tolerances
- b. Materials not resistant to extreme temperatures
- c. Failed structural support tests
- d. No use of standards for the structure and components on board
- e. Non-modular or scalable design
- f. Absence of quality controls (dimensional tolerance control, mechanical properties control of materials, etc.)
- g. No availability of a component assembly manual

Finally, the failure mode and effect analysis (FMEA) is developed, whose fault evaluation matrix is shown in table 9. This identifies the potential potential

failures of CubeSat, together with the evaluation of the level of severity, estimated frequency occurrence, and ease of detection. The product of these three variables allows the calculation of the priority risk number (PRN). The latter establishes an order of priority for potential failures and facilitates the drawing up of an effective action plan, necessary to minimize or eliminate the risk of the product developed.

Based on the identification of the potential mode of failure, its effects, and the PRN, the risk management and minimization actions are projected (Tsarev, 2013). In the case of CubeSat, the support function of the components resulted in a PRN of 270 points. Fortunately, for this case, because it is a test structure on the ground, it would not be exposed to the thermal effects or extreme loads to which these platforms are exposed.

Finally, a strategy to improve industrial design was implemented. The structure is revised in terms of including the following design features: defined and scalable geometries for the coupling between sides and support bars; geometric interstices for the identification and visualization of internal components, beveled sections for easy manipulation and positioning between sides; smooth surfaces for the anti-adhesion of material external to the structure; and holes symmetrically distributed for the union of components and an easy location of elements within the structure.

Table 9
Matrix of modal analysis of failures and their effects.

Item/Function	Potential Failure Mode(s)	Potential Cause(s)/ Mechanism(s) of Failure	Severity	Potential Cause(s)/ Mechanism(s) of Failure	Prob	Current Design Controls	Det	RPN
Carry on systems								0
Carry on components	Vibrations	Disarm	9	Joint mismatch	6	Threaded parts	5	270
Protect systems	Disintegration of parts	Structural heating	7	Thermal unlock	4	Parts coating	4	112
Keep systems isolated	Fracture of parts	Component fusion	6	Electrical contacts	5	Isolating material	4	120

Application and manufacture model platform

To apply the design process developed, the construction of the model is carried out using the prototyping technique by 3D printing—the first with cellulosic construction material and the second in polymeric material type Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS)— with the object of proposing two alternatives for the use of modular structures in the laboratory. The above, under the premise of dimensional tolerance assessment and selection of the best sustainable performance option, both for its environmental impact and for its complete design, manufacturing and end use condition, with subsystems on board for specific tests in each material.

The manufacturing processes used to manufacture the prototypes are described next. First, developed 3D models are converted to an .stl extension, which is suitable for prototyping. Subsequently, the model parts are placed inside the work trays and the configuration of the polymer injector step is executed in the case of the ABS and the cutting blade in the case of paper printing, as well as the application of the additive for the adhesion of each one of the sheets of paper. Then, the determination of the volume of material for the model and the support material for the two printing cases is made, from where the estimation and time projection for the printing process is made, according to the number of trays configured by the number of parts required. Finally, the demolding is carried out, which for the case of paper is expensive due to the separation of the model from the layers adhered to the paper block. The use of polymer requires acids for the removal of support material, which negatively impacts the environment and decreases the rate of eco-efficiency of this product. After the demolding process, the finish and integrity of each of the parts is verified, and the final model is assembled and tuned for each of the manufacturing methods used.

Figure 19 shows the models constructed with cellulose, both in the 1U and 3U configuration, respectively. Figure 20 shows the models built with ABS, both

in the 2U and 3U configurations, respectively. All are defined as a structural subsystem according to the CubeSat standard. On these structures it is possible to assemble the CubeSat work subsystems: thermal subsystem, subsystem of control and attitude determination (ADCS), electrical power subsystem (EPS), communications subsystem, and subsystem of commands and data. They can be assembled in the structure and put to the test (Araya, 2014), for evaluation of space technologies, in laboratories workbenches, where variables of analysis in aerospace development projects are specified.

Paper



Figure 19. Cellulose final prototypes for 1U and 3U configurations.

ABS Polymer



Figure 20. Final ABS prototypes for 2U and 3U configurations.

Final ABS prototypes allow us to recreate the classic CubeSat structure varying the materials, sizes, volume, and manufacturing.

Wood

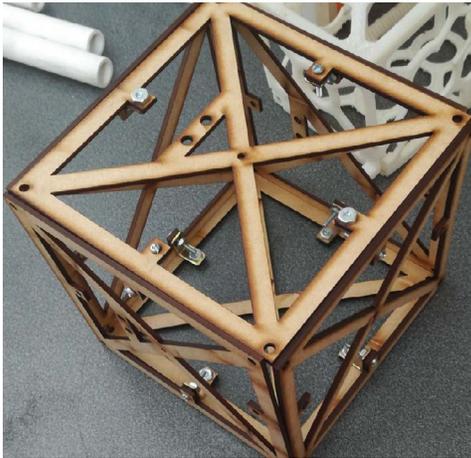


Figure 21. MDF Non-standard CubeSat

The prototype in wood (figure 21) was made with agglomerated wood medium density fibreboard (MDF) of 3 mm thickness, and was manufactured with laser cut.

Aluminium

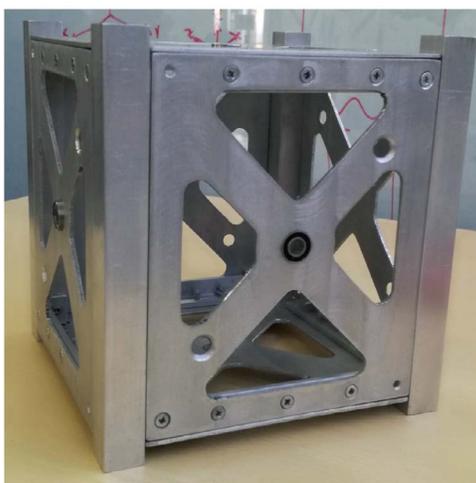


Figure 22. Aluminium Non-Standard CubeSat

The prototype in aluminium of the figure 22 was elaborated with aluminium-60601 with 2 mm of thickness. The complete design and manufacturing is available in the work by Cortés-García *et al.* (2019).

The results of the design and construction process of the test platforms from different materials pose several challenges not only to the manufacturing processes but to the achievement of raw materials and assembly processes, such is the case of the evaluation of physical properties and with the machining and associated tools, for final disposal as modules of the test system.

Table 10
Production Analysis, Eco indicador.

Production Analysis 1U CubeSat Structure				Eco indicador point (mPt)
	Volume structure (148.9 cm ³)		Eco indicador	
Material	Density (g/cm ³)	Amount (g)	Production	Total
Paper	1	148.9	96	14.3
Polymer	1.03	153.4	360	55.3
Wood	0.45	67	39	2.6
Aluminium	2.7	402	780	313

The analysis of the eco-indicator against the production of a material for the manufacture of the 1U structure (Louzguine *et al.*, 2000) (table 10) offers an overview of the impact that the current production of these structures generates with the different exposed materials. However the analysis should be further expanded to the complete processes of the life cycle of the test platforms. In this sense, it is necessary to include aspects of reuse, recycling or disposal, as well as aspects of maintenance and frequency of use in a laboratory, to assess the effect or drastic reduction of their life useful. Just as the life cycle conditions of the structure give a guide for its production, so do the processes of component installation, assembly, and the effects of the tests themselves, which are precisely aspects to consider in the final design process of the test structures, with which various constructive options are

given for their use, depending on the type of test and the efforts to which the platforms will be subjected in the laboratories.

Cubesats Testing Performance

According to the CubeSat Design Standard (CDS) (Carnahan, 2014), a test performance is needed to accomplish the Launch Provider's requirements. Generally, CubeSats are coupled into P-POD, and after the launch procedure they are deployed into space; reason why those tests must be performed with this coupling POD. At the very minimum, all CubeSats will undergo the following tests:

- Random Vibration: Performed as defined by the launch provider, which usually oscillates up to 100 Hz.
- Thermal Vacuum Bakeout: It is performed to ensure proper outgassing of components. The specifications are outlined by the launch provider.
- Shock Testing: It is performed as defined by the launch provider.
- Visual inspection: Carried out to analyze and measure critical areas and should be carried as specified per the appropriate CubeSat Acceptance Checklist (CAC) protocol.
- CubeSat Testing Philosophy: It is subject to a qualification or protoflight testing as defined in the CubeSat Testing Flow Diagram. Test levels and durations are supplied by the P-POD or the launch provider.

According to the different tests these structures must undergo, only the vibration test for one of the platforms built is taken as an application example, taking into account that other projects for the design of benches are being developed at the same time; test that in subsequent phases of the present project will be integrated into the developments. The National University of Colombia has a Vibration test bed located at the Electrical Laboratories, where the Random Vibration Testing can be performed (figures 23 and 24).

This test bench can performance vibrations up to 100 Hz and 5 g of acceleration, as shown in figure 25.

However a P-POD is needed to coupled the 3D-printed CubeSats and perform according to launch providers requirements.



Figure 23. Non-standard CubeSat coupled at Vibration test bench. Source: Cortés-García *et al.* (2019).



Figure 24. Non-standard wood and aluminium CubeSats coupled at Vibration test bench.

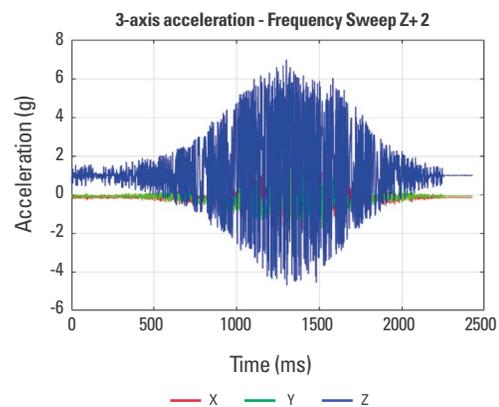


Figure 25. ADXL345 Acceleration sensor measurement for vibration test-bed tuned to 50 Hz.

Source: Cortés-García *et al.* (2019).

Conclusions

The application of the sustainable product design process allowed the presentation of the integrated use of modular satellite platforms in accordance with the CubeSat Standard. With this, it is possible to implement simulation exercises of the different types of satellite subsystems on a small scale for tests at the laboratory level.

A set of design techniques was applied for the selection of the dominant global concept and the correct development of the detailed design required to present an alternative model of experimental structure. This work motivates and promotes work on space issues, thus allowing the development of the aerospace sector in the country and the search for tools to apply control techniques and design strategies on the different subsystems on board the structure.

The final prototype CubeSat covers the need of different centers and research groups, as well as companies in the sector, to implement prototypes and devices on which research resources related to modular platforms can be applied, either to test existing systems technologies of control or to model behaviors of new developments that placed in orbit can offer better performances than those currently obtained by small-scale satellite systems.

For emerging economies these platforms allow a closer and more favorable approach for the adaptation and appropriation of satellite technologies, to the point of contributing in the medium term to the design of space missions or programs with which academia, industry and the state join efforts to have direct control, and not outsourced, of the aerospace services in the national territory.

Future research

Implement and improve design techniques, as well as having adequate laboratories for full compliance with the CDS quality standard.

In the same way, acquire adequate instrumentation for the study of the subsystems present in a satellite, as well as the design and development of modular CubeSat platforms for the promotion of educational and productive spaces where skills and work techniques are developed in classrooms, laboratories and research facilities, which make it possible to analyze the behavior of variables and propose new designs and processes for training in space.

Lastly, aim at the design and creation of satellites that can be put into orbit with functional missions.

References

- Alvarez, J., & Walls, B. (2016). Constellations, clusters, and communication technology: Expanding small satellite access to space. *2016 IEEE Aerospace Conference*. Big Sky. <https://doi.org/10.0.4.85/AERO.2016.7500896>
- Ampatzoglou, A., & Kostopoulos, V. (2018). Design, analysis, optimization, manufacturing, and testing of a 2U CubeSat. *International Journal of Aerospace Engineering*, 2018, 1-15. <https://doi.org/10.1155/2018/9724263>
- Antunes, S. (2012). *Surviving orbit the DIY way*. O'Reilly Media.
- Araya, F. (2014). Modificación de la estructura principal de un nanosatélite. *ESSS Conference & ANSYS Users Meeting*. ESSS & ANSYS Users.
- Báez, A. A., & Rodríguez, O. A. (2010). *Diseño de los sistemas estructural, de alimentación de energía solar y construcción de prototipo estructural de un pico satélite para el C.I.E. de la ESPE*. [Engineer thesis, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE]. Repositorio Institucional de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
- Boothroyd, G. (2005). *Assembly automation and product design*. Taylor & Francis.
- Bouwmeester, J., & Guo, J. (2010). Survey of worldwide pico- and nanosatellite missions, distributions and subsystem technology. *Acta Astronaut*, 67(7-8), 854-862.
- California Polytechnic State University [CalPoly]. (2009). Cubesat design specification. *Calif. Polytech. State*, 8651, 22.
- Camacho, F. (2016). *Diseño óptimo de estructuras satelitales* [PhD thesis, Universidad Nacional Autónoma de México]. Repositorio digital de la Facultad de Ingeniería, UNAM.

- Carnahan, J. (2014). Cubesat design specification. *Calif. Polytech. State*, (SLO 4).
- Cortés-García, E. D., Acuña-Mateus D. F., & Pachón-Pinilla, J. A. (2019). *Diseño, construcción y experimentación de un satélite de pequeña escala*. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia.
- Díaz-González, F. A., Quintero-Torres, S. V., Triana-Correa, J. S., Morón-Hernández, D. C. (2014). *Aproximación a los sistemas de percepción remota en satélites pequeños*. Fondo de Publicaciones Universidad Sergio Arboleda.
- Gallegos, R. A. (2009). *Diseño e ingeniería asociada a la estructura de un Picosatélite* [Engineer thesis, Universidad Autónoma de Nuevo León]. Repositorio digital de la Facultad de Ingeniería, UNAM.
- Gavrilovich I., Krut, S., Gouttefarde, Pierrot, F., & Dusseau, L. (2014). Test bench for nanosatellite attitude determination and control system ground tests. *4S: Small Satellites Systems and Services Symposium*. National Centre for Space Studies, France.
- González-Silva, M. A., & Paredes-Mera, F. J. (2010). *Diseño y construcción de un banco de pruebas de vibraciones para la optimización del picosatélite hexasat del centro de investigación espacial, CIE* [Engineer thesis, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE]. Repositorio Institucional de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
- Herrera-Arroyave, J. E. (2015). *Diseño estructural de un sistema CubeSat con recubrimiento de barrera* [Master's thesis, Universidad Autónoma de Nuevo León]. Repositorio Académico Digital UANL.
- Herrera-Arroyave, J. E., Santillán-Gutiérrez, S. D., Zambrano-Robledo, P. C., & Ferrer-Pérez, J. A. (2015). Proceso de diseño de una estructura nanosatelital CubeSat. *XI Congreso Internacional sobre Innovación y Desarrollo Tecnológico*. IEEE Sección Morelos.
- Herrera, J., Ledezma-Ramírez, D., Hernández, G., Ferrer, J., Zambrano, P., & Bermúdez, B. (2015). Diseño estructural de un sistema CubeSat con recubrimiento de barrera térmica. *VII Congreso Internacional de Ingeniería Mecánica*. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia.
- Louzuine, D. V., Inoue, A., Saito, M., & Waseda, Y. (2000). *Eco-indicator 99 Manual for Designers*. Technical Report, Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment, European Union.
- Maropoulos, P. G., & Ceglarek, D. (2010). Design verification and validation in product lifecycle. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 59(2), 740-759.
- Medina, D. P. (2018). *Diseño y manufactura de la estructura de un CubeSat 2U* [PhD thesis, Universidad Nacional Autónoma de México]. Repositorio digital de la Facultad de Ingeniería, UNAM.
- Meissner, D. (2019). *A three degrees of freedom test-bed for nanosatellite and cubesat attitude dynamics, determination, and control* [B.S. Aerospace Engineering thesis, United States Naval Academy]. Institutional Archive of the Naval Postgraduate School, United States of America.
- Mier-Hicks, F. (2017). *Space-craft charging and attitude control characterization of electrospray thrusters on a magnetically levitated testbed* [PhD thesis, Massachusetts Institute of Technology]. MIT Libraries.
- Mooij, E., & Ellenbroek, M. H. M. (2007). Multi-functional guidance, navigation, and control simulation environment. *AIAA Modeling and Simulation Technologies Conference and Exhibit*. American Institute of Aeronautics and Astronautics.
- Osdol, T. C., Dorsey, C., Hedlund, J., Hoye, T., Jacobs, O., Klarreich-Giglio, K., Martin, E., Ruiz, M., Schlesselmann, M., & Singh, Z. (2013). *Design, fabrication, and analysis of a 3U Cubesat platform* [Engineer thesis, Santa Clara University]. Santa Clara University Scholar Commons.
- Pierlot, G. (2009). *Flight system configuration and structural analysis* [Master's thesis, University of Liège]. Institutional Repository of the University of Liège.
- Poghosyan, A., & Golkar, A. (2016). Progress in aerospace sciences cubesat evolution: Analyzing cubesat capabilities for conducting science missions. *Prog. Aerosp. Sci.*, (September), 1-25.
- Radhakrishnan, R., Edmonson, W. W., Afghah, F., Rodriguez-Osorio, R. M., Pinto, F., & Burleigh, C. S. (2016). Survey of inter-satellite communication for small satellite systems: Physical layer to network layer view. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 18(4), 2442-2473. <https://doi.org/10.1109/COMST.2016.2564990>
- Rodríguez, G. W. (2017). *Diseño π: gestión tecnológica para el diseño de proyectos de ingeniería*. Escuela de Postgrados de la Fuerza Aérea Colombiana. <https://doi.org/10.18667/9789589940693>

- Romero, D., & Rodríguez, H. (2005). *Diseño y construcción de un nanosatélite*. Technical report. Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Mexico.
- Ulrich, K. T., & Eppinger, S. D. (2015). *Product design and development*. McGraw-Hill Education.
- Sandvik, K. (2012). *Development of Composite and Polymer Material CubeSat Structure with focus on Materials*. Technical report, Norwegian University of Science and Technology.
- Tirado, G., & Rodríguez, G. W. (2016). *Modelo pi. Modelo para la producción intelectual, una propuesta para las instituciones de educación superior*. Escuela de Postgrados de la Fuerza Aérea Colombiana. <https://doi.org/10.18667/9789589940679>
- Tsarev (2013). Smart solutions: Multi-agent technology for real-time enterprise resource management. *IEEE/ACIS 12th International Conference on Computer and Information Science (ICIS)*. <https://doi.org/10.1109/ICIS.2013.6607827>
- Ullman, D. G. (2010). *The mechanical design process*. McGraw-Hill.
- Universidad del País Vasco [EHU/UPV]. (2017). *Informe de vigilancia y competitividad ambiental en el sector de la máquina herramienta Nerea Sopelana*. Basque Ecodesign Center, EHU/UPV.

Diseño e implementación de un control mecánico con cables tipo *Push-Pull* para un banco de pruebas en tierra de motores PT6*

| Fecha de recibido: 8 de febrero del 2020 | Fecha de aprobación: 29 de abril del 2020 |

Juan Sebastián Solís Chaves

Ph. D. en Ingeniería de la Energía
Docente Escuela Colombiana de Carreras Industriales (ECCI). Grupo de investigación: GIATME
Rol de investigador: intelectual, experimental, comunicativo
<https://orcid.org/0000-0002-3211-3398>
✉ jsolisc@ecc.edu.co

Jeison Ferney Barrios Rojas

Estudiante de pregrado en Ingeniería Mecánica
Escuela Colombiana de Carreras Industriales (ECCI)
Rol de investigador: experimental, comunicativo
<https://orcid.org/0000-0003-1457-5246>
✉ jeisonf.barrios@ecc.edu.co

César Geovany Quiroga Vargas

Estudiante de pregrado en Ingeniería Mecánica
Escuela Colombiana de Carreras Industriales (ECCI)
Rol de investigador: experimental, comunicativo
<https://orcid.org/0000-0002-1265-8825>
✉ cesarg.quirogav@ecc.edu.co

Nelson Arturo Jiménez Acuña

Técnico en Mantenimiento Aeronáutico
Fuerza Aérea Colombiana
Rol de investigador: intelectual, experimental
<https://orcid.org/0000-0003-4076-4809>
✉ naja52@yahoo.com

Ángela Paola Sánchez Alba

Estudiante de pregrado en Ingeniería Mecánica
Escuela Colombiana de Carreras Industriales (ECCI)
Rol de investigador: experimental
<https://orcid.org/0000-0002-5223-6678>
✉ angelap.sancheza@ecc.edu.co

* Artículo de investigación derivado del proyecto *Uso de Biocombustibles en Aeronaves de la Fuerza Aérea Colombiana*. Financiado por Colciencias. Código 56752

Cómo citar este artículo: Solís Chaves, J. S., Barrios Rojas, J. F., Jiménez Acuña, N. A., Quiroga Vargas, C. G., & Sánchez Alba, A. P. (2020). Diseño e implementación de un control mecánico con cables tipo *Push-Pull* para un banco de pruebas en tierra de motores PT6. *Revista Ciencia y Poder Aéreo*, 15(1), 135-151. <https://doi.org/10.18667/cienciaypoderareo.646>



Diseño e implementación de un control mecánico con cables tipo *Push-Pull* para un banco de pruebas en tierra de motores PT6

Design and Deployment of a Mechanical Control with Push-Pull Cables in a Ground Workbench for PT6 Engines

Desenho e implementação de um controle mecânico com cabos Push-Pull para uma bancada experimental em terra para motores PT6

Resumen: Este artículo presenta el diseño y la implementación de un control mecánico por medio de cables y palancas, también conocidos como cables tipo *Push-Pull* para los comandos de vuelo de un motor PT6 61A. El propósito es controlar la condición del combustible, potencia del motor y posición angular de la hélice con el motor operando en tierra, mientras es controlado desde un banco de pruebas ubicado en el Comando Aéreo de Mantenimiento (CAMAN). La implementación del controlador se realizó con materiales aeronáuticos reciclados que, no obstante, proporcionan un margen de seguridad al operador y, así, salvaguardan la integridad del motor. Para llevar a cabo la práctica de este diseño se aplicó una metodología empírico-analítica en la que destacan, principalmente, la caracterización del motor, adquisición, adecuación, construcción de los elementos de fijación, instalación y ajuste de las palancas mecánicas de cada comando. Con el objetivo de probar el desempeño del controlador mecánico propuesto con cables tipo *Push-Pull*, se realizaron pruebas con mezclas de combustible tradicional (JET-A1) y biodiesel. Por último, los datos de temperatura, velocidad, torque y porcentaje (NG) adquiridos en cada prueba facilitaron la comparación del funcionamiento del motor y el correcto desempeño del controlador.

Palabras clave: Biocombustibles; cable de control mecánico; comandos de vuelo; palancas de control; PT6; turbinas aeronáuticas.

Abstract: This paper presents the design and deployment of a mechanical control with cables and levers, also known as push-pull cables, for flight commands in a PT6 61A engine. The purpose of the study is to control the variables fuel condition, engine power, and propeller angular position while having the engine operating on the ground and being controlled from a test bench located at the Air Maintenance Command (CAMAN, in Spanish). The implementation of the controller was carried out with recycled aeronautical materials that, nevertheless, provide a margin of safety for the operator and ensure the integrity of the engine. An empirical-and-analytical methodology was applied to carry out this design, in which the characterization of the engine, the acquisition, adaptation and construction of the fixing elements, as well as the installation, and the adjustment of the mechanical levers of each command became key aspects. In order to test the performance of the proposed mechanical control, tests were carried out with mixtures of traditional fuel (JET-A1) and biodiesel. The data on temperature, speed, torque and percentage (NG) in each test facilitated the comparison of the operation of the engine and the correct performance of the controller.

Keywords: Biofuels; Mechanical Control Cable; Flight Commands; Control Levers; PT6; Aeronautical Turbines.

Resumo: Este artigo apresenta o desenho e a implementação de um controle mecânico por meio de cabos e alavancas, também conhecidos como cabos Push-Pull, para comandos de voo de um motor PT6 61A. O objetivo é controlar a condição do combustível, a potência do motor e a posição angular da hélice com o motor operando em terra, enquanto é controlado a partir de um banco de testes localizado no Comando Aéreo de Manutenção (CAMAN). A implementação do controlador foi realizada com materiais aeronáuticos reciclados, que, no entanto, fornecem uma margem de segurança para o operador e, desta forma, salvaguardar a integridade do motor. Para realizar a prática do desenho, foi adotada uma metodologia empírico-analítica, na qual se destacam a caracterização do motor, aquisição, adaptação, construção dos elementos de fixação, instalação e ajuste das alavancas mecânicas de cada comando. Com o objetivo de testar o desempenho do controlador mecânico proposto com cabos Push-Pull, foram realizados testes com misturas de combustível tradicional (JET-A1) e biodiesel. Finalmente, os dados de temperatura, velocidade, torque e porcentagem (NG) adquiridos em cada teste, facilitaram a comparação da operação do motor e o correto desempenho do controlador.

Palavras-chave: Biocombustíveis; Cabo de controle mecânico; Comandos de voo; Alavancas de controle; PT6; Turbina aeronáutica.

Introducción

Actualmente, la Fuerza Aérea Colombiana (FAC) adelanta un proyecto de investigación para el aprovechamiento y la utilización de biocombustibles en varios tipos de motores aeronáuticos de su flota de aeronaves, busca cambiar el uso de los combustibles tradicionales derivados del petróleo a biocombustibles, con el fin de reducir total o parcialmente los gases contaminantes emitidos a la atmósfera. Con tal propósito, este artículo describe la implementación del control mecánico del motor PT6, el cual será operado en tierra desde un banco de pruebas que se encuentra instalado en el Comando Aéreo de Mantenimiento (CAMAN) de la FAC en Madrid, Cundinamarca. La adecuación se llevará a cabo a través de cables de control tipo *Push-Pull* y palancas mecánicas dispuestas para cada uno de los comandos de vuelo, que son potencia del motor, condición del combustible y posición angular de la hélice. Estos controles se adecuaron en gran parte usando materiales reutilizados, los mandos han sido conectados mediante cables de control mecánico, gracias a que presentan una alta precisión y confiabilidad, en contraste con su bajo costo cuando son comparados con otras alternativas típicas en aplicaciones aeronáuticas (Guayacol, 2013; Cables y Controles, 2020).

