

CIENCIA Y PODER AÉREO

Revista Científica de la Escuela de Postgrados Fuerza Aérea Colombiana

ISSN 1909-7050 / E-ISSN 2389-9468 VOL. 16 N.º 2 | JULIO-DICIEMBRE 2021 | Pp. 1-174

ADASTRA

02

Vol. 16

Institución Universitaria, Resolución 1906 MEN, agosto del 2002

Julio-diciembre del 2021 | pp. 1-174



www.publicacionesfac.com



CIENCIA Y PODER AÉREO

Revista Científica de la Escuela de Postgrados Fuerza Aérea Colombiana

ISSN 1909-7050 / E-ISSN 2389-9468

VOL. 16 N.º 2 | JULIO-DICIEMBRE 2021 | Pp. 1-174

Escuela de Postgrados Fuerza Aérea Colombiana

Director | Director | Diretor
CR. Ervin Gaitán Serrano

Comandante Grupo Académico
TC. Andrés Felipe Maya Pineda

Comandante Escuadrón de Investigación
MY. Germán Wedge Rodríguez Pirateque



Ciencia y Poder Aéreo

Director | Director | Diretor
MY. Germán Wedge Rodríguez Pirateque

Editora | Editor | Editor
Mg. Erika Juliana Estrada Villa

Editora adjunta | Assintant editor | Associative editor
TE. Lady Johanna Carvajal Parra

Equipo editorial | Editorial team | Equipe editorial

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

Asistencia editorial | Editorial assistance | Assistência editorial
Deisy Carolina Gutiérrez Rozo

Corrección de texto | Copyediting | Revisor de textos
Español: Angie Sánchez Wilchez
Inglés: Leonardo Andrés Paipilla Pardo
Portugués: Andrea Ripoll Ahumada

Traducción de contenidos | Content translation | Tradução de conteúdo
Inglés: Leonardo Andrés Paipilla Pardo
Portugués: Andrea Ripoll Ahumada

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

Corrección de sintaxis | Proofreading | Revisor de textos
Angie Sánchez Wilchez
Lina María Orjuela
Pasante: Emily Betancur Moncaleano

Información técnica | Technical information | Informações técnicas

Volumen 16, n.º 2 | Julio-diciembre del 2021
Periodicidad semestral
ISSN 1909-7050
E-ISSN 2389-9468
DOI: <https://doi.org/10.18667/issn.1909-7050>
Bogotá, Colombia 2021

Comité editorial | Editorial Board | Comitê editorial

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

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

Jesús Alfredo Guemes Gordo
Doctorado en Ingeniería Aeronáutico
Universidad Politécnica de Madrid, España

Alex Fernando Jiménez Vélez
Ph. D. en Ingeniería de Proyectos y Sistemas
Fuerza Aérea Ecuatoriana, Ecuador

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

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

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

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

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

Paulo Pascuini
Magíster en Economía
Universidad de Buenos Aires

Colaboradores | Contributors | Colaboradores

Ph. D. Bruno de Melo Oliveira
Universidade da Força Aérea UNIFA, Brasil

Pares académicos | Academic peers | Pares académicos

Andrés Calvillo Téllez

Ph. D. en Ciencia de la Educación
Instituto Politécnico Nacional, México

Luisa Fernanda Mónico Muñoz

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

Elvis Eduardo Gaona

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

Andrés Eduardo Fernández Osorio

Ph. D. en Derecho y Ciencias Políticas
Escuela Militar de Cadetes "General José María Córdova", Colombia

Pedro David Bravo-Mosquera

Ph. D. en Ingeniería
Universidade de São Paulo, Brasil

Lilia Edith Aparicio Niño

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

Daniel Agudelo Noreña

Magíster en Ingeniería Aeroespacial
Universidad de San Buenaventura, Colombia

Leonardo Enrique Solaque Guzmán

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

Olga Lucia Ocampo López

Ph. D. en Ingeniería Automática
Universidad Autónoma de Manizales, Colombia

Fernando Chavarro Mirada

Ph. D. en Business Administration
Universidad de los Andes, Colombia

Jonnathan Jiménez Reina

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

Héctor Ricardo Formento

Posgrado en Docencia Universitaria
Universidad Nacional de General Sarmiento, Argentina