El control mecánico de los comandos básicos de vuelo propuesto, recrea las operaciones reales de la aeronave de acuerdo con los múltiples regímenes

establecidos por la casa fabricante, Pratt & Whitney Canada (Pratt & Whitney Canada, 2007; 2019), con lo que se obtiene un control total del motor, lo cual permite que las mediciones análogas determinen la eficiencia energética de las diferentes mezclas entre biodiesel y combustible JET A-1 con la precisión necesaria para realizar comparaciones altamente confiables que puedan ser replicadas cuantas veces sea necesario para los distintos propósitos de análisis estadístico y de desempeño del motor. Este proyecto es realizado por CAMAN, la Escuela de Suboficiales de la Fuerza Aérea (ESUFA) y la universidad ECCI, quienes dentro del equipo de trabajo cuentan con personal de soporte para enfrentar las posibles emergencias durante la operación del motor.

A su vez, la investigación busca comprobar el desempeño del modelo PT6 61A y determinar la cantidad de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), al realizar pruebas con diferentes mezclas de biodiesel (BioD, 2015) y JET A-1 en distintas proporciones. Por ejemplo, un 95 % de JET A-1 y un 5 % de BioD, o con un 85 % de JET A-1 y un 15 % de BioD, o bien, con una proporción de 75 % JET A-1 y 25 % BioD (Sánchez, 2020). Además, se han tenido en cuenta las propiedades físico-químicas en los combustibles empleados en las pruebas (Mayorga Betancourt et al., 2019), así como la eficiencia, concentración óptima y posibles desventajas e impactos ambientales. Por tales motivos y para mayor claridad del lector, se presenta un corte transversal del motor a ser controlado, como se muestra en la figura 1.

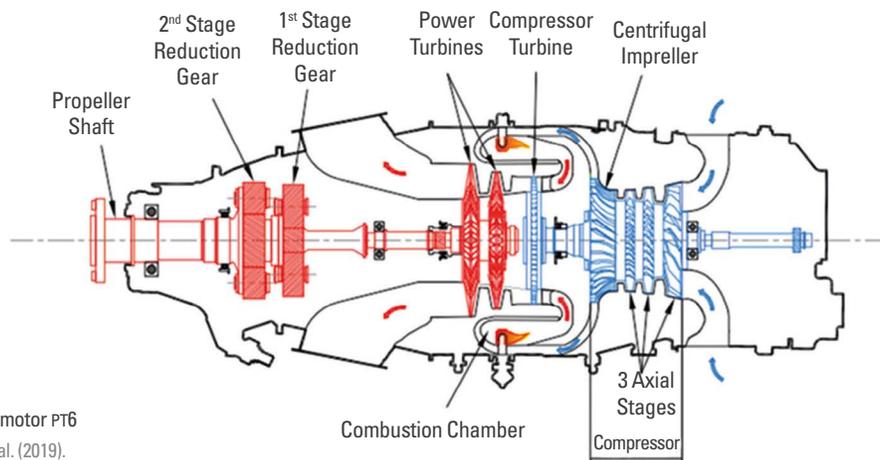


Figura 1. Esquema del motor PT6
Fuente: Bayona-Roa et al. (2019).

El anterior es un motor turbo-hélice modular con tipo de turbina libre, fabricado por Pratt & Whitney, modelo PT6 61A, tamaño medio. Dentro de la aviación, su aplicabilidad se presenta en los aviones Piper Cheyenne, como el PA-42-720 (FAC, s.f.), en el que la potencia del eje de su motor es de 850 SHP¹ certificados según el documento A23SO. Lo dicho representa una potencia aplicable a una aeronave de 720 SHP, en la cual la turbina pesa aproximadamente 220 kg, su configuración para avión, incluyendo la hélice, es simple y el peso puede llegar a ser de 300 kg. Posee una longitud de 72,09 cm, un diámetro nominal de 18,29 cm y un radio máximo, excluyendo los ductos de escape, de 12,84 cm (Pratt & Whitney Canada, 2007; 2019).

El artículo presenta un resumen de estudios previos enfocados en el comando del motor PT6, luego se describe el diseño del controlador mecánico por medio de cables de control tipo *Push-Pull*, en seguida se hace el listado y la descripción de los componentes necesarios para la implementación del controlador, explicando la adquisición, adecuación y construcción de los elementos de fijación. Acto seguido, se describe la instalación y el ajuste de las palancas mecánicas de cada uno de los comandos, después se presentan los resultados experimentales, que muestran el movimiento de la palanca, los cables de cada comando, las tablas de reglajes y sus porcentajes de error cuando se realiza una corrida experimental del motor con combustible tradicional y con la mezcla de biocombustible. Por último, se muestran las observaciones y recomendaciones a tener en cuenta, así como las conclusiones de este proyecto.

Estudios previos

Los esfuerzos se enfocaron en encontrar trabajos que dieran cuenta del diseño y control de los comandos de vuelo en bancos de pruebas, la inclusión de los biocombustibles en el sector aeronáutico en Colombia y

en artículos que simularán el desempeño del motor PT6 al ser operado con biocombustibles. En primera instancia, se encontró un documento titulado *Diseño de un banco de pruebas para motores PT6 T-3*, realizado por la Universidad San Buenaventura. Para la fecha de presentación de esa tesis, no se contaba con la facilidad de acceso a bancadas experimentales para probar motores PT6, por tanto, los autores decidieron diseñar un banco de pruebas con el fin de realizar *overhaul* y pruebas post-*overhaul* con el motor emplazado en tierra, y así mismo disminuir los costos asociados a la reparación y mantenimiento del motor (Ferreira et al., 2008).

El diseño de banco de pruebas en el documento nombrado, será utilizado para distintas series de motores PT6, y también presta servicio para los motores tipo PWC PT6 de Pratt & Whitney Canada, que se encuentran en Colombia para realizar las actividades de mantenimiento y verificación necesarias (Ferreira et al., 2008).

Asimismo, se hizo una búsqueda bibliográfica referente a los controles de vuelo del motor PT6 que serán implementados en la cabina del banco de pruebas, indagación que señaló los métodos de conexión de las palancas para efectuar el manejo del motor y su función de control. La palanca de estado de combustible tiene como función el avance y parada de combustible, también funciona como un tope inactivo para la barra de interconexión de la unidad de control de combustible FCU² (Pratt & Whitney Canada, s.f.).

Ahora bien, la palanca de control de potencia controla la potencia del motor en todo el rango, desde el máximo de despegue hasta el retroceso completo. De igual forma, elige el paso de la hélice (control Beta) desde la selección inversa hasta la velocidad constante de RPM seleccionada por la palanca de control de la hélice de la cabina (velocidad de la hélice) (Pratt & Whitney Canada, s.f.).

Por otra parte, al investigar sobre el panorama actual de la aeronáutica en Colombia, se encontró que la Corporación de la Industria Aeronáutica Colombiana

1 Shaft Horse Power.

2 Fuel Control Unit.

(CIAC) ha sido una entidad protagonista en el rápido desarrollo del sector aeronáutico en el país durante los últimos años, ya que se encarga de realizar proyectos de fabricación y modernización de aeronaves. Los autores de este documento piensan que un vínculo estrecho con la CIAC, dado lo propuesto en este proyecto y lo que el controlador aporta específicamente, generará un aporte significativo hacia la disminución de los índices de contaminación por emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en el sector aeronáutico, al migrar a los combustibles ecológicos, ya sea en la flota de aviones de uso civil o en los de uso militar (Meisel, 2014; Semana, 2018; Delgado, 2018).

Por último, durante esta etapa de la investigación se localizó un artículo titulado *Simulación computacional del motor de turbina de gas PT6A funcionando con diferentes mezclas de biodiesel: un análisis de respuesta transitoria*, realizado por la universidad ECCI, en el cual se describe la solución aerotermodinámica que ocurre en las turbinas a gas, mediante un modelo matemático en el que se utiliza un procedimiento numérico. Este modelo fue realizado en Matlab-Simulink®, empleando un enfoque en bloques para simular marchas transitorias del motor PT6A que funciona con mezclas de JET A-1 y biodiesel, obteniendo así las variables termodinámicas necesarias (Bayona-Roa et al., 2019).

Metodología

Para el proyecto propuesto se optó por usar una metodología empírico-analítica, que ha sido dividida en cuatro partes consideradas fundamentales para la realización del diseño de un control mecánico por medio de cables *Push-Pull*. La primera es la identificación de los comandos para controlar en el motor y su respectiva función, esto se realiza con el fin de determinar la medida para los cables de control mecánico y la ubicación del comando en el motor; la segunda etapa escoge la ruta de los cables de control mecánico desde la cabina de control hasta el PT6; la tercera fase comprende la elaboración de elementos de fijación para el

cable de control mecánico en el motor y las palancas, para evitar así la flexión, la curvatura excesiva del cable o algún otro factor que disminuya el control del mismo. En el cuarto momento, se realiza la instalación de las palancas de control en la cabina del banco de pruebas desde el que se controla el motor PT6, se establecen los reglajes experimentales de cada uno de los comandos y se determina el porcentaje de error con respecto a los valores teóricos. Al final, se diseñaron dos experimentos comparativos que dan cuenta del desempeño seguro del controlador de control mecánico.

Diseño del controlador para cables de control mecánico

Para el diseño del controlador mediante cables de control mecánico desde banco de pruebas, se establece un sistema de comandos simples, pero con la precisión suficientemente puntual para reducir el rango de error que se pueda presentar en el desarrollo de las pruebas y en la toma de datos experimentales de las variables termodinámicas de interés. Se buscó implementar un sistema de palancas, las cuales fueran capaces de halar y empujar (*Push-Pull*) un cable de control mecánico, utilizados frecuentemente en aviación. Este tipo de cables presentan una serie de características que los hacen aptos para este tipo de operación, por ejemplo, su longitud y su calibre.

Gracias al recubrimiento de protección presente en el cable, fue posible asegurarlo a la bancada del motor y a la base del banco de pruebas, restringiendo el movimiento angular no deseado de este y evitando así la pérdida de movimiento lineal. Además, el cable tiene instaladas unas terminales tipo rótula que permiten el acople de los cables a los comandos en el motor y el movimiento angular existente en cada acople, maximizando de este modo su rango de acción con una precisión bastante fina. Las palancas de aluminio empleadas para esta labor poseen una serie de topes internos que se pueden manipular para ofrecer un movimiento angular acorde su desplazamiento lineal, así

mismo cuentan con una lámina interna capaz de transmitir el movimiento total al cable de control mecánico, evitando la flexión interna en el mecanismo y obteniendo la precisión suficiente en el movimiento al momento de realizar los ensayos en tierra desde el banco de pruebas.

Identificación de los comandos a controlar en el motor y su función

Para iniciar la instalación del control de comandos del motor PT6 mediante los cables de control y las palancas de accionamiento mecánico, se debe identificar la ubicación de los comandos del motor PT6 y su objetivo de control como se describe a continuación:

El control de vuelo en el motor PT6

Los comandos mecánicos que deben ser trasladados de la cabina de vuelo al banco de pruebas son el mando de inyección de combustible, el mando de control de hélice (necesario para la prueba con carga mecánica) y el mando de potencia (mínima, máxima y reversible), los cuales son controlados mediante cables de control mecánico y sus respectivas palancas.

Estos cables de control mecánico están conectados normalmente entre los mandos que se encuentran en el pedestal de la cabina de vuelo, las diferentes

secciones del motor (Generación de Gases —NG—, Generación de Potencia —NF—, Generación en la Hélice —NP—) y un conjunto de control de empuje o tracción, montado en la parte derecha longitudinal del motor (Pratt & Whitney Canada, s.f.). Al ser los elementos encargados de realizar las acciones de control, deben contar con la precisión suficiente para brindar la confiabilidad requerida durante las pruebas con combustible JET A-1 y biocombustibles, como se presenta en la figura 2.

La palanca que indica el estado de combustible en la cabina está conectada a través de los enlaces del fuselaje a una palanca combinada y a un mecanismo de parada en la parte superior de la unidad de control de combustible; el cual está conectado mediante el enlace de la FCU a la palanca de corte de combustible en el lateral de la unidad. Dicha palanca de avance y parada también funciona como un tope inactivo para la barra de interconexión de la FCU (Badger et al., 1994; Pratt & Whitney Canada, 2006), tal como se observa en la figura 3.

A su vez, la palanca de control de potencia en la cabina está conectada con los enlaces del fuselaje al ensamblaje *cambox*, montado en frente de la FCU, controla la potencia del motor en todo el rango, desde el máximo de despegue hasta el retroceso completo. También elige el paso de la hélice (control Beta), desde la selección inversa hasta la velocidad constante de rpm seleccionada por la palanca de control de la hélice de la cabina (velocidad de la hélice) (Pratt & Whitney Canada, 2006; Guimarães, 2015). Véase la figura 3.

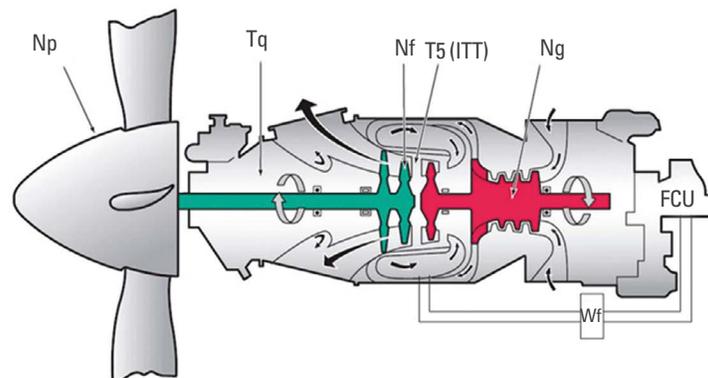


Figura 2. Secciones del motor PT6

Fuente: Pratt & Whitney Canada (s.f.).

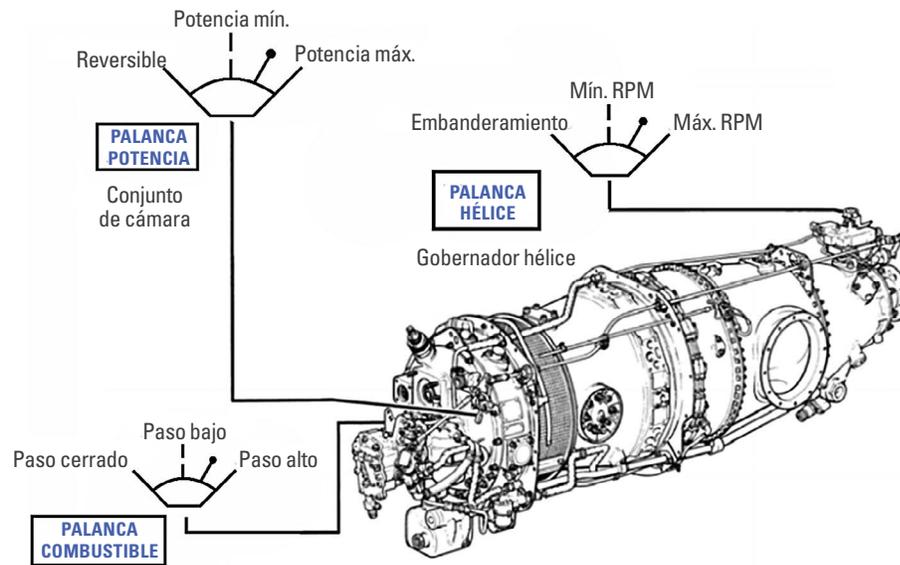


Figura 3. Mandos de control
Fuente: adaptada de Pratt & Whitney Canada (s.f.).

El accionamiento de la FCU está conectado a través de una varilla de interconexión, ajustable a la palanca de control de esta unidad. En condiciones de funcionamiento normales, el movimiento de la palanca de control de potencia mueve el seguidor de leva a través de la ranura de la palanca de control de la hélice. Durante el funcionamiento normal de la hélice, desde el ralentí en tierra hasta el despegue, el pasador de palanca del seguidor de leva se mueve en la ranura circunferencial de la leva, pero no imparte movimiento a la palanca de control de la hélice (Pratt & Whitney Canada, 2006).

Controles de la cabina de vuelo

En la actualidad, los motores PT6A utilizan el sistema de gestión de la potencia del motor y la condición del control de hélice, para obtener la capacidad de vuelo óptimo del avión, así como también la correspondiente capacidad de manejo en tierra. Las funciones de la central eléctrica normalmente se ordenan desde la cabina, por medio de tres palancas de control: palanca de

potencia, palanca de apertura y cierre de combustible, y palanca de apertura y cierre de flujo de aceite para realizar el cambio de paso en la hélice, o también llamada palanca de hélice, y cables de control mecánico *Push-Pull* (Pratt & Whitney Canada, s.f.; Méndez, 2011).

Las palancas están conectadas mediante cables de control mecánico a los mandos que se encuentran en el motor. La palanca de potencia tiene como función elevar la aceleración del motor, realizar el reversible, y a su vez, modificar el ángulo de ataque de la hélice; la palanca de combustible da el paso de este al motor, abriendo o cerrando su acceso; y la palanca de la hélice controla su velocidad y la rotación de las aspas (Pratt & Whitney Canada, s.f.).

En algunos bancos de prueba de motores, en ocasiones para realizar el control en uno de ellos, solo basta con una palanca de control para manipular la condición de combustible, regular las rpm y manipular el control de potencia (Pratt & Whitney Canada, s.f.; Guimarães, 2015). La siguiente tabla da cuenta de los comandos de control presentes en diferentes partes del motor, su ubicación y la función que cumple cada uno.

Tabla 1
Ubicación y funciones de los comandos del control de vuelo motor PT6

Control	Ubicación	Función del control
Condición de combustible	Unidad de control de combustible (control de arranque).	Corte de combustible y velocidad de ralentí.
Potencia	Unidad de control de combustible.	Velocidad del generador de gases.
Hélice	Gobernador de la hélice.	Velocidad de hélice y rotación de las aspas.

Fuente: Pratt & Whitney Canada (s.f.).

Trazar la ruta para el cable de control mecánico

En la siguiente figura se muestra el trazado final del cable de control mecánico desde el banco de prueba hasta el motor, con el fin de lograr una adecuada tensión en el cable de control sin que se generen curvaturas que afecten su funcionamiento:

En esta etapa se realiza la compra del cable de control mecánico, teniendo en cuenta las siguientes consideraciones: desde el banco de prueba hasta el motor se utiliza un (1) cable de control mecánico de 14 metros de longitud para el control del comando de la hélice, y dos (2) cables de 12 metros para el control de los comandos de combustible y de potencia, ambos con un calibre 3/8 in (9,53 mm). Los cables se

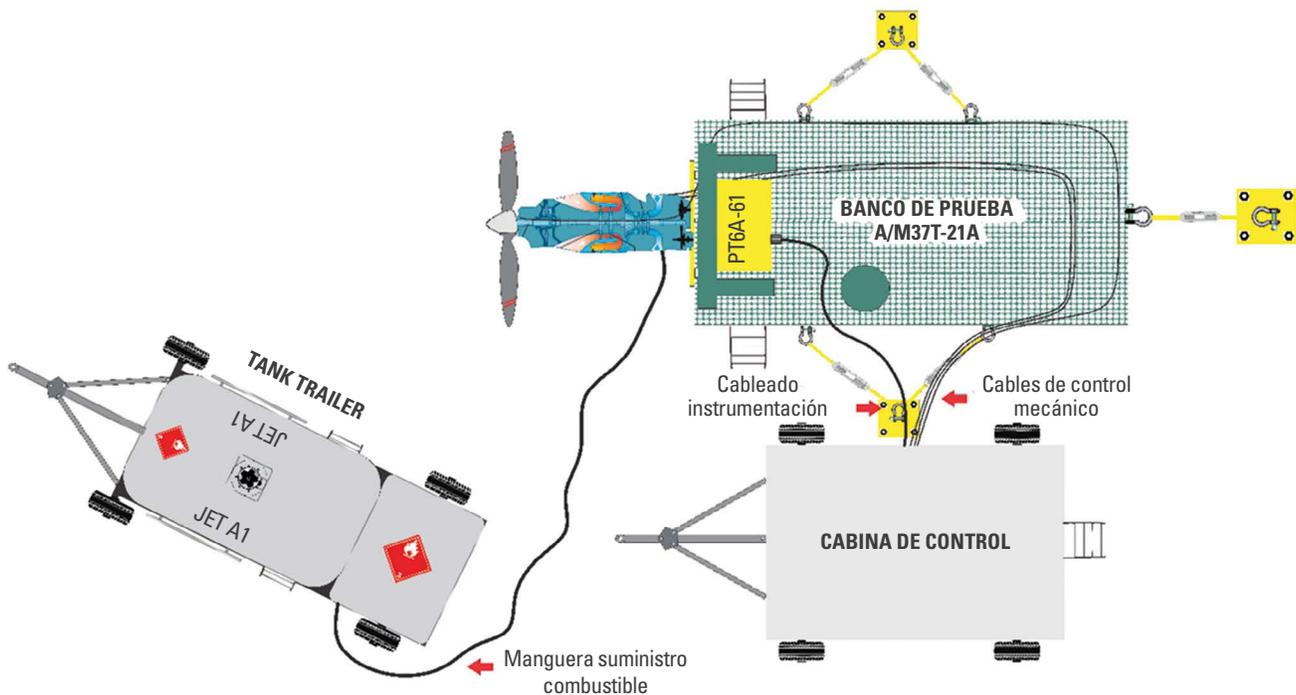


Figura 4. Trazado final del cable de control mecánico

Fuente: elaboración propia.

posicionan en la plataforma donde están los soportes del motor y se aseguran con pasamuros para impedir su curvatura y posible desplazamiento. De igual forma, y para facilitar la sujeción tanto en los acoples del motor como en las terminales de las cajas de comandos, fue necesario implementar una terminal tipo rótula en las extremidades de los cables, estos deben ser capaces de proporcionar un agarre fijo, pero con un ángulo variable para evitar que se pueda interrumpir la transmisión del movimiento.

El cable de este tipo se elige según su disponibilidad comercial, tiempos de entrega, facilidad de montaje y ensamble. De manera adicional, se seleccionaron los cables debido a su recubrimiento, ya que tienen una camisa de trabajo de caucho que protege el interior de la guaya, con lo que se limita su exposición a elementos

que puedan debilitarlos o, incluso, fragmentarlos. Otras características son su funcionamiento suave y continuo, resistencia y rigidez, pues a la vez admite curvaturas fuertes y cerradas (Cables y Controles, 2020).

Se muestra en la figura 5 la ruta de los cables de control mecánico desde la cabina hasta el motor, en primera instancia, se realiza la sujeción de los cables mediante bridas plásticas.

Dado que al momento de la instalación de las palancas no fue necesario cambiar la ruta de los cables, se procedió a realizar los elementos de fijación en el motor (pasamuros), para evitar la pérdida de señal mecánica en el cable al momento de ser accionado, y a la par, que el motor pueda funcionar sin que las vibraciones emitidas por este afecten el desempeño de los cables, véase la figura 6.



Figura 5. Ruta del cable de control mecánico al banco de prueba
Fuente: elaboración propia.



Figura 6. Pasamuros de fijación en el motor
Fuente: elaboración propia.

Los autores del documento fabricaron los elementos en CAMAN, lugar donde se encuentra ubicado el banco de prueba del motor, reutilizando algunas láminas que estaban disponibles en el lugar.

Elaboración de elementos de fijación para el cable de control mecánico en el motor y las palancas

En la figura 6 se observan los pasamuros construidos para la fijación de los cables de control mecánico en el motor, los cuales están conectados al mando de potencia, mando de hélice y mando de combustible.

Por otra parte, se utilizaron trozos de caucho en el lugar donde el cable estaba apoyado, para así evitar el contacto directo con la lámina y no causar desgastes adicionales en el recubrimiento del cable debido a la fricción con los pasamuros.

Componentes del trazado

Los principales componentes mecánicos utilizados para la implementación de este controlador mecánico y algunas de sus especificaciones se resumen en la tabla 2.

Tabla 2
Componentes del trazado de control mecánico

Componente	Cantidad	Longitud	Calibre
Terminal tipo rótula	6	No aplica	No aplica
Pasamuros	7	No aplica	No aplica
Cable de control mecánico	2	12 metros	3/8 in (9,53mm)
Cable de control mecánico	1	14 metros	3/8 in (9,53mm)
Extensor tipo telescopio	3	10 cm	No aplica

Fuente: elaboración propia.

Palancas mecánicas

En el desarrollo de la adecuación del banco de pruebas, se implementó un tipo de comandos diferente que tiene mayor precisión al momento de entrar en operación. Se trata de un conjunto de palancas

fabricadas en aluminio, con un recorrido angular de 130 grados que cuentan con topes metálicos, lo que significa un mayor control y, además, permite poner a punto el recorrido de los cables de control mecánico. Las palancas y los elementos que la componen son los que se implementan para el control del motor desde la cabina del banco de pruebas. Dichas palancas fueron adquiridas por la FAC y se pueden apreciar en la siguiente figura:

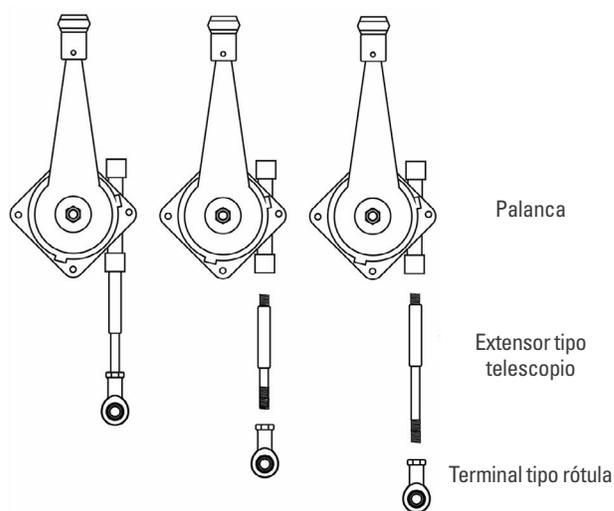


Figura 7. Palanca mecánica y sus componentes
Fuente: elaboración propia.

Este tipo de mandos están instalados en su respectivo compartimiento en el banco de pruebas, el diseño de este banco también cuenta con un acceso que permite revisar la operación de las palancas de comando y los cables. De la misma manera, para facilitar su acople, se instalaron terminales tipo rótula y guías tipo telescopio que entran y salen de la palanca, lo que permite el movimiento de los cables de control y, al momento de realizar la acción de control, evita la flexión de la guaya e impide la pérdida de la capacidad de desplazamiento del reglaje. Lo anterior es de vital importancia llegado el momento de la toma de datos, durante las pruebas con los diferentes combustibles y la posterior verificación del comportamiento dinámico del motor.

A continuación, en la figura 8 se observa el tipo de palancas que se utilizan para realizar el control mecánico del motor PT6, y su montaje en la cabina del banco de pruebas.

Las palancas no tienen un criterio de diseño definido, ya que se desconoce la totalidad de sus materiales de fabricación. La lámina empleada tampoco cuenta con especificaciones técnicas, pues es reutilizada al igual que los demás elementos de fijación de los cables a las palancas, esto se refleja en una disminución del costo de implementación, pero puede generar incertidumbres sobre el comportamiento del controlador. Las palancas están ubicadas en la cabina del banco de pruebas para controlar el motor a distancia, con el fin de brindar las condiciones de seguridad necesarias a las personas que realicen experimentos con él.