Julio José Rangel Vellojín

Magíster en Gestión de la Tecnología Educativa
Universidad de Córdoba, Colombia

Claudia Lorena Garzón Castro

Magíster en Docencia de la Física
Universidad de la Sabana, Colombia

Paula Andrea Rodríguez Marín

Ph. D. en Ingeniería de Sistemas
Instituto Tecnológico Metropolitano, Colombia

Ricardo Luciano Chaparro Aranguren

Magíster en Educación
Universidad Manuela Beltrán, Colombia

Para suscripciones o canjes, diríjase a:

Ciencia y Poder Aéreo

✉ cienciaypoderaaereo@epfac.edu.co
(057-1) 620 6518 Ext. 1700, 1715, 1722, 1730
Biblioteca Escuela de Postgrados Fuerza Aérea Colombiana

Para mayores informes:

Dirección postal | Mailing Address | Endereço postal
Cra. 11 n.º 102-50 Edificio ESDEG, Escuadrón de Investigación
Oficina 411. A.A.110111. Bogotá D.C., Colombia
(057-1) 620 6518. Ext. 1700, 1715, 1722, 1730
www.publicacionesfac.com

Contenido

7-10

Presentación | Presentation

Desarrollo Espacial-Ad Astra

11-28

Construcción de prototipo de CANSAT para toma de imágenes aéreas para detección de zonas de vegetación en agricultura de precisión

Development of a CANSAT Prototype for the Detection of Vegetation Areas in Precision Agriculture through Aerial Imaging

Construção de um protótipo CANSAT para obtenção de imagens aéreas para a detecção de zonas de vegetação em agricultura de precisão

Sebastián León Serna, Juan José Mejía González, Nicolás Buriticá Isaza, Davinson Arsuis González Jaramillo, Sebastián Augusto Zapata Gil, Jorge M. Zamora Vélez

29-45

Programa Artemis: acuerdos y tecnologías para la exploración y explotación de la Luna

Artemis Program: Agreements and Technologies for the Exploration and Exploitation of the Moon

Programa Artemis: acordos e tecnologias para a exploração e aproveitamento da Lua

Edgar Leonardo Gómez Gómez, Laura Camila Ruiz Pedroza

46-59

Satellite Systems for Colombian Space Development with Multi-domain Operations

Sistemas satelitales para el desarrollo espacial de Colombia a través de operaciones multidominio

Sistemas de satélite para o desenvolvimento espacial da Colômbia por meio de operações de múltiplos domínios

Germán Wedge Rodríguez Pirateque, Julián Camilo Páez Pineros, Jorge Sofrony Esmeral

60-66

Review of Different Geospatial Perspectives for the Identification and Mitigation of Potential Security Threats to Satellite Platforms

Revisión de diferentes perspectivas geoespaciales para la identificación y mitigación de potenciales amenazas de seguridad a plataformas satelitales

Revisão de diferentes perspectivas geoespaciais para a identificação e mitigação de potenciais ameaças à segurança para plataformas de satélite

Luis Diego Monge Solano

Tecnología e Innovación

67-81

Integración de procesos, gestión del riesgo y automatización en la gestión de las unidades militares

Process Integration, Risk Management and Automation in Military Units Management

Integração de processos, gestão de riscos e automação na gestão das unidades militares

Gonzalo Benítez Lloré

Gestión y Estrategia

82-97

El papel de la negociación en la planeación de la estrategia militar

The Role of Negotiation in Planning a Military Strategy

O papel da negociação no planejamento da estratégia militar

Carlos Alberto Segura Villarreal

98-111

Diseño e implementación del plan de mantenimiento preventivo de los equipos de la empresa Granitos y Mármoles Acabados SAS

Design and Implementation of the Preventive Maintenance Plan for the Equipment at Granitos y Mármoles Acabados SAS

Desenho e implementação do Plano de Manutenção Preventiva dos Equipamentos da Granitos y Mármoles Acabados SAS Empresa

María Gabriela Mago Ramos, Sebastián Rocha Pachón

112-127

Armamento aéreo: una mirada hacia el futuro

Air Weapons: A Look into the Future

Armamento aerotransportado: um olhar para o futuro

Leonardo de Jesús Mesa Palacio, Abdon Estibenson Uribe Taborde

Educación y TIC

128-147

Curva de aprendizaje del ingeniero en comunicaciones y electrónica del espacio aéreo

Learning Curve of the Airspace Electronics and Communications Engineer

Curva de aprendizagem do engenheiro de eletrônica e comunicação do espaço aéreo

Rodolfo Martínez Gutiérrez, Carmen Esther Carey Raygoza,

Antonio Alfonso Landero Mada, Carlos Hurtado Sánchez

148-162

El blog como un recurso educativo para el fortalecimiento del proceso lector en estudiantes sordos