Para asegurar los cables de control mecánico a estas palancas, se fabricaron elementos de sujeción para la fijación del cable, y así evitar inconvenientes e imprevistos al momento de llevar a cabo las pruebas. Dichos elementos de sujeción se pueden apreciar en la figura 9.



Figura 8. Palanca mecánica
Fuente: elaboración propia.



Figura 9. Fijación de los cables de control mecánico a las palancas de control
Fuente: elaboración propia.

Así, damos paso a la sección de los resultados experimentales que se obtuvieron durante una sesión de encendido y prueba del motor.

Resultados experimentales

En esta sección se presentan los resultados obtenidos en las pruebas de encendido del motor con las palancas reutilizadas y, a su vez, se observa su comportamiento junto con los cables de control mecánico al momento de accionar las diferentes válvulas de potencia, hélice y combustible.

Pruebas de control a los comandos de vuelo

Palanca de potencia

En el siguiente esquema se ve cómo es el funcionamiento del cable de control y las palancas que accionan el mando de potencia del motor. Al momento en que el operador del banco de pruebas decida hacer una acción sobre la palanca, el movimiento se verá reflejado en el gobernador de potencia gracias a la conexión del cable de control entre el comando, su correspondiente palanca y la operación del motor.

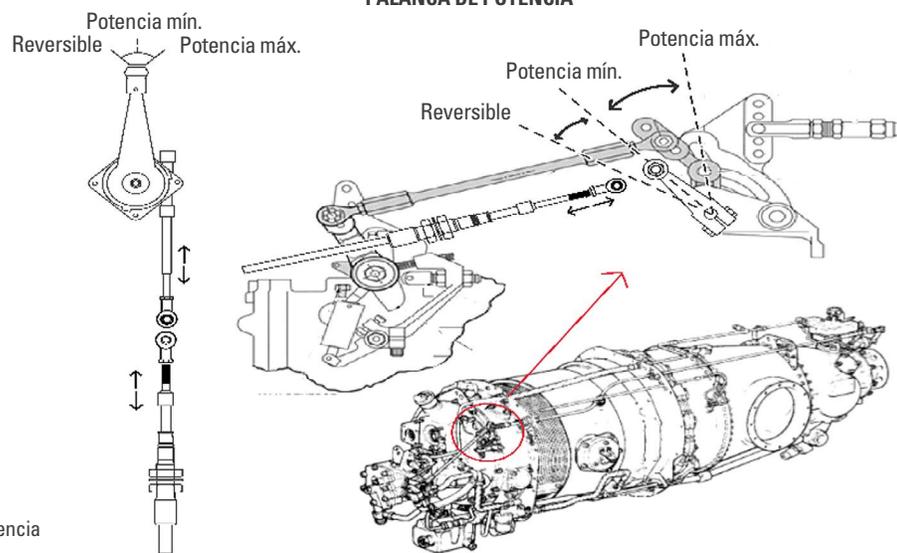


Figura 10. Esquema de control de potencia
Fuente: elaboración propia.

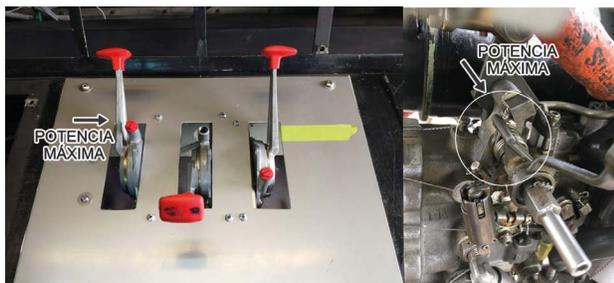


Figura 11. Palancas de potencia y potencia máxima
Fuente: elaboración propia.

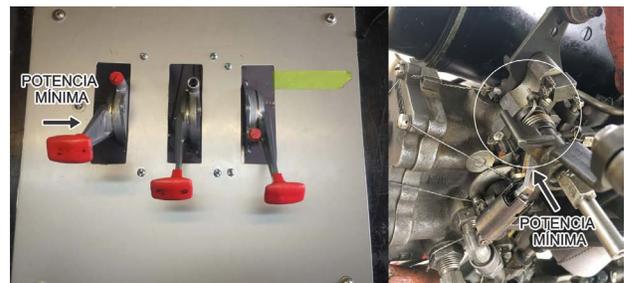


Figura 12. Palancas de potencia y potencia mínima
Fuente: elaboración propia.

Dada la acción del operador, el conjunto se activará para entrar en los regímenes de funcionamiento del motor de potencia máxima, potencia mínima y reversible, que se pueden ver en las figuras 11 y 12.

Se observa en la figura 11 la condición de potencia máxima, en que la palanca del lado izquierdo está en posición superior, y en el mando del motor la palanca llega al tope de regulación de máxima potencia del motor.

En la figura 12, la palanca de potencia se encuentra en posición de mínimas junto con el mando del motor, esta posición también es llamada ralentí.

Palanca de paso de hélice

En el siguiente esquema se ve cómo es el funcionamiento del cable de control y la palanca que acciona el mando de la hélice. Al momento en que el operador del banco de pruebas decida hacer una acción de control, se verá reflejada en el gobernador de hélice y en la operación del motor.

Ahora vemos en las figuras 14 y 15 que el mecanismo es capaz de llegar a los topes, al realizar los cambios en el ángulo de la hélice requeridos al momento de operar el motor.

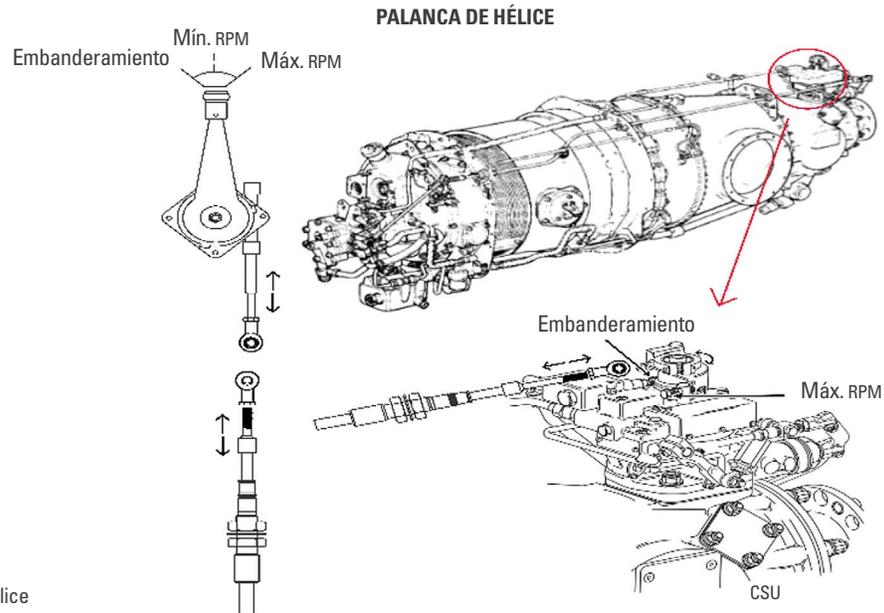


Figura 13. Esquema de control de hélice
Fuente: elaboración propia.

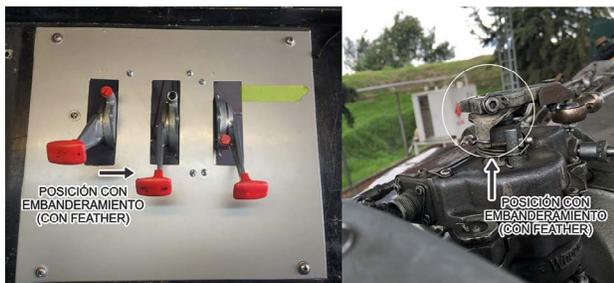


Figura 14. Posición con embanderamiento
Fuente: elaboración propia.



Figura 15. Posición sin embanderamiento
Fuente: elaboración propia.

Se puede ver en la figura 14 que la segunda palanca es la encargada de variar el paso de la hélice, en esta ocasión, la palanca está en la posición de embanderamiento o *feather*, condición en la que el motor es capaz de entregar un máximo torque y un mínimo empuje gracias a la posición que toma la hélice.

En la figura 15 se muestra que dicha palanca ya no se encuentra en la posición inicial de embanderamiento, ahora está en una posición en la que la hélice cambia su paso, es decir, *sin feather*, en la cual el motor es capaz de entregar un mínimo torque y un mayor empuje.

Palanca de flujo de combustible

En el esquema de la figura 16 se muestra cómo será el funcionamiento del cable de control y su correspondiente palanca, al momento de accionar el mando de combustible del motor. Cuando el operador del banco de pruebas decida hacer una acción con la palanca, se verá reflejado en el gobernador de combustible que operará según sus regímenes y en el control del motor, gracias a la conexión del cable de control entre ellos.

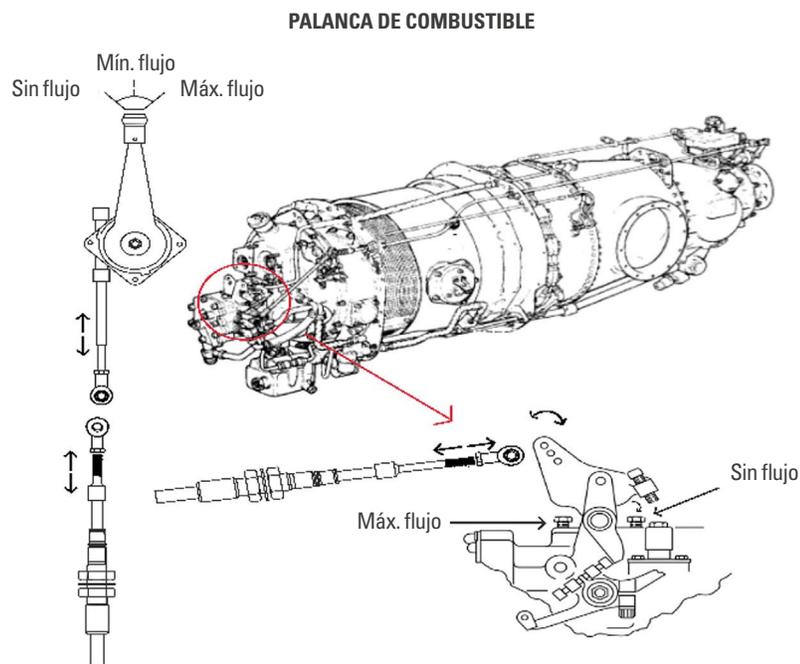


Figura 16. Esquema de control de combustible
Fuente: elaboración propia.

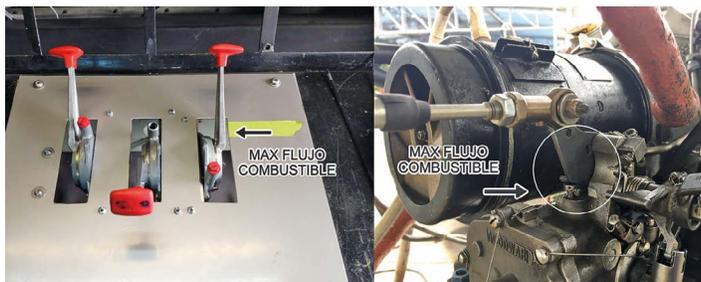


Figura 17. Máximo flujo de combustible
Fuente: elaboración propia.



Figura 18. Sin flujo de combustible
Fuente: elaboración propia.

Ahora bien, respecto al funcionamiento de la palanca que controla el flujo de combustible entrante al motor, se observa que esta, en conjunto con el cable de control mecánico, acciona a la perfección el mando de combustible y le permite llegar a los topes de máximo y cierre de flujo, como se ve en las figuras 17 y 18.

En esta ocasión, se observa la palanca número tres, encargada de controlar el flujo de combustible, que permite o frena el paso de combustible al motor. En la figura 17 la palanca está en la posición de paso de combustible, a la vez que el mando de accionamiento del motor se encuentra en el tope de máximo flujo de combustible.

La figura 18 muestra que la palanca está en la posición que no permite el flujo de combustible al motor, y en el mando de accionamiento se observa que el cable de control mecánico está en el tope inferior, es decir, en el que no es posible suministrar combustible al motor.

En último lugar, lo que resta es ejecutar pruebas con JET A-1 y biodiesel para verificar experimentalmente los reglajes de los tres comandos de vuelo y el desempeño del motor PT6-61A, que se presenta en la siguiente sección.

Reglajes teóricos y prácticos del cable de control mecánico

Se presenta el resumen de los reglajes, tanto teóricos como prácticos en la tabla 3. En ella es posible evidenciar que con el 100 % del avance en las palancas se obtiene un movimiento angular menor al esperado con los cálculos teóricos. Sin embargo, el motor consigue llegar a la potencia máxima. El combustible y el ángulo de hélice logran alcanzar sus topes respectivos.

Como se puede apreciar, existe una inconsistencia en el recorrido angular de las palancas entre los reglajes teóricos y prácticos. Esto se debe a que no fue posible calibrar con suficiente precisión el recorrido de los comandos del motor, así como también el juego en los acoples de las rótulas influyó en el error de esta medida.

Tabla 3
Reglajes teóricos y prácticos del cable de control mecánico

Reglajes teóricos de las palancas de comando		
Comando	Avance de la palanca (%)	Grados de recorrido
Potencia	100	130°
Combustible	100	130°
Hélice	100	130°
Reglajes prácticos de las palancas de comando		
Comando	Avance de la palanca (%)	Grados de recorrido
Potencia	100	125°
Combustible	100	130°
Hélice	100	130°

Fuente: elaboración propia.

Pruebas de operación en tierra del controlador mecánico

Después de la implementación del control mecánico a través de los cables y palancas vistas, se realizaron pruebas en el motor con combustible tradicional ET A-1, algunas mezclas entre este y un biocombustible con porcentajes de 5,15 % y 25 % de biodiesel. En las pruebas se destacó que el motor alcanzó un 96 % de potencia durante su operación en la sección generadora de gases (NG), con una velocidad máxima de 1990 rpm en la hélice (NP) y la generación de un torque de 1600 lb/ft. Fue posible además, alcanzar una velocidad en reversible de 1735 rpm en NP con un promedio de 73 % en NG, y un torque de 134 lb/ft. Por último, la velocidad en mínimas fue de 1300 rpm en NP, con un promedio de 63 % en NG y con un torque de 37,37 lb/ft. Estos datos son un estimado de la totalidad de la corrida experimental realizada, el lector interesado en profundizar en estos resultados, puede consultarlos en la investigación de Sánchez (2020).

Discusión

Como se observó en la tabla 3 sobre reglajes teóricos y prácticos de los cables de control mecánico y sus

palancas, al momento de realizar la manipulación en una de las tres palancas del banco de prueba se presentó un pequeño porcentaje de error. Esto se debe a que algunos de los artículos empleados para realizar el acople de los elementos originalmente presentan algún tipo de holgura, como es el caso de las rótulas dispuestas en las terminales del cable de control mecánico *Push-Pull*. Sin embargo, es posible y seguro realizar las pruebas con este porcentaje mínimo de error, ya que, a pesar de estar presente en la palanca de potencia (con un valor de 5° de desplazamiento angular), el motor se puede llevar a su operación mínima y máxima sin ningún tipo de esfuerzo añadido.

Los resultados de desempeño del controlador mecánico presentados durante las pruebas experimentales en cuanto a velocidad, torque y porcentaje de potencia en el eje, son los esperados en un tipo de prueba como la descrita, lo que se muestra en el éxito del controlador propuesto y en el promedio de valores expuesto.

Observaciones y recomendaciones

Se describen a continuación las observaciones y recomendaciones pertinentes para la ejecución de una segunda fase del proyecto, en lo referente a la realización repetitiva de ensayos en tierra, y se enuncian las recomendaciones de seguridad a tener en cuenta para las pruebas que se han de realizar al motor desde el banco de pruebas, para así no tener inconvenientes al momento de la operación del motor en tierra.

Observaciones

Es destacable que la gran mayoría de los materiales empleados para la elaboración de pasamuros, anclajes de palancas, entre otros, son materiales reutilizados, lo que representa una disminución significativa del presupuesto asignado para la compra de estos elementos. Por otra parte, dada la naturaleza y el tiempo de entrega del proyecto, no se realizó un estudio de fuerzas en los cables, siendo imprescindible su realización con

el fin de analizar el comportamiento de los cables de control mecánico y verificar que no estén siendo sometidos a esfuerzos o fricciones que puedan ocasionar daños futuros en el controlador o en el motor.

Recomendaciones

Las recomendaciones que se consideran necesarias para el buen funcionamiento de este controlador son, en primera instancia, verificar periódicamente el ajuste de los elementos de fijación presentes en el trazado del cable de control mecánico, para obtener un rango de operación eficiente. Segundo, revisar el comportamiento de los cables de control mecánico al momento de estar en operación, para así evidenciar su correcto funcionamiento y evitar movimientos no deseados. Por último, es necesario llevar un seguimiento de los pasamuros, ya que el caucho empleado para evitar el desplazamiento de los cables de control puede sufrir algún tipo de desgaste y esto, a su vez, generar daños en los cables.

Conclusión

Dada la implementación lograda en el banco de prueba fue posible posicionar el recorrido de los cables de control mecánico en el banco, y así obtener una respuesta con un porcentaje de error mínimo, a saber, igual al 4 % en el comando de potencia y del 0,1 % en los dos comandos restantes, dando la confiabilidad necesaria requerida para la realización de las pruebas a futuro. Así mismo, se obtuvo el rendimiento máximo y mínimo de cada comando, lo cual facilita la toma de datos en cada prueba con diferentes porcentajes de mezcla. Hay que mencionar que se logra una repetitividad favorable de los ensayos llevados a cabo con este control mecánico, sin la presencia de porcentajes de error drásticos en la conversión del movimiento angular a lineal. Para concluir, gracias a los elementos de fijación construidos, se logran asegurar los cables de control mecánico en la bancada del motor y en el interior de la cabina del banco de pruebas para operación en tierra.

Referencias bibliográficas

- Badger, M., Julien, A., LeBlanc, A., Moustapha, S., Prabhu, A., & Smailys, A. (1994, 1 de abril). The PT6 Engine: 30 Years of Gas Turbine Technology Evolution. *ASME. J. Eng. Gas Turbines Power*, *116*, 322-330. <https://doi.org/10.1115/1.2906823>
- Bayona-Roa, C., Solís-Chaves, J. S., Bonilla, J., Rodríguez-Meléndez, A., & Castellanos, D. (2019). Computational Simulation of PT6A Gas Turbine Engine Operating with Different Blends of Biodiesel—A Transient-Response Analysis. *Energies*, *12*(22). <https://doi.org/10.3390/en12224258>
- BioD. (2015). *Biodiesel*. <http://www.biodsa.com.co/index.php/premium-gold/?lang=es>
- Cables y Controles. (2020). *Cables de tire y empuje*. <http://www.cablesycontroles.com/catalogo-de-productos/cables/cables-de-tire-y-empuje/>
- Delgado, P. (2018, 2 de septiembre). En Colombia hay industria aeronáutica. *El Espectador*. <https://www.elespectador.com/economia/en-colombia-hay-industria-aero-nautica-articulo-809827>
- Ferreira, G., Jurado, E., & Ayala, J. (2008). *Diseño de un banco de pruebas para motores PT6T-3* [Tesis de pregrado]. Universidad de San Buenaventura. <http://biblioteca.usb-bog.edu.co:8080/Biblioteca/BDigital/43285.pdf>
- Fuerza Aérea Colombiana. (s.f.). *Cheyenne III & III A PA-42 720*. <https://www.fac.mil.co/media-gallery/detail/8011/5350>
- Guayacol. (2013). *Guayas y cables de control*. <https://guayacol.com/index.php/productos/guayas-y-cables-de-control.html>
- Guimarães, Diogo Maria (2015). *Implementation of an Engine Condition Trend Monitoring (ECTM) Program in a Part M Organization: Pratt & Whitney PT6A-67D Engine* [Tesis de maestría]. Universidade Da Beira Interior. https://pdfs.semanticscholar.org/d219/7ce753781d2753a6a32680dc5f8aa3339e72.pdf?_ga=2.85481881.1057691772.1585602801-1237244739.1585602801
- Mayorga Betancourt, M. A., Cadavid Estrada, J. G., Bonilla Páez, J. A., López Santamaría, C. A., & López Gómez, M. (2019). Use of Biofuels in the Aeronautical Industry: Case of the Colombian Air Force. *TECNIENCIA*, *14*(26), 53-63. <http://dx.doi.org/10.18180/tecciencia.2019.26.7>
- Meisel, A. (2014, marzo). Volando sobre la ruta de los vapores: los comienzos de SCADTA, 1919-1930. *Revista Credencial*. <http://www.revistacredencial.com/credencial/historia/temas/volando-sobre-la-ruta-de-los-vapores-los-comienzos-de-scadta-1919-1930>
- Méndez, A. (2011). *Elaboración de un manual interactivo de entrenamiento en el sistema de arranque del motor PT6* [Tesis de tecnología]. Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico. <https://repositorio.espe.edu.ec/bits-tream/21000/8585/1/T-ESPE-ITSA-000156.pdf>
- Pratt & Whitney Canada. (2019). *PT6A More than a Motor*. <https://www.pwc.ca/en/products-and-services/products/general-aviation-engines/pt6a>
- Pratt & Whitney Canada. (2007). *PT6A-60 Series Training Manual*. <https://mikeklochcfi.files.wordpress.com/2018/08/training-pt6a-60-series.pdf>
- Pratt & Whitney Canada. (2006). *Cost-Effective PT6A Overhaul Solutions*. <https://n9.cl/egta>
- Pratt & Whitney Canada. (s.f.). *Key New Order Wisdow Your PT6A Turboprop*. <https://www.caijets.com/pdf/KnowYourPT6A.pdf>
- Sánchez, A. P. (2020, mayo). *Desarrollo de pruebas y análisis experimental de un motor PT6A-61A de la Fuerza Aérea Colombiana a condiciones de Bogotá, realizadas en banco de ensayos utilizando JET A-1 y biodiesel* [Tesis de pregrado no publicada]. Universidad ECCI.
- Semana. (2018, 1 de octubre). La industria aeronáutica de Colombia cada vez vuela más alto. *Semana*. <https://n9.cl/i840>

Revisión teórica y aplicación práctica de las ciencias del espacio para reducir el consumo de combustibles en cohetes y vehículos espaciales*

| Fecha de recibido: 5 de marzo del 2020 | Fecha de aprobación: 29 de abril del 2020 |

TC. Guillermo Alberto Poveda Zamora

Magíster en Ingeniería con énfasis en Ingeniería Aeroespacial

Investigador de la Escuela de Postgrados de la Fuerza Aérea Colombiana.

Grupo de Investigación CIPAER

Rol de investigador: intelectual, experimental, comunicativo

<https://orcid.org/0000-0002-3358-102X>

✉ guillermo.poveda@epfac.edu.co

* Artículo de investigación derivado del proyecto *Diseño y creación de la Maestría en Ingeniería Aeroespacial* de la Fuerza Aérea Colombiana.

Cómo citar este artículo: Poveda Zamora, G. A. Revisión teórica y aplicación práctica de las ciencias del espacio para reducir el consumo de combustibles en cohetes y vehículos espaciales. *Revista Ciencia y Poder Aéreo*, 15(1), 152-160. <https://doi.org/10.18667/cienciaypoderaereo.657>



Revisión teórica y aplicación práctica de las ciencias del espacio para reducir el consumo de combustibles en cohetes y vehículos espaciales

Theoretical Review and Application of Space Science to Reduce Fuel Consumption of Rockets and Space Vehicles

Revisão teórica e aplicação prática das ciências do espaço para reduzir o consumo de combustíveis em foguetes e veículos espaciais

Resumen: El propósito de este artículo es hacer un acercamiento a los fundamentos básicos de las ciencias del espacio en torno a la geometría, velocidad de la Tierra, mecánica celeste y el aprovechamiento natural de las ventajas del planeta con autosostenibilidad y rentabilidad del negocio espacial. El documento aborda temas como la posición de los lanzamientos espaciales y costos globales de poner cargas útiles en el espacio, con una mirada de las ciencias del espacio, los combustibles, la energía y los vehículos espaciales extra pesados. En el desarrollo del texto se utilizaron algunas técnicas de investigación cualitativa, para describir el posible efecto económico de la cuantificación del ahorro de los lanzamientos aeroespaciales en las regiones y la industria aeroespacial. Se analiza además la ventaja que ofrecen las características físicas naturales de la posición espacial de Colombia y doce países más, ubicados en diferentes continentes, los cuales, por su ubicación geográfica, tienen territorio sobre la latitud 0° en el globo terráqueo. Esta información permitirá que el lector se acerque de manera sencilla a un área de conocimiento específica, con la intención de promover el saber espacial con aspectos propios de la ciencia que servirán como herramienta para la apropiación de conceptos, análisis contextual y estímulo de la comprensión crítica y reflexiva. Esto servirá como fuente dinamizadora en la investigación de un campo poco estudiado hasta hoy, pero con inmensas posibilidades de exploración y múltiples perspectivas de beneficio social.

Palabras clave: Economía y sostenibilidad; línea del Ecuador; vehículos espaciales; velocidad de rotación.

Abstract: This paper approaches the basic foundations of Space Sciences around geometry, earth speed, celestial mechanics, and the use of the advantages offered by our planet for the self-sustainability and profitability of the space industry. The study addresses issues such as the position of space launches and the general costs of putting payloads into space, with a particular focus on Space Science, fuel, energy, and super-heavy spacecraft. In the development of the text some qualitative research techniques were used to describe the possible economic effects of quantifying the savings of space launches, examining the benefits offered by the natural physical characteristics of the spatial position of Colombia and 12 more countries located on different continents, which, due to their geographical location, count on lands at zero latitude on the globe. This information will allow the reader to easily approach a specific area of knowledge with the intention of promoting spatial knowledge through science as a tool for understanding new concepts, favoring contextual analysis and stimulating critical and reflective thinking as a dynamic source of research in a field little studied until now, but with immense possibilities for exploration and multiple benefits for the society.

Keywords: Economy and Sustainability; Equator; Spacecraft; Rotation Speed.

Resumo: O objetivo deste artigo é abordar os fundamentos básicos das ciências do espaço em torno da geometria, velocidade da Terra, a mecânica celeste e o aproveitamento natural das vantagens do planeta em referência à auto-sustentabilidade e rentabilidade do negócio espacial. O escrito aborda questões como a posição dos lançamentos espaciais e os custos globais de colocar cargas úteis no espaço, com uma perspectiva das ciências do espaço, os combustíveis, a energia e os veículos espaciais extrapesados. No desenvolvimento do texto foram utilizadas algumas técnicas de pesquisa qualitativas, para descrever o possível impacto econômico que poderia causar nas regiões e na indústria aeroespacial, realizar uma aproximação que quantifique a economia dos lançamentos espaciais, analisando a vantagem oferecida pelas características físicas naturais da posição espacial da Colômbia e mais 12 países localizados em continentes diferentes, que por causa da sua localização geográfica, têm acima de zero de latitude no globo terrestre. Esta informação permitirá ao leitor se aproximar de um modo simples a uma área de conhecimento específica, com a intenção de promover o saber espacial com aspectos próprios da ciência que servirão como recurso para a apropriação de conceitos, análise contextual e estímulo da compreensão crítica e reflexiva, como princípio dinâmico de pesquisa em um campo ainda pouco estudado, mas com inmensas possibilidades de estudo e múltiplas perspectivas de benefício social.

Palavras-chave: Economia e sustentabilidade; Linha do Equador; Veículos espaciais e velocidade rotacional.

Introducción

Considerando la creciente demanda de obtención de recursos naturales vitales como el agua, el oxígeno, la flora y la fauna, garantes de la sostenibilidad de los pueblos, también cobra gran importancia la necesidad de ahorrar en el consumo de combustibles fósiles, los cuales contaminan y afectan importantes reservas naturales del planeta y, por ende, los recursos naturales y la biodiversidad. Es claro que Colombia no es ajena a este daño ambiental, ya que tiene una de las regiones más ricas en reservas minerales, además de tener el bosque tropical más extenso del planeta Tierra (World Wild Fund for Nature [WWF], 2015).

La ascendente carestía de alimentos, del líquido vital y las declaraciones de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), quienes prevén que para 2050 “una cuarta parte de la población mundial sobrevivirá en países con una falta crónica de agua limpia” (Palou, 2017), nos hacen reflexionar sobre la importancia de disminuir el consumo de combustibles líquidos y sólidos, acción que a la vez permitirá proteger los recursos naturales que poseen los seres humanos y demás especies habitantes del planeta (ONU, 2017). Se espera que para el 2050 la población mundial sea de 8900 millones de habitantes (De la Varga, 2005), lo que significa que habrá 2225 millones de personas sin acceso al agua potable. Esta proyección debe ser tenida en cuenta por los países para desarrollar todos los esfuerzos posibles en materia de gestión eficiente de sus recursos. En este caso particular, el artículo se direcciona hacia los planes o proyectos en la creciente industria aeroespacial de explotación de recursos desde el espacio con el fin de disminuir el consumo de combustibles líquidos y sólidos en cohetes y vehículos espaciales.

Con los datos señalados hasta este punto, surge la necesidad de buscar elementos basados en la ciencia, la tecnología, los procedimientos, la revisión de las teorías y leyes de la física y la matemática, que permitan explotar las ventajas naturales propias de nuestro planeta para reducir la contaminación generada por cohetes y vehículos espaciales en sus recorridos hacia

el espacio. Esta contaminación ha sido estudiada desde el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y, además, cuenta con apoyo y financiamiento de la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio (NASA), la Comisión Espacial Europea, la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) (2018). Dicho lo anterior, y a la par de los nuevos desarrollos tecnológicos, se busca presentar soluciones con resultados más eficientes en el transporte de personas, material, equipo y diferentes tipos de suministros para la explotación del espacio, así como la proyección del ser humano fuera de nuestro sistema solar (Schelling, 1980), paso inevitable en la evolución de la sociedad y conciencia humana (White, 1998).

Dentro de la misión constitucional y doctrina propia del uso del poder aéreo de la Fuerza Aérea Colombiana (FAC), está “[...] contribuir a los fines del Estado” (FAC, 2019), lo cual supone una apuesta permanente en el desarrollo tecnológico y el mejoramiento de procesos y estrategias para garantizar el cumplimiento de la función constitucional plasmada en el artículo 217 de la Constitución Política de Colombia (1991). Según esta premisa, y acatando los objetivos en materia de incursionar en la carrera espacial y la protección del medio ambiente, surge una gran incógnita ¿la posición geográfica de Colombia puede brindar ventajas naturales para el lanzamiento de vehículos espaciales y hacer más eficiente el uso de combustibles líquidos y sólidos?

Método

Para dar respuesta al interrogante, se aplicó un método exploratorio del conocimiento disponible, que tiene como objetivo aumentar el grado de entendimiento de una actividad relativamente desconocida en Colombia, la cual puede ser materializada en una investigación completa, profunda y con la rigurosidad científica en el desarrollo de las ciencias del espacio. Así mismo, es un método mixto de tipo descriptivo, en la medida

que detalla analíticamente el comportamiento de una variable asociada a la forma y la gravedad de la Tierra (García, 2010); a las leyes de Newton, en una estrecha relación con la mecánica celeste; las leyes de Kepler, y el uso de combustibles líquidos y sólidos para la generación de velocidad requerida para que los vehículos espaciales abandonen la Tierra y posicionen cargas útiles en órbitas alrededor del planeta.

A su vez, se aplican herramientas de análisis matemático en las leyes de la física para demostrar cómo las ventajas naturales que ofrece el planeta Tierra pueden permitir un uso eficiente de los combustibles para el lanzamiento de vehículos espaciales, en contraposición a los costos de poner cargas útiles en el espacio.

Resultados y análisis

Definir la teoría usada en el presente artículo supone tener presente la forma de la Tierra, ya que en ella se construye el concepto matemático que demuestra la ventaja de la posición natural de la línea del Ecuador en el globo terráqueo para el lanzamiento de vehículos espaciales y cohetes (Poveda & Álvarez, 2020).

La fuerza de gravedad es perpendicular a la superficie de la Tierra en cualquiera de sus puntos, como se puede observar en la figura 1. Las componentes de la línea de color rojo representan una tangente sobre cualquier punto de la superficie y, por otra parte, en la línea de color azul, se puede evidenciar cómo la gravedad resulta ser un componente vertical de fuerza hacia el centro del planeta.

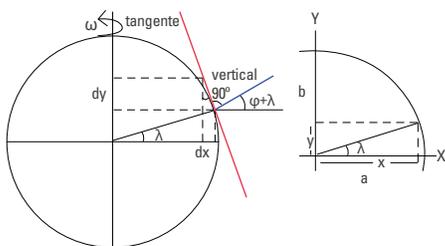


Figura 1. Forma de la Tierra y componente de fuerza de la gravedad
Fuente: García (2010).

Como la Tierra es un geoide achatado en el centro, y no una esfera perfecta, se tienen diferentes mediciones físicas dependiendo del punto de la Tierra en donde se tomen las medidas (como la gravedad, o el radio medido desde el centro de la Tierra hasta algún punto en la superficie, entre otras medidas; véase a figura 1).

Considerando que la Tierra no es una circunferencia, sino que se parece a una elipse (Piskunov & Medkov, 1983), se parte de la siguiente ecuación:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1 \quad (1.1)$$

Al hacer los cálculos de la elipse, en concordancia con lo planteado en la figura 1, se obtienen los valores que han sido presentados por The International Astronomical Union (IAU) (1984), así:

$$\begin{cases} a = \text{radio ecuatorial} = 6378,14 \text{ km} \\ b = \text{radio en los polos} = 6356,75 \text{ km} \end{cases} \quad (1.2)$$

Respecto a la velocidad de rotación de la Tierra, la velocidad angular experimentada por los cuerpos en su superficie cambia significativamente dependiendo del lugar o posición donde ellos se encuentren. Presentan una velocidad angular máxima en el radio donde la Tierra es mayor, es decir, sobre la línea del Ecuador, y mínima en los polos (Poveda & Álvarez, 2020).

Atendiendo el análisis del movimiento angular propuesto por Zare (1988), sabiendo que una vuelta del planeta es 2π radianes, y considerando que f es frecuencia de rotación y T el periodo, se plantea que:

$$\frac{v}{r} = \frac{2\pi}{T} = \omega = 2\pi f \quad (1.3)$$

$$v = \omega r \quad (1.4)$$

En la matemática y física relacionada con vehículos espaciales, cuerpos celestes y todo tipo de masa en interrelación con el planeta Tierra, se considera que el movimiento genera cambios de sus velocidades y energías (Poveda, 2016).

La energía es representada de la siguiente forma:

$$E_{cinética} = \frac{1}{2} m v^2 \quad (1.5)$$

$$E_{potencial} = \frac{GMm}{r} \quad (1.6)$$

$$E_{total} = \frac{1}{2} m v^2 - \frac{GMm}{r} \quad (1.7)$$

De las expresiones descritas anteriormente, se define m como la masa del vehículo espacial (Universidad Politécnica de Madrid [UPM], 2013), G como constante de gravitación universal (De Orus et al., 2007) y M como masa de la Tierra (Neff et al., 1995):

$$G = 6,671 \times 10^{-11} \left[\frac{m^3}{(Kg \cdot Seg^2)} \right] \quad (1.8)$$

$$M = 5.9790 \times 10^{24} \text{ kg} \quad (1.9)$$

La relación entre velocidad objetivo y combustible requerido, de acuerdo a la École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) (2018), y aplicando la fórmula de Tsiolkovsky (Lavavasseur, 2004), se define de manera general en la figura 2, que expone el comportamiento del consumo de combustible en vehículos espaciales:

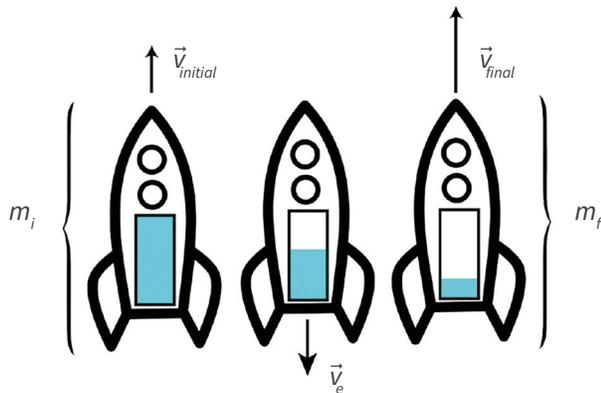


Figura 2. Consumo de combustible
Fuente: EPFL (2018).

A continuación, se relaciona la velocidad inicial $\vec{v}_{inicial}$, la velocidad de empuje \vec{v}_e , la velocidad final \vec{v}_{final} y las dos masas, tanto la inicial como la final m_i y m_f ,

y a la fórmula de Tsiolkovsky se le incorpora el concepto de impulso específico I_{sp} y fuerza de la gravedad g , como se muestra en la siguiente expresión matemática (EPFL, 2018):

$$\Delta V = g * I_{sp} * \log_e \left(\frac{m_i}{m_f} \right) = \begin{cases} m_p = m_i \left[1 - e \left(-\frac{-\Delta V}{g * I_{sp}} \right) \right] \\ m_p = m_f \left[e \left(-\frac{-\Delta V}{g * I_{sp}} \right) - 1 \right] \end{cases} \quad (1.10)$$

La velocidad de empuje ideal es aproximadamente de $4,5 \text{ km/s}$ (EPFL, 2018), con lo cual el vehículo logrará una velocidad de escape entre 5 km/s y 10 km/s , consumiendo el 90 % del combustible a bordo del vehículo, como se describe en la figura 3.

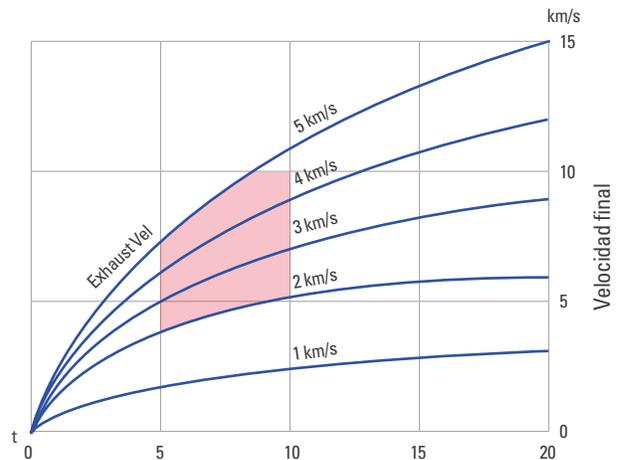


Figura 3. Impulso específico y velocidad del vehículo
Fuente: Poveda & Álvarez (2020, p. 243).

Si bien el artículo busca analizar el consumo de combustible, se tiene en cuenta el impulso específico I_{sp} que se relaciona según el tipo de combustible empleado, dividiéndose en tres grandes grupos:

1. Oxígeno-Hidrógeno líquido $I_{sp} = 450 \text{ s}$ igual a $4,5 \text{ km/s}$ de \vec{v}_e .
2. Nitrógeno tetroxidado-UDMH $I_{sp} = 280 \text{ a } 300 \text{ s}$ igual a $2,8 \text{ a } 3,0 \text{ km/s}$ de \vec{v}_e .
3. Monopropelentes-Hidracina $I_{sp} = 200 \text{ a } 250 \text{ s}$ igual a $2 \text{ a } 2,5 \text{ km/s}$ de \vec{v}_e .

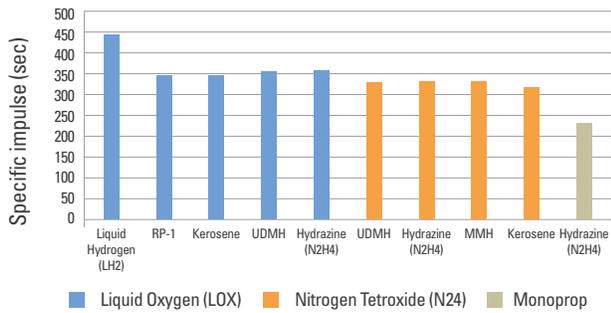


Figura 4. Impulso específico por tipo de combustible

Fuente: Graham (2019) y EPFL (2018).

Ahora bien, el consumo de combustible en vehículos espaciales posicionados sobre la línea del Ecuador está relacionado con el tipo de vehículo y con la velocidad de escape a desarrollar, para de esta manera restar la velocidad de rotación, que será una velocidad extra aplicada al vehículo por estar en latitud cero.

Para hallar esa velocidad, se requiere el valor del radio de la Tierra según la latitud. Para la latitud cero será de 6378,14 km, como se muestra en la figura 5:

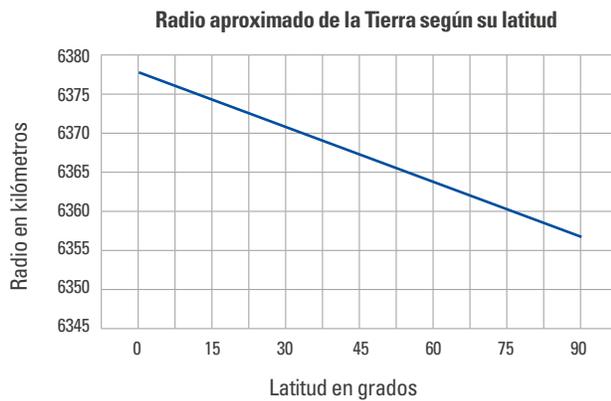


Figura 5. Radio de la Tierra vs. Latitud

Fuente: elaboración propia, información de Poveda & Álvarez (2020, p. 246).

Asociando las ecuaciones (1.3) y (1.4) con la latitud, y tomando al radio de la Tierra según su latitud medida, se hallan las velocidades angulares requeridas para los cálculos de combustible, como se aprecia en los resultados en la figura 6:

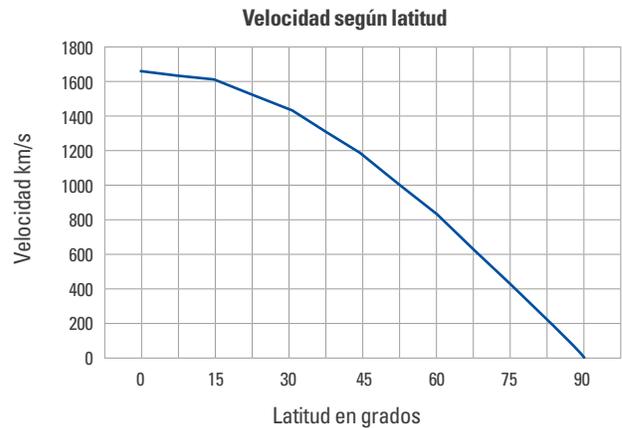


Figura 6. Curva de velocidad vs. Latitud

Fuente: elaboración propia, información de Poveda & Álvarez (2020, p. 247) y Universidad de Sevilla (2002, p. 1).

Para desglosar de manera práctica el ejemplo de un vehículo espacial de combustible líquido propulsor (que puede ser de combustible sólido o líquido [Godínez, 2012]), se toma el vehículo tipo Starship de SpaceX, que usa combustible de tipo LOX y RP-1, tal como puede observarse en la figura 7:

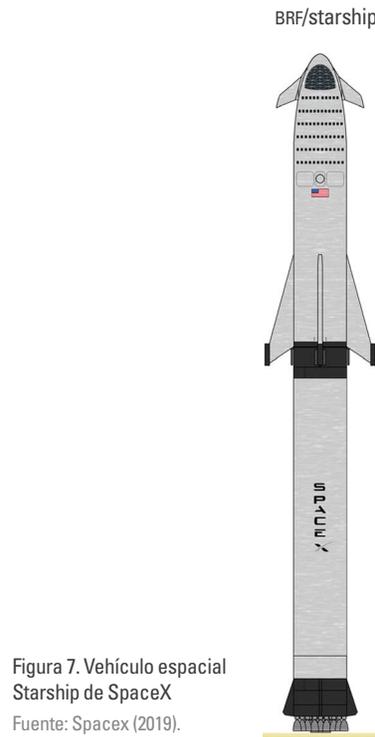


Figura 7. Vehículo espacial Starship de SpaceX

Fuente: SpaceX (2019).

Los aspectos técnicos genéricos para este ejercicio, usando el vehículo espacial Delta IV Heavy serán:

• Apogeo: 300 km
• Masa total del vehículo: 5 000 000 kg total del vehículo
• Masa de la carga útil: 100 000 kg
• Velocidad: 8 km/s

Usando las expresiones desde la (1.5) hasta la (1.9), se obtienen los resultados de energía para el Starship de SpaceX sobre la línea del Ecuador (latitud cero 0°). Se cuenta con un gasto menor de energía como se observa en la tabla 1.

Tabla 1.
Gasto de energía según la latitud

Latitud en grados	Radio en km	Energía potencial	Energía cinética
0	6.678,14	$57,17 \times 10^6 J$	$16 \times 10^{13} J$
15	6.674,57	$57,20 \times 10^6 J$	
30	6.671,01	$57,23 \times 10^6 J$	
45	6.667,44	$57,25 \times 10^6 J$	
60	6.663,88	$57,28 \times 10^6 J$	
75	6.660,31	$57,31 \times 10^6 J$	
90	6.656,75	$57,34 \times 10^6 J$	

Fuente: elaboración propia.

Al analizar la tabla 1, se muestra que en latitud 30° norte, cercana al Kennedy Space Center, existe un gasto mayor de energía que en la línea del Ecuador.

Dicho lo anterior, en la tabla 2 se observan las velocidades requeridas por el vehículo Starship de SpaceX, si se consideran las latitudes de lanzamiento 30° y sobre la línea del Ecuador (latitud cero 0°).

Tabla 2.
Velocidades de escape del vehículo espacial en latitud 0°, 30° y 90°

Velocidad de escape en km/s	Latitud en grados	Velocidad de rotación km/s	Velocidad requerida en km/s	Velocidad requerida en km/h
8	0	0,456417715	7,50	27.174
	30	0,381407955	7,62	27.400
	90	1,51132 E-07	8,00	28.845

Fuente: elaboración propia.

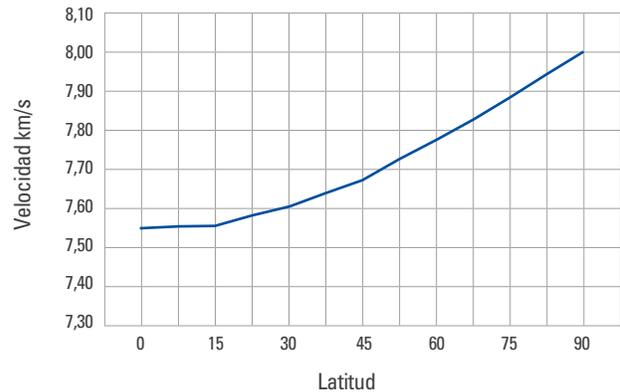


Figura 8. Velocidad de escape requerida vs. Latitud
Fuente: Poveda & Álvarez (2020, p. 247).

En relación con lo anterior, se indica que el lanzador economiza velocidad en la línea del Ecuador, pues la ubicación hace que cierta velocidad sea añadida de manera natural por la rotación de la Tierra, que es de $225,5 \text{ km/h}$, lo que, en un vehículo de una masa de 5 millones de kilos, representa un ahorro significativo de energía para alcanzar la velocidad de escape.

Retornando al cohete Starship de SpaceX y sus características (véase en la figura 9), se debe tener en cuenta que consume la siguiente cantidad aproximada de combustible líquido:

Masa de combustible Lox: 2 040 toneladas
Masa de combustible RP-1: 951,62 toneladas

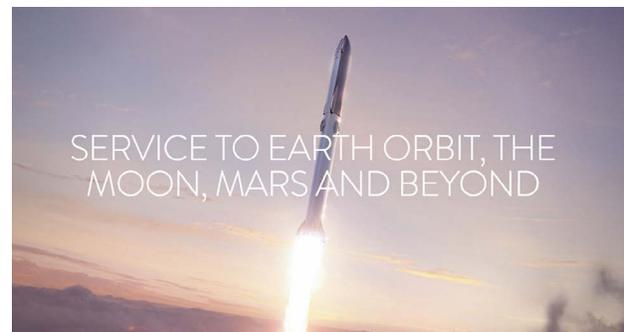


Figura 9. Cohete Starship de SpaceX
Fuente: SpaceX (2020).

Las características especiales de este cohete están asociadas a su gran tamaño y capacidad de transporte interplanetario con la que fue concebido desde su diseño inicial.

Considerando que el Oxígeno-Hidrógeno y líquido LOX tiene un $I_{sp} = 450$ s o $4,5 \text{ km/s}$, se usa la expresión (1.10) con las siguientes variables:

- m : masa de combustible inicial.
- m : masa de combustible final.
- ΔV : variación de velocidad según la latitud que fue hallada en km/s.
- La velocidad final se halla al consumir el 90 % del combustible.

$$\begin{cases} m_p = m_i \left[1 - e\left(-\frac{\Delta V}{g^* I_{sp}}\right) \right] \\ m_p = m_f \left[e\left(-\frac{\Delta V}{g^* I_{sp}}\right) - 1 \right] \end{cases} \text{ Ecuación general}$$

Se realizan los cálculos para las dos cantidades de combustible, LOX y RP-1, en las dos latitudes de análisis, la línea del Ecuador o latitud cero 0° y la latitud 30° . Se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 3.
Consumos de combustible

Latitud en grados	Velocidad requerida en km/s	Consumo de LOX en kg	Consumo de RP-1 en kg
0	7,50	1.667.580	777.936
30	7,62	1.678.389	782.936
Diferencia en kg		10.809	5.000

Fuente: elaboración propia.

La tabla 3 permite identificar una diferencia de 10.809 kg en combustible LOX y de 5.000 kg en el RP-1. Si se suman las masas de diferencia entre LOX y RP-1 se tiene una diferencia total de 15.809 kg.

De esta manera, se puede inferir que al lanzar desde la línea del Ecuador un cohete Starship de SpaceX, el ahorro en masa sumado de LOX y RP-1 es de 15.809 kg de combustible, que se puede aprovechar en más carga útil y que representa un ahorro económico significativo de combustible.

El costo promedio del LOX es USD 7,50 por kg (Wade, s.f) y el de RP-1 es USD 5,30 por kg (Quimi-Net, 2016). Así pues, el ahorro en combustible LOX y RP-1 al lanzar desde la línea del Ecuador será:

- LOX USD 81.067,50
- RP-1 USD 26.500,39

El ahorro en costo del combustible será aproximadamente de USD 107.567,89.

Conclusiones

Como resultado del análisis y sus variables, se tienen las siguientes conclusiones:

1. Aplicar las teorías físicas y matemáticas al lanzar cohetes o vehículos espaciales permite comprobar que se requiere menor cantidad de combustible al lanzar desde la línea del Ecuador, aprovechando la velocidad de rotación de nuestro planeta.
2. Pese a que las teorías y leyes de la física que explican cómo funciona nuestro planeta son tan antiguas, se demuestra con estos cálculos su aplicación en el mundo actual, presentando resultados que favorecen la resolución de problemáticas actuales, tales como la preservación de nuestra atmósfera y la sostenibilidad de la carrera espacial en la humanidad.
3. Los cohetes y vehículos espaciales en su ascenso hacia el espacio exterior y las fronteras ultraterrestres liberan gases contaminantes y partículas perjudiciales para la atmósfera, de manera que reducir las emisiones de combustible en 15.809 kg o 15 t en promedio para vehículos como el Starship de SpaceX representa una importante iniciativa en la preservación y cuidado de la atmósfera, sin restringir el avance del ser humano al espacio. Cada kilo de emisiones cuenta en la sumatoria global de esfuerzos por preservar nuestro planeta.

4. Si 15.809 kg de ahorro en combustible se reemplazaran por carga paga, en términos económicos el ahorro sería significativo. Estos resultados invitan a hacer estudios más profundos en temas de inversión y retorno para la construcción de cosmódromos o estaciones de lanzamiento sobre la línea del Ecuador que favorezcan la industria aeroespacial con la posible baja de los costos de poner cargas útiles en el espacio.