Blogging as an Educational Resource for Strengthening the Reading Process by Deaf Students

O blog como recurso educacional para fortalecer o processo de leitura em alunos surdos

Liliana Beatriz Herrera Nieves, Osmeris Esquea Gamero, Astrid Katerine Serje Payán,

Carmen Alicia de la Cruz Ruiz, Nedis Johana Barros Ballesteros

163-174

Instrucciones para autores | Guidelines for Authors | Diretrizes para autores



| Fotografía: Revista Aeronáutica, Fuerza Aérea Colombiana |

Presentación

La Escuela de Postgrados Fuerza Aérea Colombiana tiene el gusto de presentarles el volumen 16, número 2, de Ciencia y Poder Aéreo, que en esta ocasión especial trae consigo el lanzamiento de la sección “Desarrollo Espacial-Ad Astra”, la cual brinda a la comunidad científica un espacio alternativo para la generación de valor y aportes frente a los nuevos desafíos y enfoques del contexto espacial tanto en el ámbito nacional como en el regional e internacional.

Vale la pena destacar los nuevos procesos de inversión e interés por la carrera espacial, que a la fecha renuevan sus múltiples oportunidades con conceptos como los de “new space” y la “democratización del espacio”. Estas nociones han abierto el panorama para la participación de nuevos actores y la generación de nuevos desafíos, con los que la industria y la academia buscan aportar para el cumplimiento de renovadas misiones y derroteros. Ejemplos de esto son el enfrentamiento de manera más contundente de los efectos del cambio climático, así como los escenarios de adaptabilidad que la pandemia de la covid-19 ha demandado. Estos asuntos están relacionados no solo con una sociedad interconectada, sino con la capacidad de reinventarse y de enfrentar la reconfiguración de acciones para su supervivencia y la sostenibilidad del planeta en todo su contexto.

Ante estos retos, en los cuales Colombia se moviliza para interactuar con diferentes aliados y estrategias para proyectar su liderazgo regional, la Fuerza Aérea Colombiana se hace presente como autoridad aeronáutica y espacial, pues, además de cumplir su misión en “volar, entrenar y combatir para vencer y dominar en el aire, el espacio y el ciberespacio, en defensa de la soberanía, la independencia, la integridad territorial, el orden constitucional y contribuir a los fines del Estado”, ha lanzado el programa FACSAT, con el cual se espera irradiar al pueblo colombiano y a la región el fortalecimiento de capacidades y estrategias. Estas últimas dimensiones se reflejan en Ciencia y Poder Aéreo, ya que, con su experiencia y acompañamiento en los procesos de gestión del conocimiento, ha impactado en las áreas de la seguridad operacional, la logística, la tecnología, la estrategia y la educación, como líneas principales de su producción intelectual.

En este número en particular se presentan temáticas destacadas con relación a la sección “Desarrollo Espacial-Ad Astra”, como lo son los diseños de CANSAT para trabajos de agricultura de precisión; los acuerdos y tecnologías dentro del programa Artemis en las misiones hacia la luna; el

diseño de sistemas satelitales para operaciones multi-dominio, y las perspectivas geoespaciales en la identificación y mitigación de posibles amenazas a la seguridad de las plataformas satelitales.

En la sección “Tecnología e Innovación”, se exponen asuntos como la Integración de procesos, la gestión del riesgo y la automatización en la gestión de las unidades militares. En la de “Gestión y Estrategia”, se incluyen artículos sobre el papel de la negociación en la planeación de la estrategia militar, el diseño e implementación del plan de mantenimiento preventivo en las prácticas empresariales y una revisión del armamento aéreo en batallas del siglo xx y xxi con una mirada hacia el futuro. Para finalizar, en la sección “Educación y TIC”, se presentan investigaciones sobre la curva de aprendizaje del ingeniero en comunicaciones y electrónica del espacio aéreo, y el blog como un recurso educativo para el fortalecimiento del proceso lector en estudiantes sordos.

Como se puede observar, se presentan diferentes aportes al conocimiento como medios para el fortalecimiento de las relaciones interinstitucionales y el

trabajo colaborativo que brinda el afianzamiento de capacidades y el despliegue de fortalezas en materia de producción intelectual para las necesidades de país que demandan las líneas de investigación de nuestros autores.