Referencias bibliográficas

- Colombia. (1991). *Constitución Política de Colombia*. Legis.
- De la Varga, J. (2005, 5 de diciembre). La escasez de agua, origen de conflictos bélicos para el siglo XXI. *Forum Libertas*. <http://www.forumlibertas.com/la-escasez-de-agua-origen-de-conflictos-belicos-para-el-siglo-xxi/>
- De Orus, J., Català, M., & De Murga, J. (2007). *Astronomía esférica y mecánica celeste*. Universitat Barcelona.
- École Polytechnique Fédérale de Lausanne. (2018). *Space Mission Design and Operations*. <https://edu.epfl.ch/coursebook/fr/space-mission-design-and-operations-EE-585>
- Fuerza Aérea Colombiana. (2019, 22 de julio). *Disposición 026*. <https://www.fac.mil.co/transparencia-y-acceso-informacion-publica/3-estructura-organica-y-talento-humano/mision-vision>
- García, A. (2010, diciembre). La forma de la Tierra. *Física con ordenador*. <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/celeste/forma/forma.htm>
- Godínez, A. (2012). *La defensa contra misiles balísticos. Posible participación de las fragatas F-100*. Instituto Español de Estudios Estratégicos.
- Graham, W. (2019, 19 de enero). ULA Delta IV-Heavy Launches NROL-71 Following Lengthy Delay. *NASA*. <https://www.nasaspaceflight.com/2019/01/ula-delta-iv-heavy-set-to-launch-nrol-71/>
- International Astronomical Union. (1984). XIth General Assembly. https://www.iau.org/static/resolutions/IAU1964_French.pdf
- Lavvasseur, D. (2004). The Tsiolkovsky Formula. *Astrosurf*. http://www.astrosurf.com/levavasseur/tsiolkovsky/tsiolkovsky_fichiers/Tsiolkovsky.pdf
- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) (2018, octubre). WMO/UNEP Scientific Assessments of Ozone Depletion. <https://www.esrl.noaa.gov/csd/assessments/ozone/>
- Neff, R., Zitewitz, P., & Davids, M. (1995). *Physics, Principles and Problems*. Glencoe/McGraw Hill.
- Palou, N. (2017, 13 de junio). La guerra del agua, un conflicto no tan lejano. *La Vanguardia*. <https://www.lavanguardia.com/vivo/ecologia/20170613/423359841404/agua-es-casez-conflictos-recursos-problema-onu.html>
- Piskunov, N., & Medkov, K. (1983). *Cálculo diferencial e integral*. Editorial Mir.
- Poveda, G. (2016). *Propuesta de órbita geoestacionaria para el satélite artificial FACSAT01 simulación* [Tesis de maestría]. Universidad del Valle.
- Poveda, G., & Álvarez, C. (2020). Colombia y la órbita geoestacionaria: un vínculo geoestratégico inalienable. En C. G. Álvarez (ed.), *El espacio exterior: una oportunidad infinita para Colombia. El cielo no es el límite: el futuro estelar de Colombia, 2* (pp. 162-263). Escuela Superior de Guerra "General Rafael Reyes Prieto".
- Quimi-Net. (2016, 13 de Enero). *Precios de oxígeno (líquido)*. <https://www.quiminet.com/productos/oxigeno-liquido-238320545/precios.htm>
- Schelling, T. (1980). *The strategy of conflict*. Harvard University Press. SpaceX. (Enero del 2020). *Service to Earth Orbit, the Moon, Mars and Beyond*. <https://www.spacex.com/starship>
- SpaceX [r/SpaceXLounge]. (2019, 26 de enero). Starship vs. New Glenn (Size Comparison) [Entrada foro online]. *Reddit*. https://www.reddit.com/r/SpaceXLounge/comments/ajyxx8/starship_vs_new_glenn_size_comparison/
- Universidad de Sevilla. (2002). Velocidad de un punto en la superficie de la Tierra (G.I.A.). *La Place*. [http://laplace.us.es/wiki/index.php/Velocidad_de_un_punto_en_la_superficie_de_la_Tierra_\(G.I.A.\)](http://laplace.us.es/wiki/index.php/Velocidad_de_un_punto_en_la_superficie_de_la_Tierra_(G.I.A.))
- Universidad Politécnica de Madrid. (2013). *Ecuaciones de dimensión*. http://ocw.upm.es/pluginfile.php/381/mod_label/intro/Teor_06OCW.pdf
- Wade, M. (s.f.). LH2. *Astronautix*. <http://www.astronautix.com/lh2.html>
- White, F. (1998). *The Overview Effect: Space Exploration and Human Evolution*. American Institute of Aeronautic and Astronautic.
- World Wild Fund for Nature. (2015, 5 de marzo). *La Amazonía: una región de records*. https://wwf.panda.org/es/que-hacemos/sitios_prioritarios/amazonia/la_amazonia_naturaleza/
- Zare, R. (1988). *Angular Momentum: Understanding Spatial Aspects in Chemistry and Physics*. John Wiley & Sons.

Mediación virtual en la enseñanza y la instrucción: avances y retos*

| Fecha de recibido: 16 de enero del 2020 | Fecha de aprobación: 29 de abril del 2020 |

María del Pilar García-Chitiva

Magíster en Educación

Docente e Investigadora en Centro

de Estudios Aeronáuticos (CEA)

Grupo de Investigación: GINA

Rol de investigador: intelectual,

experimental, comunicativo

<https://orcid.org/0000-0001-6776-3422>

✉ pilargarciach@gmail.com

* Este artículo de investigación se desarrolla en el marco del proyecto *Desarrollo de un modelo de instrucción mediado por TIC, para la instrucción, entrenamiento y evaluación en el puesto de trabajo para controladores de tránsito aéreo*. Financiado por el Centro de Estudios Aeronáuticos CEA.

Cómo citar este artículo: García-Chitiva, M. (2020). Mediación virtual en la enseñanza y la instrucción: avances y retos. *Revista Ciencia y Poder Aéreo*, 15(1), 161-177. <https://doi.org/10.18667/cienciaypoderaereo.645>



Mediación virtual en la enseñanza y la instrucción: avances y retos

Virtual Mediation in Teaching and Training: Advances and Challenges

Mediação virtual no ensino e a instrução: progressos e desafios

Resumen: Los avances tecnológicos han permeado todas las formas de enseñanza y aprendizaje. Por lo tanto, la instrucción y la capacitación también forman parte de los estudios en los que se documenta el uso de los Entornos Virtuales de Aprendizaje (EVA) para determinar el alcance de las tecnologías virtuales en todos los niveles de enseñanza (desde el aprendizaje de un contenido de una materia en la educación superior hasta la construcción de un barco en la capacitación técnica y laboral). Este artículo tiene dos propósitos. El primero es analizar el estado de la investigación sobre procesos de instrucción mediados por herramientas virtuales. Para ello, se realiza un análisis bibliométrico de las publicaciones realizadas entre 1997 y el 2018, indexadas en la base de datos SCOPUS. El segundo propósito es examinar los principales avances presentados en la literatura científica revisada, para así determinar los desafíos que enfrentan estudios posteriores, principalmente en lo que respecta a procesos de Instrucción, Entrenamiento y Evaluación en el Puesto de Trabajo (IEEPT). Dentro de los hallazgos de esta revisión, se estableció que el incipiente proceso de investigación de la instrucción mediada por tecnología explica la falta de publicaciones indexadas sobre el tema en bases de datos internacionales. También se estableció que, mediante el empleo de las herramientas disponibles para los protocolos de instrucción, como simuladores y *software*, se pueden adelantar procesos de investigación similares a los documentados en este artículo.

Palabras clave: Aprendizaje virtual; entrenamiento virtual; instrucción virtual.

Abstract: Technological advances have spanned teaching and learning in all its forms. Therefore, instruction and training are also part of studies documenting the use of Virtual Learning Environments (VLEs) to determine the scope of virtual technologies in learning at all levels, from learning a subject topic in higher education to building a boat in technical and work education. This article has two purposes. First, to study the state of research on virtuality-mediated instructional processes through a bibliometric analysis of publications between 1997 and 2018 indexed in the SCOPUS® database. Second, to examine the main advances presented in peer-reviewed scientific literature and define the challenges for subsequent studies, mainly for instruction, training, and evaluation in the workplace. According to the results of this study, the first steps about technology-mediated instruction research in the traffic air area have just emerged during recent times as a consequence of the lack of indexed publications on the subject in international databases. Besides, it was established that research processes similar to the studies documented in this article could be carried out by using the tools available for instructional processes (simulators and software).

Keywords: Virtual Learning; Virtual Training; Virtual Instruction.

Resumo: Os avanços tecnológicos têm permeado todas as formas de ensino e aprendizagem. Portanto, a instrução e o treinamento também fazem parte dos estudos que documentam o uso de Ambientes Virtuais de Aprendizagem (AVA) para determinar o alcance das tecnologias virtuais em todos os níveis de aprendizagem (desde a aprendizagem de um conteúdo de uma disciplina no ensino superior até a construção de um navio na capacitação técnica e de trabalho). Este artigo tem dois propósitos. O primeiro é analisar o estado da pesquisa sobre processos instrucionais mediados por ferramentas virtuais. Para isso, é realizada uma análise bibliométrica das que foram realizadas entre 1997 e 2018, indexadas na base de dados SCOPUS. O segundo propósito é examinar os principais avanços apresentados na literatura científica revisada, a fim de determinar os desafios enfrentados pelos estudos subsequentes, principalmente no que se refere aos processos de Instrução, Treinamento e Avaliação no Local de Trabalho. Entre os achados desta revisão, foi estabelecido que o incipiente processo de pesquisa da instrução mediada por tecnologia explica a falta de publicações sobre o assunto indexadas em bancos de dados internacionais. Além disso, foi estabelecido que, usando as ferramentas disponíveis para os processos institucionais, como simuladores e *software*, processos de pesquisa semelhantes aos documentados neste artigo podem ser realizados.

Palavras-chave: Aprendizagem virtual; Instrução virtual; Treinamento virtual.

Introducción

El volumen del tránsito aéreo en Colombia se ha incrementado en los años recientes. Este incremento se debe, entre otras cosas, al crecimiento de la economía que se refleja en las entradas de nacionales y extranjeros al país (Agudelo-Rivera et al., 2019). El aumento en el número de vuelos nacionales e internacionales representa un incremento en las operaciones de tránsito aéreo y, a su vez, demanda una mayor capacidad en el control de este tipo de tránsito. Tal demanda implica el abordaje de dos aspectos fundamentales. El primero es la incorporación de un mayor número de controladores de tránsito aéreo y el segundo, que se establezca un proceso de Instrucción, Entrenamiento y Evaluación en el Puesto de Trabajo (IEEPT). El IEEPT debe tener una fortaleza pedagógica y didáctica que responda a las necesidades del proceso de enseñanza-aprendizaje tanto en términos técnicos y disciplinares (propios de la disciplina o área en la que se aprende) como en términos de las necesidades y preferencias de quien aprende. El presente documento solo se centrará en este segundo aspecto.

El IEEPT se desarrolla bajo las directrices de documentos normativos como el RAC 65 (2019) y el Documento 9868 (OACI, 2016). Según estos, el IEEPT considera el fortalecimiento de las competencias de los controladores de tránsito aéreo en las posiciones tanto de aeródromo como de radar en tiempo real. Este fortalecimiento se debe dar bajo la tutoría de colegas instructores. Los procesos de instrucción de esta naturaleza involucran aspectos técnico-teóricos y prácticos que son abordados en el puesto de trabajo (Tovar, 2015), pero que deben ser igualmente reforzados y trabajados de manera autónoma por quienes participan del proceso. Esto implica que quienes se encuentran en proceso de IEEPT deben realizar *repasos o trabajo de estudio y refuerzo autónomo e independiente*. Para ello, pueden apoyarse en herramientas tecnológicas que les permitan acceder a los contenidos, evaluaciones y actividades relacionadas con la instrucción que adelantan.

Se ha identificado que desde hace casi tres décadas los procesos de instrucción y enseñanza en todos los niveles han venido incorporando el uso de herramientas o mediaciones tecnológicas, como complemento de los procesos de instrucción presencial (Jardines, 2009). Los procesos de formación técnico, tecnológico y profesional han seguido el camino de la incorporación de tecnologías mediadas por Internet en la enseñanza (García-Chitiva & Suárez-Guerrero, 2019), lo que ha dado lugar a situaciones de enseñanza-aprendizaje en la modalidad *B-learning*, que combina la presencialidad con la virtualidad. En este sentido, la evidente y rápida evolución de los adelantos tecnológicos han exigido cambios de paradigma en la comprensión de cómo se enseña y cómo se aprende, y han estimulado las siguientes discusiones: (1) sobre el tipo de mediaciones que pueden ser empleadas para desarrollar procesos de formación a distancia en todos los niveles y procesos de formación (Araiza & Leal, 2018); (2) sobre el tipo de interacciones que se presentan en dichos procesos, de acuerdo con el tipo de mediación, y el uso que se les da en el proceso educativo o de instrucción. Por lo tanto, la educación a distancia puede comprenderse de dos maneras en función de los tipos de interacciones y mediaciones que se empleen. En la “educación a distancia tradicional” las formas de interacción no están soportadas por lenguajes informáticos (Estévez et al., 2015). En contraste, en la “educación a distancia virtual” se prescinde de los encuentros presenciales y las interacciones entre maestros-estudiantes y estudiantes-estudiantes se soportan exclusivamente por las tecnologías (Rama, 2016).

Según este panorama, las herramientas tecnológicas mediadas por Internet facilitan y potencian los procesos de enseñanza-aprendizaje en todos los niveles y procesos de formación. El presente estudio tiene el propósito de analizar el estado de la investigación sobre procesos de instrucción mediados por la virtualidad (los niveles de publicación sobre el tema, los artículos y fuentes más destacadas, los autores, instituciones de afiliación y países que más trabajan el tópico). También se busca establecer cuáles han sido las tendencias temáticas de trabajo y los retos que este

tipo de mediación plantea a la instrucción. Particularmente, se quiere establecer cuáles y cuántos de esos trabajos se han desarrollado específicamente sobre IEEPT en el área del control de tránsito aéreo. Con esta última finalidad se pretende establecer el alcance de las investigaciones que hasta la fecha se han desarrollado sobre la inclusión de mediaciones virtuales en esta área. Con esto, se identifica el contexto de antecedentes para el proyecto *Desarrollo de un modelo de instrucción mediado por TIC, para la instrucción, entrenamiento y evaluación en el puesto de trabajo para controladores de tránsito aéreo*, en el marco del cual se desarrolla el presente estudio bibliométrico. En lo que sigue, se presentan la metodología, los resultados, la discusión y las conclusiones.

Método y materiales

Tipo de estudio

El presente estudio es un análisis bibliométrico que analiza las investigaciones sobre mediación virtual en la enseñanza y la instrucción publicadas entre 1997 y el 2018. Un análisis bibliométrico permite describir el estado de investigación sobre un tema a partir del análisis del número de publicaciones y de las citas recibidas por cada publicación (Fernández & Bueno, 1998; Diem & Wolter, 2013).

Procedimiento de recolección y análisis de datos

Uno de los propósitos principales de esta investigación era identificar las investigaciones que hubiesen desarrollado IEEPT mediado por TIC en el control del tránsito aéreo, que se encontraran en la base de datos SCOPUS¹. Para cumplir este objetivo, se establecieron

los términos clave que describieran los temas de interés: “aprendizaje virtual”, “entrenamiento”, “instrucción” y “tráfico aéreo”. Se buscaron los términos en el idioma inglés, ya que la búsqueda en español no generó ningún tipo de resultado. Se emplearon dos estrategias de búsqueda. La primera fue usar las siguientes combinaciones de palabras clave: “air traffic” AND “virtual learning” AND “training” AND “instruction”; “air traffic” AND “virtual learning”; “virtual training” AND “air traffic”, y “virtual instruction” AND “air traffic”. Como estas combinaciones de búsqueda no dieron ningún resultado, se procedió a eliminar las palabras específicas relacionadas con el tránsito aéreo (*air traffic*).

La segunda estrategia de búsqueda fue usar la combinación de palabras clave “virtual learning” AND “training” AND “instruction”. Con esta búsqueda se obtuvieron 255 documentos, distribuidos así: 4 libros, 13 capítulos de libro, 155 artículos de conferencias, 71 artículos, 2 artículos en prensa, 6 artículos de revisión de conferencias y 4 revisiones. Se consideró que los 255 documentos generados en esta búsqueda conformaban un corpus robusto para realizar un análisis bibliométrico que permitiera describir los detalles de las investigaciones e identificar las tendencias desarrolladas en esta temática de investigación. Por esta razón no se realizaron más búsquedas.

Para el tratamiento de los datos, se realizó un análisis estadístico descriptivo de la muestra y se emplearon técnicas de visualización de datos. Se desarrollaron estadísticas descriptivas, técnicas de visualización de datos en el lenguaje de programación R (Wickham, 2009) y se calculó el aumento de publicaciones por año mediante el paquete Bibliometrix (Aria et al., 2017). Igualmente, se usaron técnicas de visualización y análisis de redes (Cherven, 2015), desarrolladas en la interfaz Biblioshiny de Bibliometrix, con el fin de identificar los documentos más relevantes, los autores más representativos y la colaboración entre investigadores de diferentes países. Para analizar la tendencia y la evolución temática de las investigaciones sobre el tema, se emplearon técnicas de visualización de redes con la herramienta VosViewer (Perianes-Rodríguez et al., 2016).

¹ Se seleccionó la base de datos SCOPUS, ya que esta indexa el contenido de 24 600 revistas de todo el mundo en diferentes áreas. Esto permite un mayor alcance en la revisión de una temática de interés global.

Resultados

De los 255 documentos analizados, 38 fueron publicados por un único autor, mientras que 217 fueron escritos en coautoría por al menos tres autores.

Con respecto al comportamiento de la producción de las publicaciones, se estableció que, específicamente sobre el tema, las primeras publicaciones surgen en 1997 (figura 1). También se identificó que en la primera década (desde 1997 hasta el 2008) la producción científica al respecto fue pequeña, ya que las publicaciones solo ocuparon el 17,6 % del total de los documentos analizados. En contraste, en la siguiente década (desde el 2009 hasta el 2018) se dio un incremento significativo, pues en esta franja de tiempo se publicó el 82,3 % del total de las publicaciones. Estos primeros hallazgos coinciden con la llegada de herramientas tecnológicas soportadas por Internet (las cuales serán comentadas más adelante, en la discusión) y con el incremento de la oferta de programas de instrucción con mediación virtual (ya sea total —programas 100 % virtuales— o parcial —*Blended Learning*—) en todos los niveles educativos.

Tal como se indica en la figura 2, las áreas del conocimiento en las que se concentra el mayor número de publicaciones sobre enseñanza e instrucción mediada virtualmente son ciencias de la computación, ingeniería, matemáticas y salud (medicina). Estas son áreas en las que se involucran procesos de instrucción que emplean laboratorios virtuales, ambientes

de simulación, ambientes virtuales de realidad aumentada, entre otros.

Con respecto a la investigación sobre la mediación virtual en la instrucción, en la figura 3 se observa que, aunque la oferta de procesos de instrucción y el crecimiento de la mediación virtual en ellos se documenta desde la década de 1990, solo algunos países desarrollan estudios en colaboración al respecto. Los países identificados dan cuenta de la ubicación de la institución de afiliación de los autores. Se observa que Estados Unidos es el país en el que se da el mayor número de investigaciones (nueve) sobre el tema desarrolladas en colaboración con investigadores de países como Australia, Canadá, China, Francia, Grecia, India, Rumania, Holanda y Taiwán. Así mismo, en el caso de España y el Reino Unido, cada uno tiene siete publicaciones realizadas en colaboración con investigadores de países como Dinamarca, Francia, Grecia, Irlanda, Italia, Lituania, Noruega, Australia, Brasil, Ecuador, Alemania y Guatemala. Dentro de las diez instituciones más sobresalientes por el número de documentos publicados, se encuentran dos instituciones británicas, dos españolas, una iraní, una brasilera, una norteamericana, una irlandesa y una coreana. Este grupo de colaboración entre inter-instituciones e inter-países muestra que la investigación en Latinoamérica tiene una reducida presencia en publicaciones indexadas en bases de datos como SCOPUS. No obstante, pueden existir publicaciones en fuentes latinoamericanas pero que no son referenciadas aquí debido a que el análisis se centra exclusivamente en SCOPUS.

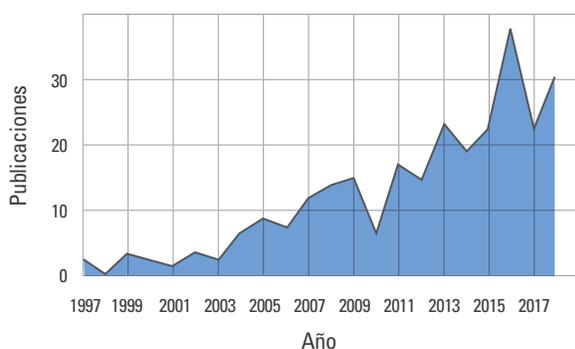


Figura 1. Comportamiento de las publicaciones por año
Fuente: elaboración propia.

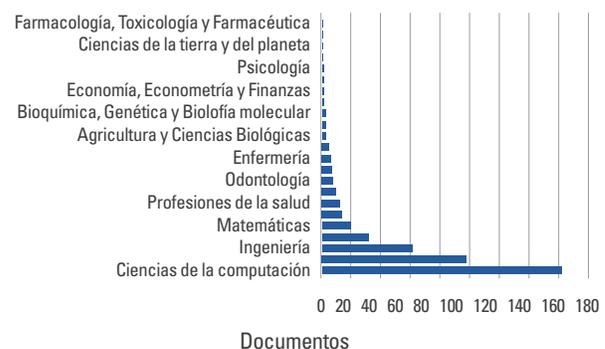


Figura 2. Áreas de publicación sobre el tema
Fuente: elaboración propia.



Figura 3. Mapa de colaboración en la investigación sobre mediación virtual en la enseñanza y la instrucción

Fuente: elaboración propia.

Al analizar las publicaciones más destacadas, se encuentra que la mayoría de los veinte documentos más citados (tabla 1) documentan al empleo de laboratorios virtuales, de simulación y al uso de metodologías comparadas con la virtual. Las dos publicaciones más citadas (“Web-Based Virtual Learning Environments: A Research Framework and a Preliminary Assessment of Effectiveness in Basic IT Skills Training” y

“Learning in a Virtual World: Experience With Using Second Life for Medical Education”) analizan la utilidad de entornos de realidad aumentada para la enseñanza y el entrenamiento. En la tabla 1 también se muestra el cuartil al que pertenecen las fuentes en las que se publicaron dichos documentos, según Scimago JR, y su índice de impacto. Estos datos permiten visibilizar la notoriedad de estos documentos para el campo de estudio.

Tabla 1
Listado de las 20 publicaciones más citadas

(Piccoli et al., 2001)	Web-Based Virtual Learning Environments: A Research Framework and a Preliminary Assessment of Effectiveness in Basic IT Skills Training	726	Q3	25
(Wiecha et al., 2010)	Learning in a Virtual World: Experience With Using Second Life for Medical Education	132	Q1	54
(Anohina, 2005)	Analysis of the Terminology Used in the Field of Virtual Learning	51	NA	7
(Larvin, 2009)	E-Learning in Surgical Education and Training	44	Q1	91
(Green et al., 2006)	The Development and Evaluation of the Use of a Virtual Learning Environment (Blackboard 5) to Support the Learning of Pre-Qualifying Nursing Students Undertaking a Human Anatomy and Physiology Module	37	Q2	34
(Limniou et al., 2009)	Integration of Simulation Into Pre-Laboratory Chemical Course: Computer Cluster Versus WebCT	32	Q1	50
(Stonebraker & Hazeltine, 2004)	Virtual Learning Effectiveness: An Examination of the Process	32	Q1	131
(Corrigan et al., 2008)	“SURGENT” - Student e-Learning for Reality: The Application of Interactive Visual Images to Problem-Based Learning in Undergraduate Surgery	27	Q1	249
(Clarke et al., 2005)	A Strategic Approach to Developing e-Learning Capability for Healthcare	27	Q1	189

Continúa

Estudio		Total citas	Cuartil SJR	H-Index
(Kim & Schniederjans, 2004)	The Role of Personality in Web-based Distance Education Courses	26	Q1	45
(Kleinpell et al., 2011)	Web-Based Resources for Critical Care Education	25	Q2	34
(Maxwell, 2012)	An Agenda for UK Clinical Pharmacology: How Should Teaching of Undergraduates in Clinical Pharmacology and Therapeutics Be Delivered and Assessed?	23	Q1	149
(Yoshida et al., 2011)	Development of a Multi-Layered Virtual Tooth model for the Haptic Dental Training System	23	Q2	50
(Raynor & Iggulden, 2008)	Online Anatomy and Physiology: Piloting the Use of an Anatomy and Physiology e-Book–VLE Hybrid in Pre-Registration and Post-Qualifying Nursing Programs at the University of Salford	22	Q1	65
(Raupach et al., 2009)	Web-Based Collaborative Training of Clinical Reasoning: A Randomized Trial	21	Q3	69
(Lytvyn et al., 2016)	A Method for Constructing Recruitment Rules Based on the Analysis of a Specialist's Competences	19	Q1	73
(Moazami et al., 2014)	Comparing Two Methods of Education (Virtual Versus Traditional) on Learning of Iranian Dental Students: A Post-Test Only Design Study	19	Q1	116
(Shakhovska et al., 2017)	Intelligent Systems Design of Distance Learning Realization for Modern Youth Promotion and Involvement in Independent Scientific Researches	18	Q1	195
(Pinto-Llorente et al., 2017)	Students' Perceptions and Attitudes Towards Asynchronous Technological Tools in Blended-Learning Training to Improve Grammatical Competence in English as a Second Language	17	Q3	25
(San Diego et al., 2012)	Researching Haptics in Higher Education: The Complexity of Developing Haptics Virtual Learning Systems and Evaluating Its Impact on Students' Learning	17	Q1	54

Fuente: elaboración propia.

Mediante análisis de las palabras clave, se identificó que son 645 los términos clave más comúnmente empleados por los autores en los 255 documentos analizados. Esto permitió identificar dos aspectos fundamentales que describen la tendencia sobre los objetos de estudio.

El primer aspecto es la tendencia temática, que varía por épocas. En la figura 4 se muestran nodos de colores (azul oscuro, verde oscuro, verde claro y amarillo). Se observa que, dados los términos agrupados en los nodos de color azul oscuro (“instrucción médica”, “aprendizaje a distancia”, “ambientes virtuales”, “aprendizaje a lo largo de la vida”, “Entornos Virtuales de Aprendizaje” —VLE, por sus siglas en inglés—, “instrucción basada en Internet” y “diseño instruccional”), la investigación antes del 2010 se enfocó en perfilar los entornos virtuales de aprendizaje (EVA). A partir del 2000 se empezaron a modificar y sofisticar las primeras versiones de estos entornos, que tuvieron su origen

en la década de 1990. Con respecto a la educación en áreas como la medicina y la ingeniería, se adelantaron estudios en los que se instruía a distancia con la mediación tecnológica y se avanzó en la creación de modelos de diseño instruccional. Lo mismo sucedió en áreas como la física o las ciencias sociales, entre otras.

Por su parte, los nodos de color verde oscuro abarcan las publicaciones identificadas con las palabras clave “e-learning”, “educación”, “evaluación y entrenamiento mediado por Internet” (ICT, por sus siglas en inglés). Esta segunda tendencia, dada entre el 2011 y el 2012, muestra que los estudios dieron un giro hacia la comprensión de cómo enseñar y evaluar en los escenarios mediados por Internet. Es decir, antes del 2011 se adecuaron los entornos y entre el 2011 y el 2012 se empezaron a interpretar y definir las maneras de enseñar, aprender en ellos y evaluar.

Los nodos de color verde claro (que encapsulan las palabras clave “entrenamiento y enseñanza”, “aprendizaje en línea”, “educación superior”, “aprendizaje combinado”, “educación asistida por computador”, “simulación” —verde claro ligeramente más oscuro—, “aulas virtuales”, “tecnologías e información”, “Second Life”, “realidad virtual”, “diseño curricular”, “accesibilidad y entornos virtuales” —verde ligeramente más claro—) muestran que entre el 2013 y el 2016 hay una tercera tendencia, derivada de las anteriores. En este periodo se busca determinar el efecto de las adecuaciones en los entornos virtuales creados anteriormente (como en el caso de Moodle) y de la creación de nuevos entornos virtuales (que incorporaron tecnologías de realidad virtual, como en el caso de Second Life) sobre las interacciones y los procesos de enseñanza-aprendizaje.

Finalmente, los nodos amarillos (que representan las palabras clave “entornos virtuales de aprendizaje”, “gamificación”, “información y comunicaciones” y “comunidades virtuales”) muestran que el objeto de estudio predilecto entre el 2016 y el 2018 fue las implicaciones del uso de herramientas de información y comunicación (entre docentes-estudiantes y estudiantes-estudiantes) en los entornos virtuales. Igualmente, en ese periodo se analizó el impacto de estas herramientas para el desarrollo de trabajo colaborativo y la consolidación de comunidades de aprendizaje. También se refleja aquí un interés por analizar las implicaciones del juego en los procesos de enseñanza-aprendizaje virtual.

El segundo aspecto relevante que se analiza a través de la red de coocurrencia en la figura 4 es el agrupamiento palabras clave (grupos o *clusters*). Los *clusters* pueden entenderse como *microconjuntos* de elementos que están altamente conectados entre sí y que hacen parte de un conjunto de elementos más robusto (Cherven, 2015). Los *clusters* se conectan por segmentos de acuerdo a su nivel de proximidad; en este caso, de acuerdo a su nivel de coocurrencia. Se observan algunos nodos (palabras clave) más prominentes que otros; por ejemplo, *e-learning*. Este término en particular, perteneciente al *cluster* 3, se conecta con al menos cinco de los seis nodos. Evidentemente, esto se debe a la

popularización de la educación mediada por Internet. En el primer *cluster* se ubican las palabras clave “blended learning”, “computer assisted instruction”, “higher education”, “ICT”, “medical education”, “Moodle”, “teacher training” y “virtual learning environment”. Los estudios que emplean estos términos clave analizan el entrenamiento en áreas diversas empleando los EVA y, en algunos casos, simulaciones. Tanto los EVA como las simulaciones son mediados por los entornos virtuales. Por ejemplo, Halpin et al. (2015) desarrollaron un módulo de capacitación en seguridad eléctrica, basado en simulación, construido en una plataforma que empleó el software Blender y Unity3. El objetivo de este módulo era proveer a los empleados de empresas de diferentes áreas en un proceso de capacitación virtual. El diseño del módulo contempló las áreas de aprendizaje del nivel superior propuestas en la taxonomía de Bloom (aplicación, análisis, síntesis y evaluación).

En otro estudio, Pinto-Llorente et al. (2017) analizaron la percepción de 358 estudiantes universitarios de un programa de segunda lengua sobre la efectividad de herramientas asincrónicas, en una modalidad *blended learning*, para cumplir con los objetivos de la materia Morfosintaxis. Los resultados indicaron que los estudiantes percibieron mejores logros en las evaluaciones y en el aprendizaje de los contenidos. Igualmente, los estudiantes resaltaron la relevancia de esta metodología para la autonomía y la autogestión en el aprendizaje, ya que el complemento educativo que proporciona la virtualidad les permitió seguir sus propios ritmos de aprendizaje.

Dentro de las publicaciones relacionadas en el primer *cluster* se encuentran aquellas que analizan diversas metodologías para potenciar el aprendizaje en los entornos virtuales. Por ejemplo, Elledge et al. (2018) analizaron el efecto de la metodología de aula invertida, en un curso de medicina oral, sobre el logro y percepción de confianza en lo que se aprende. Se compararon los resultados de un grupo experimental (expuesto a trabajo virtual en contenidos de la materia) con los de un grupo control (que recibió orientación mediante la metodología tradicional de trabajo en aula, expositiva, a cargo de docentes y expertos). Los resultados mostraron que, si bien no había

diferencias en el logro, sí hubo diferencias en la percepción de confianza en lo que se aprende.

Otros estudios se enfocaron en identificar el potencial de diversos EVA para el aprendizaje dentro de la metodología virtual y en determinar cómo la capacitación de docentes y actores educativos es fundamental para el aprovechamiento efectivo de la enseñanza-aprendizaje virtual. Por ejemplo, Kavitha & Lohani (2018) revisaron algunos LMS abiertos de uso masivo (como Moodle, Ilias, Opigno, entre otros) con el fin de identificar las características de los LMS, las herramientas de inteligencia artificial que en estos se emplean y establecer un modelo de uso pedagógico de los LMS que facilite el aprendizaje de los estudiantes, independientemente de sus preferencias para aprender (estilos de aprendizaje). Con respecto a la necesidad de capacitar a docentes y actores educativos,

Penafiel et al. (2018) desarrollaron un programa de capacitación en plataformas para la creación de espacios virtuales de aprendizaje, dirigido a los educadores de ingeniería, con el fin de incrementar sus competencias en nuevas tecnologías y en las metodologías de diseño de enseñanza aplicadas al diseño de entornos de aprendizaje en línea. Con esto, se buscaba fortalecer los procesos de enseñanza-aprendizaje de los futuros ingenieros. Dicha capacitación consideró fundamentos pedagógicos, estrategias de instrucción y aprendizaje, así como manejo de sistemas de gestión de la información. Los resultados de la capacitación mostraron que los educadores participantes incrementaron su conocimiento y manejo de los sistemas LMS, así como sus competencias para proponer y desarrollar actividades en línea con los estudiantes y acompañar el proceso de formación en esta modalidad.

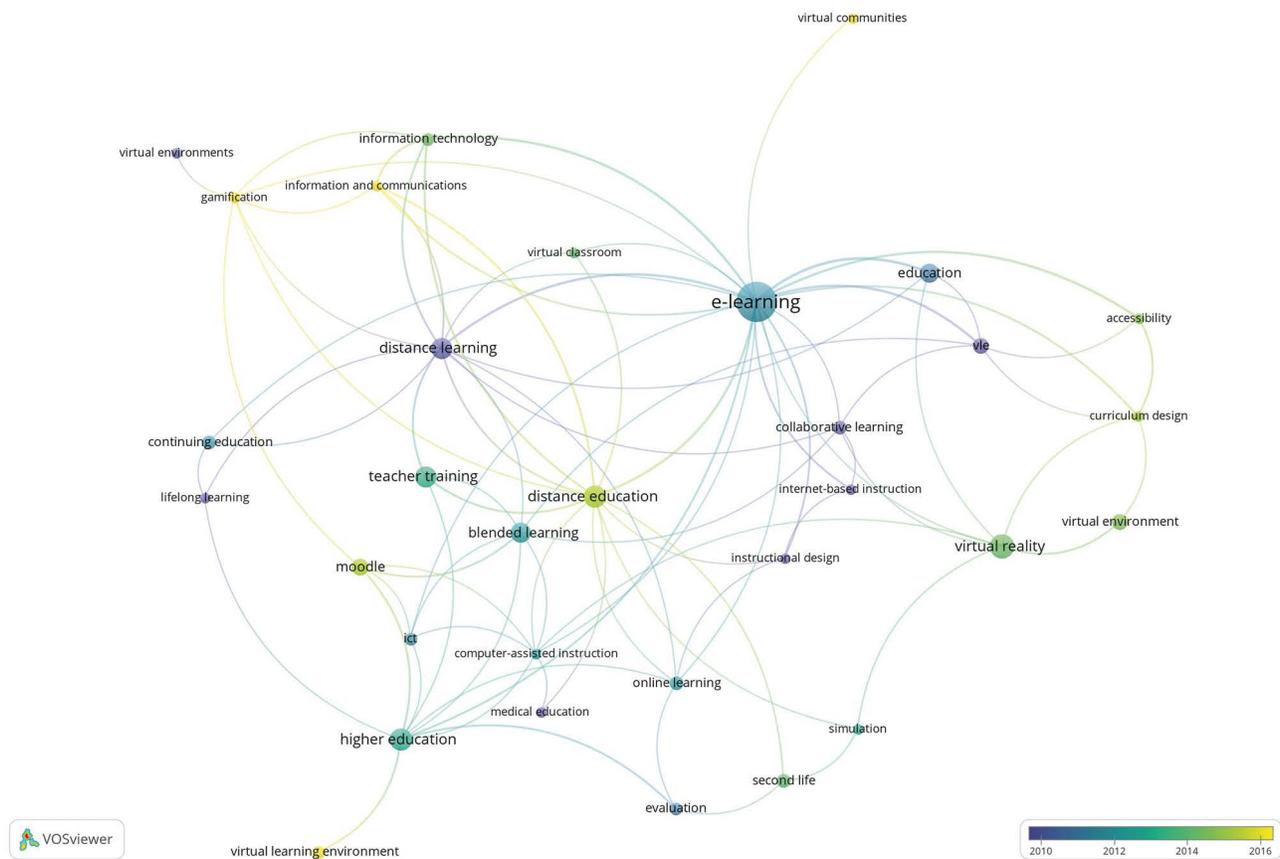


Figura 4. Red de coocurrencia de palabras clave

Fuente: elaboración propia

El segundo *cluster* agrupa las palabras clave “accessibility”, “curriculum design”, “education”, “virtual environment”, “virtual reality” y “VLE”. Los estudios en los que aparecen estos términos analizan diseños curriculares y propuestas educativas virtuales que brinden posibilidades de acceso a todas las personas, independientemente de su condición, y que brinden recursos a los docentes e instructores para saber orientar los procesos académicos de los aprendices o estudiantes. En esta línea, Amado-Salvatierra, et al. (2014) propusieron una estrategia de capacitación para mejorar los índices de accesibilidad en los EVA. La estrategia fue usada en siete países latinoamericanos, en el marco de un *workshop*. La propuesta de capacitación estuvo dirigida a desarrolladores, adecuadores y personal vinculado en la gestión de EVA educativos, en ella se definieron seis aspectos inherentes al uso de EVA con el fin de establecer las características de acceso óptimas que los EVA debían tener. Se resalta que un Entorno Virtual de Aprendizaje debe incluir: lectura; análisis y estudio de contenido educativo; una autoevaluación del conocimiento por cada unidad de aprendizaje; un test de evaluación del conocimiento teórico; participación en foros de discusión que promueven la socialización y las intervenciones; el estudio a través de estudios de caso resueltos, y la exploración de contenido multimedia. Los autores concluyeron que esta experiencia se debe difundir ampliamente en toda Latinoamérica para fortalecer y garantizar el acceso a EVA que permitan la igualdad de oportunidades en la población en general, y especialmente en la población diversa.

Giannakou, et al. (2016) realizaron un estudio de caso con respecto a una capacitación que garantice el acceso y el desempeño favorable de los aprendices o estudiantes en los procesos de instrucción o formación en los EVA. La capacitación estaba dirigida a instructores y docentes. Este estudio analizó el uso de una capacitación sobre inteligencia emocional dirigida a un grupo de doce educadores de un programa de ingeniería de sistemas. La capacitación se desarrolló en el entorno Second Life y su propósito era brindar herramientas pedagógicas sobre Aprendizaje Social y Emocional (SEL, por sus siglas en inglés) y fortalecer el uso de estas herramientas. Los resultados mostraron

que trabajar en este entorno permitió a los docentes adoptar y adecuar estrategias para apoyar a los estudiantes en la resolución de problemas, procesos de regulación, generación de actividades que promuevan la autorregulación, entre otras.

Otro estudio asociado a este *cluster* investigó el efecto de la incorporación de un EVA en un proceso de capacitación e instrucción en construcción de navíos (Soupeze, 2015). Este fue un estudio de caso en el que, durante un periodo de ocho meses, se analizó el desempeño de un grupo de estudiantes de un curso de construcción de barcos en una universidad del Reino Unido. En el estudio se optimizaron los recursos de un EVA para reforzar la instrucción en la construcción de los navíos y facilitar la comunicación entre los constructores y los clientes. Los resultados mostraron que el empleo y la optimización de los EVA permitieron a los aprendices avanzar de manera autónoma en las competencias que requieren para realizar la construcción. Igualmente, se mostró que el empleo de las herramientas de comunicación *face to face* facilita e incrementa el nivel de precisión en la elaboración de los barcos según lo que el cliente requiere.

En el tercer *cluster* (que agrupa las palabras clave “collaborative learning”, “e-learning”, “instructional design” e “Internet base instruction”) se asocian los estudios e investigaciones que analizan los diseños de instrucción y de EVA para resaltar las características que resultan efectivas para la enseñanza y el aprendizaje. En este marco, Hernández-Leo et al. (2013) hicieron un análisis de las opiniones de los usuarios de tres instituciones educativas (en capacitación vocacional, educación superior y educación de adultos virtual) con respecto a los elementos que deben considerarse en un Diseño de Entornos de Aprendizaje Integrado (ILDE, Integrated Learning Design Environment). Se les preguntó a las personas sobre aspectos que deben o no ser considerados en un ILDE, aspectos tales como selección de una herramienta de diseño de aprendizaje; poder producir o coproducir un diseño de aprendizaje; poder compartir un diseño de aprendizaje; poder desarrollar e implementar un diseño de aprendizaje en EVA; poder proporcionar comentarios y reflexiones, y poder explorar diseños, instancias y comentarios.

A partir de las respuestas de cuestionarios, entrevistas en línea y trabajo grupal, los investigadores identificaron que un ILDE debe permitir a los maestros seleccionar herramientas para crear, producir, elaborar, compartir, evaluar e implementar diseños de aprendizaje en los entornos virtuales.

En la misma línea, Gutiérrez-Esteban et al. (2016) evaluaron los diseños y metodologías de enseñanza utilizados en un curso del plan de formación sobre EVA. Este plan de formación se realizó con cuarenta profesores de diferentes áreas de la Universidad de Extremadura, España. A través de grupos focales, los investigadores identificaron los beneficios y aspectos por mejorar en el uso de las Aulas Virtuales Síncronas (svc, *Synchronous Virtual Classrooms*). Los resultados reflejaron que los escenarios virtuales son los más adecuados para capacitar a los docentes que se desempeñan en esta modalidad, pues es en esos escenarios en lo que se fortalecen de manera directa y auténtica las competencias digitales. Por otro lado, se estableció que este tipo de capacitaciones fortalece las habilidades tecnológicas, informativas y pedagógicas de los docentes. Estas habilidades permiten que quien enseña o instruye ayude a los estudiantes a tener ideas colaborativas, a construir conocimiento compartido, y a intercambiar, debatir y reflexionar conjuntamente. Estas son actividades clave en este entorno.

En un estudio más reciente, Daineko et al. (2018) desarrollaron un laboratorio virtual de física (con visualización 3D) en la Universidad Internacional de Tecnologías de la Información de Kazajstán. El laboratorio virtual se desarrolló para el programa de Ingeniería Informática y Telecomunicaciones, y estaba destinado al uso de los estudiantes de estas carreras. El esquema de trabajo que guio el desarrollo de este laboratorio virtual contiene unas pautas que orientan al estudiante para plantear y desarrollar un objetivo de trabajo, acceder a material teórico, usar un dispositivo experimental y adelantar un orden de ejecución de la obra. Los primeros resultados de la implementación del laboratorio indicaron que, dada su naturaleza virtual, este puede ser empleado por estudiantes de otras universidades, regiones y carreras afines a las ciencias naturales y programas técnicos.

En el marco del cuarto *cluster* se agruparon los términos clave “distance education”, “evaluation”, “online learning”, “Second Life” y “simulation”. Estos términos se vinculan con estudios que analizaron la efectividad en el uso de entornos de realidad virtual para el aprendizaje, evaluaron y analizaron las percepciones sobre el aprendizaje bajo esta modalidad e idearon programas para favorecer el aprendizaje remoto (virtual) en áreas diversas, entre ellas el área de la salud. Flores et al. (2012) desarrollaron un sistema de aprendizaje multiagente (en el que el agente de dominio eran las actividades y contenidos dispuestos en el EVA; el agente de aprendizaje eran los profesionales que tomaron el curso y el agente de mediación era el profesional que hizo las veces de tutor u orientador) para profesionales de la salud. El sistema era una Simulación para la toma de decisiones en el Servicio de Atención Médica (*SimDeCS, Simulation for Decision Making in the Health Care Service*). El sistema estaba diseñado para realizar simulaciones de casos clínicos complejos incluidos en un programa de educación, capacitación y calificación virtual dirigido a profesionales de la salud en Brasil. Mediante este sistema se esperaba mejorar las competencias de los profesionales de esta área en la atención mediante la práctica técnica de casos clínicos complejos.

Con respecto al tema de la evaluación en los EVA, Cuber et al. (2014) desarrollaron un programa de capacitación basado en un entorno para el entrenamiento de habilidades de evaluación (pensamiento analítico y crítico, resolución de problemas, sentido de la ética, toma de decisiones y trabajo en equipo). Los estudiantes de último año de formación profesional tomaron la capacitación. El entorno, denominado EDECOM-Deval-SimWeb, permitía a los estudiantes participar activamente en procesos de evaluación en línea mediante el uso del entorno EvalCOMIX web. Los estudiantes también podían participar en foros en el entorno de trabajo, en wikis y juegos de simulación y, en general, en cualquier actividad dispuesta para el fin formativo. Los investigadores establecieron que el entrenamiento en habilidades de evaluación puede ser desarrollado con éxito en un entorno virtual y que dichas habilidades

pueden ser potenciadas más ampliamente si se complejizan las tareas a desarrollar.

Más recientemente, en relación con la percepción de estudiantes y docentes sobre el aprendizaje en los EVA, Abutakka, Maciel et al. (2018) examinaron la experiencia de implementación de educación a distancia en cursos de Ciudadanía y Control Social mediados por Internet. El examen se realizó a través de un análisis descriptivo de las respuestas obtenidas por los estudiantes que tomaron el curso. Se les solicitó que dieran su opinión sobre los aspectos a mejorar en los componentes pedagógicos y técnicos, así como ajustes que realizarían al curso de educación a distancia, Ciudadanía y Control Social. Los resultados indicaron que los participantes valoraron como pertinente el desarrollo procesos de formación que propician la participación y la educación en ciudadanía y democracia a distancia en los EVA. Estos procesos, en opinión de los participantes, permiten que el acceso y la participación sean posibles para todos, y que este tipo de formación esté al alcance de todos, independientemente del lugar geográfico y tiempo (uso horario) en el que se encuentren.

En el quinto *cluster* se agruparon las palabras clave “continuing education”, “distance learning”, “lifelong learning” y “virtual classroom”. Los estudios relacionados con dichos términos analizaron las características de la enseñanza en los EVA y, a partir de estudios de metodología comparada, identificaron la eficacia del aprendizaje a través de los EVA. El estudio comparativo adelantado por López et al. (2014) se centró en el desempeño de 1133 estudiantes en un programa vocacional de gestión administrativa durante 11 años. Las comparaciones se realizaron de acuerdo con las variables definidas inicialmente en el estudio: modalidad virtual o modalidad presencial; horarios de las clases, mañana-media tarde, media tarde-iniciada la noche, o distancia virtual; grupo, género, edad y año de terminación del programa. También se tuvieron en cuenta las siguientes variables después de haber obtenido y organizado los datos: calificación promedio recibido en las clases durante el proceso del curso vocacional; número de asignaturas aprobadas; número de sujetos reprobados; número de asignaturas en las

que el alumno se retiró formalmente de la asignatura antes de la hora del examen; número de asignaturas en las que el alumno no asistió a los exámenes; nivel de avance de los estudiantes (indicado por el paso o no al siguiente nivel en el curso), y permanencia o retiro. Los resultados mostraron que existieron diferencias en los rangos de edad entre los estudiantes de la mañana, la tarde-noche y la modalidad virtual-distancia. Los estudiantes más jóvenes (18 años) tomaban las clases de la mañana. En la tarde-noche, la edad fue en promedio de 21 años. Finalmente, en la modalidad virtual-distancia, se encontraron estudiantes de 25 años en adelante. Se identificó que el programa cubrió las necesidades educativas de los estudiantes a partir de una oferta flexible y variada para el acceso. Con respecto a la deserción y el logro, los investigadores encontraron que los estudiantes de la modalidad virtual desertaron más y que el desempeño fue comparable en los tres grupos de estudiantes (diurnos, tarde-noche y virtual-distancia).

Silva & López (2015) realizaron un experimento comparativo con grupo control. En el estudio se contrastó el logro de dos grupos, uno compuesto por cuarenta y cuatro personas (grupo control) y otro compuesto por cincuenta y tres (grupo experimental). Las participantes fueron enfermeras expuestas a procesos de capacitación de idéntico contenido. El grupo experimental recibió la capacitación en un EVA y el grupo control lo hizo presencialmente. Aunque los resultados evidenciaron que el desempeño de los dos grupos fue estadísticamente similar, la valoración de las pruebas de conocimiento fue mejor en el grupo experimental, en contraste con el grupo control. Esto evidenció que la educación a distancia mediada por Internet puede ser una alternativa efectiva para la formación de profesionales en esta área, principalmente con respecto a la capacitación en conocimientos con altos niveles de complejidad.

En un estudio longitudinal, Bogossian et al. (2015) analizaron la calidad de los cursos de educación a distancia virtual desarrollados en una universidad de Brasil en un periodo de siete años. Durante este periodo, 5892 estudiantes evaluaron a 9000 docentes mediante una encuesta sobre la calidad educativa. La encuesta

se refería a distintos temas: materiales didácticos, mediación pedagógica, entorno de aprendizaje virtual, metodología, apoyo académico y técnico del alumno. Los resultados mostraron que, en general, los estudiantes consideran que la educación a distancia virtual es de calidad cuando existe una efectiva y continua mediación pedagógica de parte del maestro y cuando el diseño de enseñanza-aprendizaje fomenta la colaboración.

Finalmente, el sexto *cluster* agrupó las palabras clave “gamification”, “information and communication”, “information technology” y “virtual environments”. Los estudios relacionados con este *cluster* analizaron los niveles de inmersividad; el efecto de los entornos que emplean realidad virtual sobre el aprendizaje; la relevancia de formar a docentes y estudiantes en habilidades tecnológicas para un desempeño efectivo en los EVA, y la influencia de la gamificación en el logro y el aprendizaje. Al respecto, Gordon & Brayshaw (2017) examinaron los elementos que deben ser considerados en el desarrollo de procesos de gamificación efectivos para el aprendizaje en educación superior virtual. Para ello, examinaron las condiciones óptimas que debe tener un entorno virtual que favorezca el aprendizaje a través de la gamificación. Entre estas condiciones se destacan el sentido de presencia (que el entorno proporcione interacciones creíbles), las modalidades (posibilidad de diferentes formas de comunicarse —chat, llamadas, video llamadas—), la inclusividad (considerar en el diseño las posibilidades de acceso para personas con discapacidad), la evaluación (los aspectos que midan el compromiso, como la presencia puntual del estudiante, y que los estudiantes mismos puedan evaluar la efectividad de la gamificación en su aprendizaje) y la motivación y compromiso (el diseño del juego, las características educativas que permitan al estudiante aprender y comprometerse con el material).

Por otra parte, Häfner et al. (2013) examinaron el efecto del nivel de inmersividad en el nivel de conocimiento adquirido durante una tarea de memorización. Se esperaba establecer de este modo si los diseños de los entornos y las interacciones que estos propician inciden sobre el aprendizaje. Los resultados mostraron

que ni los tipos de movimiento ni los niveles de inmersión en entornos virtuales afectan el rendimiento de la memorización de manera significativa.

Desde otro enfoque, centrado en los recursos o insumos que deben tener el docente y el estudiante en la modalidad virtual, Letouze et al. (2017) desarrollaron una propuesta de enseñanza de gestión de tecnología para procesos de formación en los EVA, dirigida a docentes y estudiantes. Para ello, revisaron los artículos científicos relacionados con la enseñanza o educación en gestión de tecnología en los EVA disponibles en las bases de datos ACM, Emerald, Eric, IEEE Xplore Digital Library, ISI Web of Science, scielo, ScienceDirect, Springer, Wiley, y Google Scholar. Este análisis les permitió establecer que es preciso desarrollar procesos de enseñanza interdisciplinarios en la enseñanza virtual, particularmente, en gestión de las tecnologías usadas en los EVA dirigidos a estudiantes y docentes para que el proceso de enseñanza-aprendizaje sea efectivo. También señalaron que dicha enseñanza debe ser abordada en el contexto propio de la disciplina, del área de formación, y que debe servirse de situaciones y problemáticas en las que la mediación (las tecnologías) permita llegar a la meta de aprendizaje para que el estudiante adquiriera también habilidades tecnológicas.

Discusión y conclusiones

El objetivo de este trabajo era analizar el estado de la investigación sobre procesos de instrucción mediados por la virtualidad a partir del volumen de publicación, los datos bibliométricos y las temáticas abordadas. Con estos datos se podría establecer cuáles y cuántas de esas publicaciones fueron desarrolladas en el marco de la Instrucción, Entrenamiento y Evaluación en el Puesto de Trabajo (IEEPT) en el área del control de tránsito aéreo. Se pudo determinar que, a la fecha, no hay evidencia de investigaciones indexadas en la base de datos SCOPUS que corroboren experiencias ni resultados en el área. No obstante, sí se identificaron estudios relacionados con la instrucción y la capacitación en

diferentes áreas del conocimiento, entre ellas Ingeniería y Salud, y en ocupaciones como la construcción de veleros. Una de las posibles causas de la carencia de publicaciones indexadas en bases de datos internacionales como SCOPUS es el incipiente interés por analizar de manera empírica y reflexiva el efecto y las características de la mediación virtual en procesos de instrucción en el escenario aeronáutico.

Dentro de los principales hallazgos y aprendizajes que los estudios analizados encontraron, se resalta la caracterización de los entornos en los que se va a instruir o enseñar y de quiénes estarán expuestos a dichos aprendizajes. Esta caracterización es crucial para planear y desarrollar estrategias pedagógicas que aprovechen y optimicen de manera efectiva los EVA en favor del aprendizaje de los estudiantes. Como lo plantean Halpin et al. “la tecnología emergente está transformando no solo la forma en que los participantes aprenden, sino también la forma en que los instructores realizan un seguimiento de los datos sobre cómo los participantes estudian, usan y aprenden el contenido” (2015, p. 4). Vale la pena que futuros estudios en el tema exploren las investigaciones que han empleado guiones de enseñanza (Barbosa-Chacón & Barbosa-Herrera, 2017), laboratorios de simulación (Singh et al., 2013) y procesos de enseñanza-aprendizaje a través de LMS 3D (Yamazaki, 2018) que optimizan los detalles de realidad virtual, pues todos ellos son pertinentes para la instrucción en el área del control de tránsito aéreo. La enseñanza-aprendizaje a través de LMS 3D, además de oportuna, es realizable si se tiene en cuenta que las instituciones del campo poseen herramientas tecnológicas (simuladores y *software*) que pueden usarse más extensivamente, y que a largo plazo podrían ayudar en los procesos de investigación sobre el tema. Estos procesos podrían favorecer la colaboración de investigadores nacionales con otros investigadores que desarrollen trabajos similares en otros países latinoamericanos.

Uno de los aportes más llamativos de los trabajos analizados, se refiere a la necesidad de incluir la enseñanza en gestión tecnológica o habilidades tecnológicas en los currículos de los programas virtuales. Tanto docentes como estudiantes necesitan conocer

plenamente cómo funcionan los escenarios educativos virtuales en los que van a enseñar-aprender y tener experiencias situadas, relacionadas con el contenido del área disciplinar. Esto les permite apropiarse mejor el conocimiento de esas tecnologías y fortalecer el uso efectivo de sus habilidades para cumplir a cabalidad con las metas de conocimiento fijadas en los programas de formación, capacitación e instrucción.

Aunque no se hallaron estudios indexados sobre la IEEPT en el área del control de tránsito aéreo, sí se identificaron rutas pedagógicas y tecnológicas que pueden ofrecer aportes significativos a estudios futuros en el campo. La instrucción virtual requiere una continua cualificación para garantizar un servicio de control de tránsito aéreo seguro. Es decir, se necesita que quienes desempeñan estas labores estén actualizados, informados, capacitados y entrenados, para lo cual la enseñanza e instrucción a través de EVA es una alternativa óptima, oportuna y valiosa.

Como aporte que sirva a las proyecciones de próximos estudios bibliométricos de esta naturaleza, valdría la pena revisar bases de datos de acceso abierto como Google Scholar, Redalyc y Scielo, ya que es posible que en el último año se hayan publicado trabajos en el área indexados en bases de datos latinoamericanas. En este estudio se emplearon los principios de un análisis bibliométrico asistido por herramientas para el procesamiento de datos bibliográficos de las publicaciones y el análisis de contenido. Los próximos trabajos pueden realizar un análisis de contenido más profundo y detallado a partir de los principios de la Teoría Fundamentada.

Referencias bibliográficas

- Abutakka, R., Maciel, C., Correa, C., Martins, A., & Spinelli, M. (2018). Innovating Citizenship and Social Control Courses through Distance Education. In *Twenty-fourth Americas Conference on Information Systems, New Orleans* (pp. 1-10). <https://aisel.aisnet.org/amcis2018/Education/Presentations/30/>

- Agudelo-Rivera, C., Fajardo-Acosta, N., González-Sabogal, C., Montes-Urbe, E., & Rodríguez-Niño, N. (2019). Llegadas de turistas internacionales a Colombia durante 2001-2017: evolución, características y determinantes. *Borradores de Economía*, 1064, 1-42. <http://repositorio.banrep.gov.co/handle/20.500.12134/9647>
- Amado-Salvatierra, H., Hernández, R., e Hilera, J. (2014). Teaching and Promoting Web Accessibility in Virtual Learning Environments. In *2014 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE) Proceedings* (pp. 31-34). IEEE. <https://doi.org/10.1109/FIE.2014.7044392>
- Anohina, A. (2005). Analysis of the Terminology Used in the Field of Virtual Learning. *Journal of Educational Technology & Society*, 8(3), 91-102. <https://doi.org/10.1.1.103.7742>
- Araiza, M. D. J., & Leal, M. G. (2018). Directrices de educación a distancia en el siglo XXI: modalidades de aprendizaje, multimedios, diseños de instrucción y tendencias. *Daena: International Journal of Good Conscience*, 13(2), 132-145. [http://www.spentamexico.org/v13-n2/A7.13\(2\)132-145.pdf](http://www.spentamexico.org/v13-n2/A7.13(2)132-145.pdf)
- Aria, M., Corrado, C., & Cuccurullo, C. (2017). Bibliometrix: An R-Tool for Comprehensive Science Mapping Analysis. *Journal of Informetrics*, 11(4), 959-975. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>
- Bogossian, G., Bernardino, G., & Sousa, C. (2015). Distance Learning Courses Reviewed - What Can We See? In *7th International Conference on Computer Supported Education CSEDU 2015* (pp. 1-10). <https://doi.org/10.5220/0005491301480155>
- Cherven, K. (2015). *Mastering Gephi Network Visualization* (1st ed.). Packt Publishing Ltd.
- Clarke, A., Lewis, D., Cole, I., & Ringrose, L. (2005). A Strategic Approach to Developing e-Learning Capability for Healthcare. *Health Information and Libraries Journal*, 22(Suppl 2), 33-41. <https://doi.org/10.1111/j.1470-3327.2005.00611.x>
- Corrigan, M., Reardon, M., Shields, C., & Redmond, H. (2008). "SURGENT"-Student e-Learning for Reality: The Application of Interactive Visual Images to Problem-Based Learning in Undergraduate Surgery. *Journal of Surgical Education*, 65(2), 120-125. <https://doi.org/10.1016/j.jsurg.2007.11.011>
- Cubero, J., Ibarra, M. S., & Rodríguez, G. (2014). A Proposal for Skill Evaluation Via Complex Tasks in Virtual Learning Environments. In *TEEM '14 Proceedings of the Second International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality* (pp. 429-433). <https://doi.org/10.1145/2669711.2669935>
- Daineko, Y. A., Ipalakova, M. T., Yunnikova, M. V., Brodyagina, M. A., & Bolatov, Z. Z. (2018). Using of ICT in e-Learning: Development of the Virtual Learning Environment for Physics Study. *Proceedings of Computing Conference 2017, 2018-January(July)*, 1195-1198. <https://doi.org/10.1109/SAI.2017.8252242>
- Diem, A., & Wolter, S. C. (2013). The Use of Bibliometrics to Measure Research Performance in Education Sciences. *Research in Higher Education*, 54(1), 86-114. <https://doi.org/10.1007/s11162-012-9264-5>
- Elledge, R., Houlton, S., Hackett, S., & Evans, M. J. (2018). "Flipped Classrooms" in Training in Maxillofacial Surgery: Preparation Before the Traditional Didactic Lecture? *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 56(5), 384-387. <https://doi.org/10.1016/j.bjoms.2018.04.006>
- Estévez, J. A., Castro-Martínez, J., & Granobles, H. R. (2015). La educación virtual en Colombia: exposición de modelos de deserción. *Apertura: Revista de Innovación Educativa*, 7(1-9). <http://www.udgvirtual.udg.mx/apertura/index.php/apertura/article/view>
- Fernández, A., & Bueno, A. (1998). Síntesis de estudios bibliométricos españoles en educación. Una dimensión evaluativa. *Revista Española de Documentación Científica*, 21(3), 269-285. <http://dx.doi.org/10.3989/redc.1998.v21.i3.356>
- Flores, C., Rosecler, M., Respício, A., & Fonseca, J. M. (2012). Training Clinical Decision-Making through Simulation. In J. E. H. et al. (eds.), *Decision Support Systems - Collaborative Models and Approaches in Real Environments* (pp. 59-73). Springer-Verlag Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-32191-7_5
- García-Chitiva, M. P., & Suárez-Guerrero, C. (2019). Estado de la investigación sobre la colaboración en Entornos Virtuales de Aprendizaje. *Píxel-BIT Revista de Medios y Educación*, 56, 169-191. <https://doi.org/10.12795/pixelbit.2019.i56.09>
- Giannakou, I., Paraskeva, F., Alexiou, A., & Bouta, H. (2016). A Case of Emotional Intelligence for Teachers' Professional Development: Emotions and Connections are Ubiquitous in Second Life. En L. Uden, D. Liberona y B. Feldmann (eds.), *Learning Technology for Education in Cloud - The Changing Face of Education* (pp. 39-59). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-42147-6>
- Gordon, N., & Brayshaw, M. (2017). HCI International 2017 - Posters' Extended Abstracts. In *HCI International 2017 - Posters' Extended Abstracts* (pp. 469-472). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-58753-0>

- Green, S., Weaver, M., Voegeli, D., Fitzsimmons, D., Knowles, J., Harrison, M., & Shephard, K. (2006). The Development and Evaluation of the Use of a Virtual Learning Environment (Blackboard 5) to Support the Learning of Pre-Qualifying Nursing Students Undertaking a Human Anatomy and Physiology Module. *Nurse Education Today*, 26, 388-395. <https://doi.org/10.1016/j.nedt.2005.11.008>
- Gutiérrez-Esteban, P., Yuste-Tosina, R., Arias-Masa, J., Cubo-Delgado, S., & Alonso-Díaz, L. (2016). Evaluation of Teaching Design in Synchronous Virtual Classrooms. *International Journal of Continuing Engineering Education and Life-Long Learning*, 26(1), 72-89. <https://doi.org/10.1504/IJCELL.2016.075040>
- Häfner, P., Vinke, C., Häfner, V., Ovtcharova, J., & Schotte, W. (2013). The Impact of Motion in Virtual Environments on Memorization Performance. In *2013 IEEE International Conference on Computational Intelligence and Virtual Environments for Measurement Systems and Applications, CIVEMSA 2013 - Proceedings* (pp. 104-109). <https://doi.org/10.1109/CIVEMSA.2013.6617404>
- Halpin, M., Halpin, R., & Curtis, P. (2015). Simulation-Based Electrical Safety Training. In *2015 IEEE 15th International Conference on Environment and Electrical Engineering, IEEEIC 2015 - Conference Proceedings* (pp. 1137-1142). Rome, Italy. <https://doi.org/10.1109/IEEEIC.2015.7165328>
- Hernández-Leo, D., Chacón, J., Prieto, L. P., Asensio-Pérez, J. I., & Derntl, M. (2013). Towards an Integrated Learning Design Environment. En Springer (ed.), *Scaling Up Learning for Sustained Impact - 8th European Conference on Technology Enhanced Learning, EC-TEL 2013, Proceedings* (pp. 448-453). Springer. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-40814-4_37
- Jardines, F. J. (2009). Desarrollo histórico de la educación a distancia. *Innovaciones de negocios*, 6(2), 225-236. <http://eprints.uanl.mx/id/eprint/12521>
- Kavitha, V., & Lohani, R. (2018). A Critical Study on the Use of Artificial Intelligence, e-Learning Technology and Tools to Enhance the Learner's Experience. *Cluster Computing*, 2, 1-5. <https://doi.org/10.1007/s10586-018-2017-2>
- Kim, E., & Schniederjans, M. (2004). The role of in Web-based Distance Education Courses. *Communications of the ACM*, 47(3), 95-98. <http://dx.doi.org/10.1145/971617.971622>
- Kleinpell, R., Wesley, E., Williams, G., Liolios, A., Ward, N., & Tisherman, S. (2011). Web-Based Resources for Critical Care Education. *Critical Care Medicine*, 39(3), 541-553. <https://doi.org/10.1097/CCM.0b013e318206b5b5>
- Larvin, M. (2009). E-Learning in Surgical Education and Training. *Journal of Surgery*, 8(3), 133-137. <https://doi.org/10.1111/j.1445-2197.2008.04828.x>
- Letouze, P., Prata, D. N., Barcelos, A., Barbosa, G. V., Franca, G., & Rocha, M. L. (2017). Is Technology Management Education a Requirement for a Virtual Learning Environment? In *2017 IEEE Technology and Engineering Management Society Conference, TEMSCON 2017* (pp. 404-408). <https://doi.org/10.1109/TEMSCON.2017.7998409>
- Limniou, M., Papadopoulos, N., & Whitehead, C. (2009). Integration of Simulation Into Pre-Laboratory Chemical Course: Computer Cluster Versus WebCT. *Computers & Education*, 52(1), 45-52. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2008.06.006>
- López, M. V., González, C., & Hernández, J. J. (2014). A Comparative Study of Classroom and Online Distance Modes of Official Vocational Education and Training. *PLOS ONE*, 9(5), 1-9. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0096052>
- Lytvyn, V., Vysotska, V., Pukach, P., Bobyk, I., & Pakholok, B. (2016). A Method for Constructing Recruitment Rules Based on the Analysis of a Specialist's Competences. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6(2), 1-14. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.85454>
- Maxwell, S. (2012). An Agenda for UK Clinical Pharmacology: How Should Teaching of Undergraduates in Clinical Pharmacology and Therapeutics Be Delivered and Assessed? *British Journal of Clinical Pharmacology*, 73(6), 893-899. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2125.2012.04232.x>
- Moazami, F., Bahrampour, E., Azar, M. R., Jahedi, F., & Moattari, M. (2014). Comparing Two Methods of Education (Virtual Versus Traditional) on Learning of Iranian Dental Students: A Post-Test Only Design Study. *BMC Medical Education*, 14(45), 1-5. <https://doi.org/10.1186/1472-6920-14-45>
- Organización de Aviación Civil Internacional (OACI). (2016). *Doc 9868. Procedimientos para los servicios de navegación aérea. Instrucción*. https://www.icao.int/SAM/Documents/2016-CBT/9868_cons_es.pdf
- Penafiel, M., Navarrete, R., Lujan-Mora, S., & Zaldumbide, J. (2018). Bridging the Gaps Between Technology and Engineering Education. *International Journal of Engineering Education*, 34(5), 1479-1494. https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/89349/1/2018_Penafiel_etal_IJEE.pdf
- Perianes-Rodríguez, A., Waltman, L., & van Eck, N. J. (2016). Constructing Bibliometric Networks: A Comparison Between Full and Fractional Counting. *Journal of Informetrics*, 10(4), 1178-1195. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2016.10.006>

- Piccoli, G., Ahmad, R., & Ives, B. (2001). Web-Based Virtual Learning Environments: A Research Framework and a Preliminary Assessment of Effectiveness in Basic IT Skills Training. *MIS Quarterly*, 25(4), 401-426. <http://dx.doi.org/10.2307/3250989>
- Pinto-Llorente, A. M., Sánchez-Gómez, M. C., García-Peñalvo, F. J., & Casillas-Martín, S. (2017). Students' Perceptions and Attitudes Towards Asynchronous Technological Tools in Blended-Learning Training to Improve Grammatical Competence in English as a Second Language. *Computers in Human Behavior*, 72, 632-643. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2016.05.071>
- RAC 65. (2019). *Licencias para personal aeronáutico diferente de la tripulación de vuelo*. Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil. http://www.aerocivil.gov.co/normatividad/_layouts/15/WopiFrame.aspx?sourcedoc=/normatividad/RAC/RAC%20%2065%20-%20Licencias%20para%20el%20personal%20aeron%C3%A1utico,%20%20diferente%20de%20la%20tripulaci%C3%B3n%20de%20vuelo.pdf&action=default
- Rama, C. (2016). La fase actual de expansión de la educación en línea o virtual en América Latina. *Universidades*, 70, 27-39. <http://repositorio.minedu.gob.pe/handle/MINEDU/5114>
- Raupach, T., Muenscher, C., Anders, S., Steinbach, R., Pukrop, T., Hege, I., & Tullius, M. (2009). Web-Based Collaborative Training of Clinical Reasoning: A Randomized Trial. *Medical Teacher*, 31(9), 431-437. <https://doi.org/10.1080/01421590903095502>
- Raynor, M., e Iggulden, H. (2008). Online Anatomy and Physiology: Piloting the Use of an Anatomy and Physiology e-Book-vLE Hybrid in Pre-Registration and Post-Qualifying Nursing Programmes at the University of Salford. *Health Information and Libraries Journal*, 25(2), 98-105. <https://doi.org/10.1111/j.1471-1842.2007.00748.x>
- San Diego, J., Cox, M., Quinn, B. F. A., Newton, J. T., Banerjee, A., & Woolford, M. (2012). Researching Haptics in Higher Education: The Complexity of Developing Haptics Virtual Learning Systems and Evaluating Its Impact on Students' Learning. *Computers and Education*, 59(1), 156-166. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2011.11.009>
- Shakhovska, N., Vysotska, V., & Chyrun, L. (2017). Intelligent Systems Design of Distance Learning Realization for Modern Youth Promotion and Involvement in Independent Scientific Researches. En N. Shakhovska (ed.), *Advances in Intelligent Systems and Computing II: Selected Papers from the International Conference on Computer Science and Information Technologies* (pp. 175-198). <https://doi.org/10.1007/978-3-319-45991-2>
- Silva, M., & López, E. B. (2015). Virtual Learning Environment in Continuing Education for Nursing in Oncology: an Experimental Study. *Journal of Cancer Education*, 31(4), 804-810. <https://doi.org/10.1007/s13187-015-0889-x>
- Soupepe, J. B. R. G. (2015). A Student's Take on Education in the Maritime Industry. En *Proceedings of the Royal Institution of Naval Architects Seminar on Education & Professional Development* (pp. 37-44). <http://www.proceedings.com/48155.html>
- Stonebraker, P. W., & Hazeltine, J. E. (2004). Virtual Learning Effectiveness: An Examination of the Process. *The Learning Organization*, 11(3), 209-225. <https://doi.org/10.1108/09696470410532987>
- Tovar, F. (2015). La modalidad de la educación virtual: la más adecuada para capacitar a los controladores aéreos. *TecnoEsufa. Revista de Tecnología Aeronáutica, Tecnología Aeronáutica*, 24, 36-41. <https://publicacionesfac.com/index.php/TecnoESUFA/article/view/510>
- Wickham, H. (2009). *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag. <http://ggplot2.org>
- Wiecha, J., Heyden, R., Sternthal, E., & Merialdi, M. (2010). Learning in a Virtual World: Experience With Using Second Life for Medical Education. *Journal of Medical Internet Research*, 12(1). <https://doi.org/10.2196/jmir.1337>
- Yoshida, Y., Yamaguchi, S., Kawamoto, Y., Noborio, H., Murakami, S., & Sohura, T. (2011). Development of a Multi-Layered Virtual Tooth Model for the Haptic Dental Training System. *Dental Materials Journal*, 30(1), 1-6. <https://doi.org/10.4012/dmj.2010-082>



| Fotografía: Revista Aeronáutica, Fuerza Aérea Colombiana |

Ciencia y Poder Aéreo

Revista Científica de la Escuela de Postgrados
de la 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 de la Fuerza Aérea Colombiana. Su objetivo es comunicar los resultados de investigación en los temas de 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 revista Ciencia y Poder Aéreo es un medio de comunicación de artículos productos de investigación y de desarrollo tecnológico, de reflexión, y de revisión temática. Estos artículos deben ser inéditos, originales, de alta calidad, y rigurosos. Los artículos tienen que tratar los temas de Seguridad Operacional y Logística Aeronáutica, Gestión y Estrategia, Tecnología e Innovación y Educación y TIC. La revista se constituye como un punto de encuentro de la comunidad científica, nacional e internacional en torno al sector aeroespacial, ofreciendo aportes significativos al campo de las ciencias sociales y exactas.

___ **Visión.** La revista Ciencia y Poder Aéreo se concibe como uno de los principales medios de comunicación científica en el sector aeroespacial, tanto en el campo de la ingeniería, la administración, como en las ciencias sociales y humanas. Publicará artículos originales e inéditos, resultado de actividades académicas, investigativas y profesionales, los cuales poseerán un alto grado de relevancia para la ciencia, tecnología e innovación nacional, regional e internacional. La calidad de sus

manuscritos generará un aumento de los índices de visibilidad de la publicación en distintas esferas. También será reconocida en el medio académico, científico y empresarial el sector aeroespacial nacional e internacionalmente. La revista hará parte de las 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 Ciencia y Poder Aéreo, Revista Científica de la Escuela de Postgrados de la Fuerza Aérea Colombiana.

Ciencia y Poder Aéreo

Scientific Journal of the Postgraduate School
of the Colombian Air Force

ISSN: 1909-7050 - E-ISSN 2389-9468

— **Aim and Scope.** *Ciencia y Poder Aéreo* is a biannual scientific journal, edited by the Postgraduate School of the Colombian Air Force. It is aimed to contribute to the dissemination of research results on the fields of Operational Safety and Aviation Logistics, Management and Strategy, Technology and Innovation, and education and ICT. The journal also seeks to contribute to Colombian technological and scientific development, generating new knowledge and creating opportunities for discussion and reflection.

— **Mission.** *Ciencia y Poder Aéreo* is a communication means of research and technological development papers, and reflection and review articles. Proposals must be unpublished works with high academic quality and scientific rigor, focused on Operational Safety and Aviation Logistics, Management and Strategy, Technology and Innovation issues, and education and ICT. The journal is a meeting point for the Colombian and international scientific community around the aerospace sector, offering significant contributions to the fields of Social and Exact Sciences.

— **Vision.** *Ciencia y Poder Aéreo* is considered as one of the main scientific communication means in the aerospace industry, both in the field of engineering and administration and within Social and Human Sciences. The journal will edit original and unpublished articles derived from academic, research and professional activities, with a high impact on science, technology, and innovation at the national, regional and international levels. The quality of submissions will generate

an increase in the journal's visibility indexes in different areas. *Ciencia y Poder Aéreo* will also be recognized in the academic, scientific and business environment of the national and international aerospace industry. The journal will be included in specialized databases and indexed in Scopus and the 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 Postgraduate School of the Colombian Air Force.

Ciencia y Poder Aéreo

Revista científica da Escola de Pós-Graduação da Força Aérea Colombiana

ISSN: 1909-7050 - E-ISSN 2389-9468

___ **Enfoque e alcance.** A revista científica Ciencia y Poder Aéreo é uma publicação semestral, editada pela Escola de Pós-Graduação da Força Aérea Colombiana. Seu objetivo é comunicar os resultados de pesquisa nos temas de 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 é um meio de comunicação de artigos resultado de pesquisa e de desenvolvimento tecnológico, de reflexão, e de revisão temática. Estes artigos devem ser inédito, originais, de alta qualidade, e rigurosos. Os artigos têm que abordar os temas de Segurança Operacional e Logística na Indústria Aeronáutica, Gestão e Estratégia, Tecnologia e Inovação e educação e TIC. A revista se constitui como um ponto de encontro da comunidade científica, nacional e internacional em torno da indústria aeroespacial, oferecendo contribuições significativas ao campo das ciências sociais e exactas.

___ **Visão.** A revista Ciencia y Poder Aéreo é concebida como um dos principais meios de comunicação científica na indústria aeroespacial, tanto quanto no campo da engenharia e administração, como nas ciências sociais e humanas. Desta forma publicará artigos originais e inéditos, resultado de atividades acadêmicas, de pesquisas e profissionais, as quais terão um alto grau de relevância para a ciência, tecnologia e inovação nacional, regional e internacional. A qualidade dos

seus manuscritos gerarão um aumento dos índices de visibilidade da publicação em diferentes esferas. Do mesmo modo, será reconhecida no meio acadêmico, científico e empresarial na indústria aeroespacial nacional e internacionalmente. A revista fará parte das bases de dados especializadas e estará indexada em 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 às 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 Escola de Pós-Graduação da Força Aérea Colombiana.

Instrucciones para autores

La revista Ciencia y Poder Aéreo evalúa artículos de investigación e innovación. Dentro de estos se encuentran:

a. Artículo de investigación científica y tecnológica: 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. La extensión es de máximo 8.000 palabras, incluidas las referencias y anexos. El resumen debe ser de 150-300 palabras, el cual debe tener la misma estructura del artículo de investigación. Se recomienda que referencie mínimo 20 documentos revisados por pares. Las palabras clave deben ser máximo 6.

b. Artículo de reflexión derivado de investigación: “Documento original que presenta resultados de investigación, desde una perspectiva analítica, interpretativa o crítica del autor, sobre una temática específica, recurriendo a fuentes originales” (Políticas Publindex 2014). La estructura de este tipo de artículos es libre. Sin embargo, 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. La extensión es de máximo 8.000 palabras, incluidas las referencias. El resumen debe ser de 150-300 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 revisados por pares. Las palabras clave deben ser máximo 6.

c. Artículo de revisión: “Documento resultado de una investigación donde se organiza, analiza, sistematizan e integran los resultados de investigaciones publicadas o no publicadas sobre un campo en ciencia y tecnología, con el fin de dar cuenta de los avances y las tendencias de desarrollo. Se caracteriza por presentar una cuidadosa revisión bibliográfica de por lo menos 50 referencias” (Políticas Publindex 2014).

Se recibirán revisiones de literatura, sistemáticas o metaanálisis. Los resúmenes expondrán el objetivo, los métodos (para revisiones sistemáticas o metaanálisis), los resultados y las conclusiones.

Se reciben artículos 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:

- 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 las ingenierías de referencia aeronáutica.

— Normas generales

Todo artículo debe:

- Hacer referencia al campo propio de la revista.
- Ser un documento o artículo original, no publicado previamente y no considerado en otra revista.
- Estar científicamente documentado, presentar coherencia y gozar de unidad interna.
- Indicar el tipo de artículo. Si corresponde a un artículo de investigación científica y tecnológica, de reflexión derivado de investigación o de revisión. También exponer el proyecto de investigación del cual se deriva, el registro (en caso de contar con este) o los datos relacionados con el trabajo a presentar.
- Exponer la filial institucional de los autores, perfil profesional y datos de contacto, función desempeñada, teniendo en cuenta la taxonomía CRediT (<https://casrai.org/credit/>).
- 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.

— Requisitos del texto

- Los artículos deberán tener una extensión de máximo 8.000 palabras, incluyendo las referencias y anexos; tamaño carta (21,5 x 25 cm); fuente Myriad Pro o Times New Roman; espacio 1,5, y márgenes 2.54 cm.
- Figuras, tablas y ecuaciones deben estar enumeradas de manera consecutiva y citados dentro del texto, siguiendo las normas APA, 7ta edición.
- 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, 7ta edición.
- Las notas al pie de página se utilizarán solo para aportes sustantivos al texto.

— Estructura para los tipos de artículos literal a. b. c.

Título: en español, inglés y portugués. Como nota al pie, indicar el tipo de artículo, información referente a la investigación y demás datos relacionados – grupo de investigación, registro de proyecto, entidad financiadora u otra información que se considere. El título debe tener máximo 15 palabras. Tiene que aclarar el tema del artículo.

Resumen: en español, portugués e inglés entre 150 y 300 palabras. Los resúmenes de artículos de investigación científica y tecnológica tienen la estructura: introducción, método, resultados, conclusiones. Para artículos de reflexión, se presenta un texto informativo que presenta de manera breve y explícita todos los aspectos significativos y relevantes del artículo, mediante una relación lógica y lineal de los temas tratados; incluye resultados.

Palabras clave: de 3 a 6 en orden alfabético (tener en cuenta las palabras temáticas que proporcionan los tesauros), separadas por punto y coma (;).

Los artículos de investigación deben tener una introducción (hacer mención al problema de investigación); método; resultados; discusión; conclusiones, recomendaciones o agradecimientos (opcional).

Las referencias deben estar en orden alfabético, siguiendo las normas APA. La mayoría de las fuentes debe ser artículos en revistas indexadas o libros de editoriales académicas y deben haber sido publicadas en los últimos cinco años.

Fichero aparte: incluir datos de los autores, incluir nombres, apellidos, breve currículum, 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.

https://www.publicacionesfac.com/_archivos/Carta_Presentacion.doc o solicítelo al correo electrónico de la revista cienciaypoderareo1@gmail.com

— Preparación de envíos

Como parte del proceso de envíos, los autores/as están comprometidos a comprobar que su envío cumpla todos los elementos 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, Open Office o RTF. (Forma de fichero electrónico .doc, .rtf, .odt).
3. El trabajo enviado debe ser de máximo 8.000 palabras, incluidas referencias.
4. Se han seguido los requisitos de estilo y las pautas de las Instrucciones para autores en la presentación del trabajo.
5. Se han presentado las referencias bibliográficas en orden alfabético siguiendo los lineamientos de las normas APA, 7ta edición.
6. El texto tiene interlineado 1,5. El tamaño de fuente es de 12 puntos.
7. Todas las figuras y tablas se han situado en la posición correspondiente y no al final del texto. Todas las figuras (gráficos, imágenes, fotografías) y tablas deben ser enviadas por separado en formato .jpg o .xlsx (en documento original) que permitan ser editables para efectos de diseño.
8. 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).
9. Se han adjuntado los datos del autor en un fichero aparte con nombre, apellidos, breve currículum, filial institucional, dirección electrónica y postal (dirección lugar de trabajo o de correspondencia), números telefónicos de contacto y adscripción académica o profesional.
10. Las referencias son mayoritariamente de artículos de revistas indexadas o libros académicos de máximo hace cinco años.
11. Cesión de derechos de propiedad intelectual.

Se ha diligenciado y firmado la “Carta de presentación y licencia de uso – Cesión de derechos patrimoniales y declaración de conflicto de intereses”, documento que declara “soy (somos) el autor (es) original de la obra”. (En dicho documento se incluye 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 árbitros; aquellos textos que a juicio del editor, Comité Editorial o Comité Científico llenen los requisitos exigidos y sean trabajos relacionados con seguridad operacional, logística aeronáutica, tecnología e innovación, gestión y estrategia, educación y TIC, o relacionados con el sector aeroespacial o afines.

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.

— Política de prevención de plagio

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.

— Política de dictaminación

La revista Ciencia y Poder Aéreo cuando recibe un artículo, realiza una revisión inicial considerando que reúne las condiciones básicas que respondan a los puntos que componen

la evaluación por pares. Los artículos que responden a estos contenidos son ingresados al proceso editorial en el cual se realiza el procedimiento de la política de prevención de plagio. Posteriormente se envía a pares académicos y los que reciban la calificación para ser publicados continúan con el proceso de revisión y publicación.

— Evaluación por pares

Se asignan los evaluadores según los temas desarrollados, enviando la invitación, el respectivo formato de evaluación y especificando el plazo de entrega del concepto. Todo artículo será enviado a evaluación por pares académicos internos y externos.

Cada evaluador emite un concepto teniendo en cuenta la siguiente escala:

Valoración	Concepto
Excelente	Publíquese como está; es un producto publicable.
Bueno	Es un producto publicable con ajustes mínimos.
Aceptable	Es un producto publicable con ajustes significativos.
No aceptable	No es un producto publicable; requiere correcciones profundas y serias.

El par académico emite el concepto, desarrollando la evaluación respectiva de acuerdo con los parámetros de originalidad, relevancia científica, rigurosidad y calidad.

Los revisores tendrán las siguientes responsabilidades de contribuir a una decisión razonada sobre la viabilidad de cada artículo sometido al proceso. Adicionalmente, velará por cumplir los tiempos asignados, tener un manejo confidencial de los documentos, exponer posibles conflictos de interés que puedan tener, ser objetivos. Por otro lado, de identificar posibles fallas éticas en el manuscrito (plagio, postulación en otra revista, publicación completa o parcial), será necesario que se lo comunique a los miembros del equipo editorial oportunamente.

— Revisión y publicación

Proceso de revisión y publicación

1. Una vez recibido el artículo al cierre de convocatoria, el editor evalúa que cumplan con los requisitos generales y luego es sometido al Comité Editorial o Comité Científico (evaluación interna).

2. Se asignan los evaluadores según los temas desarrollados, enviando la invitación, el respectivo formato de evaluación y especificando el plazo de entrega del concepto.
3. Cada evaluador emite un concepto según la métrica de evaluación: *(Presentada en cuadro anterior)*.

El par académico emite el concepto, desarrollando la evaluación respectiva de acuerdo con los parámetros enviados por el Editor.

1. El resultado final de las evaluaciones lo comunica el editor a los autores. La revista no se compromete a mantener correspondencia con los autores sobre los criterios adoptados. Se hace la retroalimentación de los conceptos en el caso de realizar las mejoras correspondientes en cuanto a la estructura y forma.
2. Cada artículo aceptado queda supeditado a una nueva revisión por el editor y Comité Editorial. Los autores cuyos artículos fueron aceptados para publicación, deberán enviar la “Carta de presentación y licencia de uso – Cesión de derechos patrimoniales y declaración de conflicto de intereses”, la cual consigne la autorización de publicación en cualquier medio, escrito y/o electrónico.
3. Por último, se reciben las versiones definitivas, realizando una nueva revisión.
4. Se hace la revisión de estilo y forma. Pasa luego al diseñador/diagramador, para finalmente obtener la publicación de la revista.
5. Cada autor recibirá una comunicación electrónica sobre la publicación del artículo (versión en línea), dada su participación en la edición. El autor deberá colaborar en la revisión de la corrección de estilo y diagramación, para garantizar que se cumplen sus propósitos comunicativos. Se recomienda que el autor participe en la divulgación de su artículo, de manera que su investigación pueda lograr un mayor alcance.

Política de acceso abierto

Esta revista proporciona un acceso abierto a su contenido, basado en el principio de que ofrecer al público un acceso libre a las investigaciones ayuda a un mayor intercambio global del conocimiento.

Esta revista **NO** cobra a los autores por enviar artículos a la revista, ni por su procesamiento o publicación.

— Derechos de autor y licencia de uso

Declaración de cesión de los derechos de autor a la revista

Los autores ceden en exclusiva a la Revista los derechos de explotación (reproducción, distribución, comunicación pública y transformación) para explotar y comercializar la obra, entera o en parte, en todos los formatos y modalidades de explotación presentes o futuros, en todos los idiomas, por todo el periodo de vida de la obra y por todo el mundo.

Todos los contenidos publicados en la revista científica Ciencia y Poder Aéreo están sujetos a la licencia reconocimiento 4.0 Internacional de Creative Commons, cuyo texto completo se puede consultar en <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

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 Ciencia y Poder Aéreo, Revista Científica de la Escuela de Postgrados de la Fuerza Aérea Colombiana. Excepto cuando se indique lo contrario, el contenido en este sitio es licenciado bajo una licencia Creative Commons Atribución 4.0 internacional.

Para usos de los contenidos no previstos en estas normas de publicación es necesario contactar directamente con el director o editor de la revista a través del correo cienciaypoderaero1@gmail.com

La Escuela de Postgrados de la Fuerza Aérea Colombiana y esta publicación no son responsables de los conceptos emitidos en los artículos, ya que esta es responsabilidad plena de los autores.

Postule sus documentos a través de la plataforma:

<https://publicacionesfac.com/index.php/cienciaypoderaero>

Dirija sus inquietudes al correo:

✉ cienciaypoderaero1@gmail.com

Guidelines for Authors

Ciencia y Poder Aéreo publishes research and innovation papers. Among these, the following are included:

a. Scientific and technological research paper: Presents the original results of research or technological development projects. It must include introduction, literature review, methodology, discussion, and conclusions. The length is maximum 8.000 words, including references and appendices. The abstract must be 150-300 words and follow the same structure as the paper. A minimum of 20 peer-reviewed works is suggested to be included as references. A maximum of 6 keywords must be included.

b. Research-based reflection paper: “Original work that introduces research results from an analytical, interpretive or critical perspective of the author on a specific topic, using original sources of information.” (Políticas Publindex 2014). This type of article does not follow a specific structure. However, they must contain 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 length is maximum 8.000 words, including references. The summary should be 150-300 words and be clear about the context of the study, the research problem, the position of the author(s) and how it will be supported through valid arguments. A minimum of 20 peer-reviewed works is suggested to be included as references. A maximum of 6 keywords must be included.

c. Review article: “Research-based work where the results of published or unpublished research on a field of study in science and technology are organized, analyzed, systematized, and integrated, to account for progress and trends in its development. It must present a comprehensive bibliographic review of at least 50 references” (Políticas Publindex 2014).

Literature reviews, systematic reviews or meta-analyses will be accepted in this category. Abstracts will present the objective, methods (for systematic reviews or meta-analyses), results and conclusions of the study.

Articles are received in Spanish, English and Portuguese.

Ciencia y Poder Aéreo accepts the submission of papers whose subject areas match those described below:

- Operational Safety and Aviation Logistics
- Management and Strategy
- Technology and Innovation
- Education and TIC

The journal seeks to ensure that the topics addressed by authors are related to the aerospace industry and other associated sectors, with a particular focus on aeronautical engineering.

— General Guidelines

All submissions should:

- Refer the journal’s subject area.
- 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. If the manuscript corresponds to an original scientific paper, a research-based reflection paper, a review article, a short article or a case report, authors should indicate the research project, registration (if available) and/or any related data to the work submitted.
- State the institutional affiliation of all authors, their professional profile and contact details, as well as their role, based on CRediT taxonomy (<https://casrai.org/credit/>).
- All submissions are subject to a peer-review process, whose concept is relevant for deciding upon their publication.
- Declare any conflicts of interest.

— Text Requirements

- Manuscripts should be maximum 8,000 words in length, including references and appendices; letter size (21.5 x 25 cm); Myriad or Times New Roman font type; 1.5 line spacing; and 2.54 cm margins.
- Figures, tables and equations must be consecutively numbered and cited within the text, following APA standard, 7th edition.
- Acronyms will be fully named the first time they appear and 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 Articles in Paragraphs a. b. c.

Title: 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 the paper.

Abstract: in Spanish, English, and Portuguese. Between 150 and 300 words. Abstracts of scientific and technological research papers should have this structure: introduction, methodology, results, and conclusions. For reflection articles, authors must submit an “informative text that briefly and explicitly presents all the significant aspects of the article, through a logical and linear relationship of the topics covered; includes results.”

Keywords: 3 to 6 in alphabetical order (consider the thematic words provided by thesauri) and separated by a semicolon (;).

Research papers must include introduction (mention the research problem), method, results, discussion, conclusions, recommendations, and acknowledgments (optional).

Most sources must be articles in indexed journals or books from academic publishers and must have been published within the last five years.

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.

https://www.publicacionesfac.com/_archivos/Carta_Presentacion.doc

— Preparing your Submission

As part of the submission process, the authors are committed to verifying that the submitted documents meet all of the items 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. The submitted work is maximum 8,000 words, including references and appendices.
4. The submission follows the style requirements and guidelines for authors.
5. References are presented in alphabetical order following the guidelines of the APA standards, 7th edition.
6. The text is at 1.5 line spacing and 12 points font size.
7. All figures and tables have been properly placed and not at the end of the text. All figures (graphs, images, and photographs) and tables should be sent separately in .jpg or .xlsx format (original file) to allow editing.
8. The submitted paper has been prepared for the blind peer-review 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).
9. Authors' data has been 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.
10. References are mostly from articles in indexed journals or academic books that are no more than five years old.
11. Intellectual property rights assignment.

All authors have completed and signed the form “Presentation letter and license for use – Economic rights assignment

and declaration of conflict of interests”, in which they declare “I am (we are) the original author(s) of this work” (this form includes aspects related to the license for use and patrimonial rights). 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 the authors to obtain the necessary permissions of the 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 are connected to operational safety, aeronautical logistics, technology and innovation, management and strategy, education and ICT, or the aerospace or related sectors, 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.

— Plagiarism Prevention Policy

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, in such a way that their originality is guaranteed. In case plagiarism is detected, the publication of the involved paper will be immediately discarded.

— Initial Assessment Policy

Ciencia y Poder Aéreo journal carries out an initial review of all submissions in order to verify that the basic requirements for peer-revision are met. Papers that comply with these requirements are included in the editorial process, in which the plagiarism prevention policy procedure is applied. Subsequently, verified submissions are sent to academic peer reviewers and those who receive the necessary score will continue in the review and publishing process.

— Peer Review

Reviewers are assigned according to the topics covered by a paper, sending the invitation, the corresponding evaluation format, and specifying the deadline for their revision. All papers will be submitted for evaluation by internal and external academic peers.

Each reviewer issues a concept taking into account the following scale:

Assessment	Concept
Excellent	No changes required; is a publishable product
Good	Publishable with minor changes
Acceptable	Publishable with significant changes
Not acceptable	Not publishable; major changes required

Peer reviewers issue their concept developing the corresponding evaluation based on the parameters of originality, scientific relevance, rigor, and quality.

Reviewers will have the following responsibilities in order to contribute to an impartial decision on the feasibility of each paper submitted to the editorial process: they will ensure compliance with allotted times, make confidential handling of documents, expose possible conflicts of interest they may have, and show objectivity. On the other hand, reviewers are required to identify possible ethical flaws in manuscripts (plagiarism, submission to another journal, or their complete or partial publication) and to communicate such a situation to the members of the editorial team on time.

— Revision and Publication

Revision and Publication Process

1. Once an article is received within the deadlines for the call, the Editor will evaluate that the manuscript meets the general requirements established. After that, the paper will be submitted to the Editorial or Scientific Committee (in-house evaluation).
2. Reviewers are assigned according to the topics covered by a paper, sending the invitation, the corresponding evaluation format, and specifying the deadline for their revision.
3. Each reviewer issues a concept taking into account the following scale: *(presented in the table previous)*.

Reviewers issue their concept developing the corresponding evaluation according to the parameters established by the Editor.

1. The final result of the reviewing process will be communicated to the authors by the Editor. The journal does not compromise to agree with the authors about the criteria adopted. Feedback on the concepts is made in case authors decide to execute the corresponding improvements in terms of form and content.
2. Each accepted paper will be subject to a new review by the Editor and the Editorial Committee. Authors of accepted papers must complete and submit the form “Presentation letter and license for use – Economic rights assignment and declaration of conflict of interests”, which states the authorization to publish their work in any printed and/or electronic format.
3. Final drafts will be received and reviewed once more.
4. Proofreading is carried out to subsequently submit the final version for typesetting and design and then publish the corresponding issue of the journal.
5. The authors will receive an e-mail announcing the publication of their paper (online version). They must collaborate in the revision of the proofreading and the layout of their paper to guarantee that their communicative purposes are fulfilled. It is recommended that authors participate in the dissemination and promotion of their paper so that their research can reach a greater audience.

— Open Access Policy

Ciencia y Poder Aéreo journal provides immediate open access to its content on the principle that making research freely available to the public supports a greater global exchange of knowledge.

— Submission Fees

Ciencia y Poder Aéreo does not charge authors any fee for submitting an article.

— Publication Fees

Ciencia y Poder Aéreo does not charge authors for the processing or publishing of their articles.

— Copyright and Licensing

Assignment of Copyrights

Authors grant *Ciencia y Poder Aéreo* journal the exclusive rights (reproduction, distribution, public communication, and transformation) to exploit and commercialize their work, in whole or in part, in all the formats and modalities of present or future exploitation, in all languages, throughout the life of the work and throughout the world.

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 Postgraduate School of the Colombian Air Force. Except when otherwise indicated, this site and its contents are licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

For other uses not considered under this license it is required to contact the Director or the Editor of the journal at the e-mail address cienciaypoderareo1@gmail.com.

The Postgraduate School of the Colombian Air Force and this publication are not responsible for the concepts expressed in the articles since this is the full responsibility of the authors.

Post your documents through the platform:

<https://publicacionesfac.com/index.php/cienciaypoderareo>

Direct your questions to the mail:

✉ cienciaypoderareo1@gmail.com

Instruções para autores

A revista Ciencia y Poder Aéreo avalia artigos de pesquisa e inovação. Dentro destes pode-se encontrar:

a. Artigo de pesquisa científica e tecnológica. 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. A extensão máxima de 8.000 palavras, incluindo as referências e anexos. O resumo deve ter no mínimo 150 e, no máximo 300 palavras, e deve ter a mesma estrutura do artigo científico. É recomendado que, no mínimo, 20 documentos revisados por pares sejam referenciados. As palavras-chave devem ser no máximo 6.

b. Artigo de reflexão resultante da pesquisa. “Documento original que apresenta resultados de pesquisa desde uma perspectiva analítica, interpretativa ou crítica do autor, sobre uma temática específica com base em fontes originais” (Políticas Publindex 2014). A estrutura deste tipo de artigos é livre. Contudo, Estes artigos devem 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. A extensão é de máximo de 8.000 palavras, incluindo as referências. O resumo deve ter de 150 a 300 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 revisados por pares sejam referenciados. As palavras-chave devem ser no máximo 6.

c. Artigo de revisão. “Documento resultado de uma pesquisa onde se organiza, analisa, sistematiza e integram os resultados das pesquisas publicadas ou não publicadas sobre uma área em ciência e tecnologia, a fim de dar conta dos avanços e as tendências de desenvolvimento. Igualmente, caracteriza-se por ter uma minuciosa revisão bibliográfica, pelo menos 50

referências” (Políticas Publindex 2014). 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.

Os artigos são recebidos em espanhol, inglês e português.

A revista Ciencia y Poder Aéreo aceita a apresentação de artigos cujas áreas temáticas coincidam com as descritas abaixo:

- 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.

— Normas gerais

Todo artigo deve:

- Fazer referência à área própria da revista.
- 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. Se for um artigo científico original, de reflexão derivado de pesquisa; de revisão; artigo curto ou relato de caso, indicar o projeto de pesquisa, registro (em caso de contar com este) e/ou dados relacionados ao trabalho que será apresentado.
- Incluir a filiação acadêmica do autor(es), perfil profissional e dados de contato, função desempenhada tendo em conta a taxonomia CRediT (<https://casrai.org/credit/>).
- 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.

— Requisitos do texto

- Os artigos devem ter no máximo 8.000 palavras, incluindo referências e anexos; tamanho da letra (21,5 x 25 cm); fonte Myriad Pro ou Times New Roman; espaçamento 1,5, e margem de 2,54 cm de cada lado.
- Equações, tabelas e figuras devem ser numeradas consecutivamente e citadas no texto de acordo com as normas da APA, 7ª edição.
- 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 literal a. b. c.

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.

Resumo: em espanhol, português e inglês, deve ter no mínimo, 150 palavras, e no máximo 300 palavras. Os resumos dos artigos de pesquisa científica e tecnológica têm a seguinte estrutura: introdução, métodos, resultados, conclusões. No caso de artigos de reflexão, deve-se escrever um “texto informativo que apresente de maneira sucinta todos os aspectos significativos e relevantes do artigo, por meio de uma relação lógica e linear dos temas abordados, incluindo os resultados”.

Palavras-chave: de 3 a 6 em ordem alfabética (levar em conta as palavras temáticas fornecidas pelos tesouros), separadas 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 bibliográficas devem estar em ordem alfabética de acordo com as normas da APA. A maioria das fontes devem ser artigos em revistas indexadas ou livros de editoras acadêmicas e devem ter sido publicados nos últimos cinco anos.

Arquivo separado: 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.

https://www.publicacionesfac.com/_archivos/Carta_Presentacion.doc

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, Open Office ou RTF. (Forma de ficheiro eletrônico .doc, .rtf., odt).
3. O trabalho submetido deve ter máximo 8.000 palavras, incluindo referências e anexos.
4. Os requisitos de estilo e as pautas das instruções para autores foram seguidos na apresentação do trabalho.
5. As referências bibliográficas tem sido apresentadas em ordem alfabética, de acordo com as diretrizes das normas APA, 7ª edição.
6. Texto em Times New Roman 12, espaçamento 1,5.
7. Todas as figuras e tabelas foram colocadas na posição correspondente e não no final do texto. Todas as figuras (gráficos, imagens, fotografias) e tabelas devem ser enviadas separadamente nos formatos .jpg ou xlsx (no documento original), caso precisarem ser editadas para efeitos de design.
8. 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).
9. Os dados do autor foram anexados em um arquivo separado, com nome, sobrenome, resumo breve, filiação acadêmica, e-mail e endereço postal (endereço do trabalho ou correspondência), números de telefone de contato e filiação acadêmica ou profissional.
10. A maioria das referências são de artigos em revistas indexadas ou livros acadêmicos que foram publicados, no máximo, há cinco anos.
11. Cessão de direitos de propriedade intelectual.

A “Carta de apresentação e a licença de uso – Cessão de direitos econômicos e declaração de conflito de interesses” foi concluída e assinada. Documento que declara “Eu sou (somos) o(s) autor(es) original (ais) 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 uma banca avaliadora; os textos que, na opinião do editor do Comitê Editorial ou do Comitê Científico, atendam aos requisitos exigidos e sejam trabalhos relacionados à segurança operacional, logística na indústria aeronáutica, tecnologia e inovação, gestão e estratégia, ensino e educação 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.

— Política de Prevenção de Plágio

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, com o propósito de garantir a originalidade dos manuscritos. Se for detectado plágio, o manuscrito será descartado da publicação.

— Política de Avaliação

Quando a revista Ciencia y Poder Aéreo recebe um artigo, realiza uma revisão inicial na qual é considerado se o manuscrito atende às condições básicas que respondem aos pontos que compõem a avaliação por pares. Os artigos que respondem a esses conteúdos são inseridos no processo editorial, no qual o

procedimento da política de prevenção do plágio é realizado. Posteriormente são enviados aos pares acadêmicos, e aqueles que receberem a qualificação para ser publicados, continuarão no processo de revisão e publicação.

— Avaliação por pares

Os avaliadores são designados de acordo com os temas desenvolvidos, enviando o convite, o respectivo formato de avaliação e especificando o prazo de entrega do conceito. Todos os artigos serão submetidos à avaliação de pares acadêmicos internos e externos.

Todo avaliador emite um conceito levando em consideração a seguinte escala:

Avaliação	Conceito
Excelente	Publique como está; é um trabalho publicável.
Bom	É um trabalho publicável com ajustes mínimos.
Satisfatório	É um trabalho publicável com ajustes significativos.
Não aceitável	Não é um trabalho publicável; requer correções profundas e sérias.

O par acadêmico emite o conceito desenvolvendo a respectiva avaliação de acordo com os parâmetros de originalidade, relevância científica, rigor e qualidade.

Os responsáveis pela revisão terão as seguintes responsabilidades de contribuir para uma decisão fundamentada sobre a viabilidade de cada artigo submetido ao processo. Além disso, eles têm que garantir o cumprimento dos prazos acordados, o gestão de dados confidenciais, esclarecer possíveis conflitos de interesse, e ser objetivos. Por outro lado, para identificar possíveis falhas éticas no manuscrito (plágio, submissão em outra revista, publicação completa ou parcial), será necessário comunicar-se com os membros da equipe editorial oportunamente.

— Revisão e publicação

Processo de revisão e publicação

1. Uma vez que o artigo é recebido no encerramento do edital, o editor avalia se atende os requisitos gerais, para ser submetido ao Comitê Editorial ou ao Comitê Científico (avaliação interna).

2. Os avaliadores são designados de acordo com os temas desenvolvidos, enviando o convite, o respectivo formato de avaliação e especificando o prazo de entrega do conceito.
3. Todo avaliador emite um conceito levando em consideração a seguinte escala: *(Apresentado na tabela anterior)*.

O par acadêmico emite o conceito desenvolvendo a respectiva avaliação de acordo com os parâmetros enviados pelo editor.

1. O resultado final das avaliações é comunicado pelo editor aos autores. A revista não se compromete a manter comunicação com o(s) autor(es) sobre os critérios adotados. O feedback dos conceitos é feito no caso de ter que fazer melhorias relacionadas à estrutura e forma do texto.
2. Todo artigo aceito está sujeito a uma nova revisão feita pelo editor e pelo Comitê Editorial. Os autores cujos artigos foram aceitos para publicação devem enviar a “Carta de apresentação e licença de uso – Cessão de direitos econômicos e declaração de conflito de interesse”, que “especifica a autorização para publicação em qualquer meio, escrito e/ou eletrônico.
3. Finalmente, as versões finais são recebidas, fazendo uma nova revisão.
4. Uma revisão de forma e estilo é feita. Em seguida, cabe ao designer para finalmente obter a publicação da revista.
5. Todo autor receberá uma comunicação eletrônica sobre a publicação do artigo (versão online), devido a sua participação na edição. O autor deve colaborar na revisão do texto para garantir que seus objetivos de comunicação sejam alcançados. Recomenda-se que o autor participe da divulgação do seu artigo, para que sua pesquisa tenha um maior alcance.

— Política de acesso aberto

A revista fornece acesso aberto ao seu conteúdo, com base no princípio de que dar acesso gratuito à pesquisa ajuda a uma maior troca global de conhecimento.

— Taxa por submissão de artigos

Esta revista não cobra dos autores o envio de artigos para a revista.

— Direitos de autor e licença de uso

Declaração de cessão de direitos autorais à revista

O autor cede exclusivamente à Revista os direitos de exploração (reprodução, distribuição, comunicação pública e transformação) para explorar e comercializar a obra, no todo ou em parte, em todos os formatos e modalidades de exploração presentes ou futuros, em todas as línguas, por todo o período de vida da obra e pelo mundo inteiro.

Todo o conteúdo publicado na revista científica Ciencia y Poder Aéreo está sujeito à licença de reconhecimento internacional Creative Commons 4.0, cujo texto completo pode ser encontrado em <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

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 y Poder Aéreo, Revista da Escola de Pós-Graduação da Força Aérea Colombiana. Exceto quando for indicado o contrário, o conteúdo deste site será licenciado sob uma licença Creative Commons Attribution 4.0 Internacional.

Para usos de conteúdo não previstos nestas normas de publicação é necessário entrar em contato diretamente com o diretor ou editor da revista através do e-mail cienciaypoderaereo1@gmail.com

A Escola de Pós-Graduação da Força Aérea Colombiana e esta revista não são responsáveis pelos conceitos expressos nos artigos, portanto são responsáveis total dos autores.

Envie seus documentos pela plataforma:

<https://publicacionesfac.com/index.php/cienciaypoderaereo>

Em caso de dúvidas ou perguntas entre em contacto:

✉ cienciaypoderaereo1@gmail.com



CIENCIA Y PODER AÉREO

Revista Científica de la Escuela de Postgrados de la Fuerza Aérea Colombiana

Institución Universitaria, Resolución 1906 MEN, agosto del 2002

enero-junio de 2020 | pp. 1-193

01

Vol. 15