Agradecemos la valiosa participación de los autores, quienes de forma destacada han atendido cada fase del proceso para obtener los resultados positivos que se presentan en este número. Adicionalmente y de manera especial extendemos un agradecimiento a los equipos de la revista, editorial, científico y administrativo, quienes han hecho posible la realización y generación de valor de esta y con quienes se ha construido el andamiaje de todos y cada uno de los principios editoriales que respaldan la producción.

Finalmente, invitamos a la comunidad científica del sector aeronáutico y espacial a ser partícipes de la convocatoria permanente dispuesta para la canalización y gestión del conocimiento, con el que se dinamiza constantemente el avance y el significado de cada una de las disciplinas en pro de su articulación e impacto social.

MY. Germán Wedge Rodríguez Pirateque
Comandante Escuadrón de Investigación
Escuela de Postgrados Fuerza Aérea Colombiana

Presentation

The Graduate School of the Colombian Air Force gladly presents the second issue of volume 16 of *Ciencia y Poder Aéreo*, that on this special occasion introduces a new section called “Space Development-Ad Astra,” which offers the scientific community an alternative scenario for the generation of value and contributions dealing with the new challenges and approaches to the space context at a national, regional and international level.

It is worth noting the new investment processes and the interest generated around the space race, which have renewed its various opportunities through concepts such as “new space” and the “democratization of space.” These notions have opened the scene for the participation of new actors and the generation of new challenges, with which the industry and academia seek to contribute to the fulfillment of improved missions and reaching new directions. Examples of this are a more decisive fight against the effects of climate change, as well as the adaptability scenarios demanded by the COVID-19 pandemic. These issues are related not only to an interconnected society, but to the ability to reinvent ourselves and face the new order for human survival and the sustainability of our planet.

Faced with these new challenges, against which Colombia moves forward by interacting with different allies and strategies in order to anticipate the country’s regional leadership, the Colombian Air Force emerges as an aeronautical and space authority, that in addition to fulfilling its mission of flying, training and battling to conquer and dominate the air, space and cyberspace, in defense of sovereignty, independence, territorial integrity, constitutional order and the purposes of the Colombian State, has launched the FACSAT program, which is expected to foster new capacities and strategies among Colombian people and other countries of the Latin American region. This is reflected in *Ciencia y Poder Aéreo*, since the journal has favored the progress of areas such as operational safety, logistics, technology, strategy and education, as well as the main research lines within their intellectual production, thanks to its experience and the support granted to knowledge management processes.

This issue gathers outstanding works related to the “Space Development-Ad Astra” section, such as the CANSAT designs used in precision

agriculture activities, the agreements and technologies developed for new missions to the moon by the Artemis program, the design of satellite systems for multidomain operations, and the emerging geospatial perspectives for the identification and mitigation of possible threats to satellite platforms security.

The section “Technology and Innovation” covers topics such as process integration, risk management and automation activities for military units management. The “Management and Strategy” section includes articles on the role of negotiation in planning a military strategy, the design and implementation of preventive maintenance plans as an important business practice, and a review of the air weapons used in 20th and 21st century air battles that provides a look into the future of air combat. Finally, the “Education and ICT” section introduces a study on the learning curve of airspace communications and electronics engineers, and one article that addresses the use of blogs as key educational resources for strengthening the reading process by deaf students.

As readers can witness, different contributions to knowledge are presented as means for strengthening

inter-institutional relations and collaborative work, fostering the consolidation of capacities and the deployment of research assets within the field of space-related intellectual production and therefore covering the needs of our country, which demand addressing the research lines worked by our authors.

We appreciate the valuable participation of the authors in this issue, who were enthusiastically engaged in each phase of the editorial process to obtain the valuable results met. Additionally, and with special consideration, we express our gratitude to our editorial, scientific and administrative teams, who have made possible the realization and generation of value of this editorial project, and with whom the scaffolding of each one of the editorial principles that support the journal has been thoroughly built.

Finally, we invite the aeronautical and space sector scientific community to participate in the permanent call for papers arranged for directing and managing the knowledge generated within the field, looking forward to revitalizing the mission and progress of its various disciplines with the aim of creating social articulation and impacts.

MY. Germán Wedge Rodríguez Pirateque
Research Department Commander
Graduate School of the Colombian Air Force

Construcción de prototipo de CANSAT para toma de imágenes aéreas para detección de zonas de vegetación en agricultura de precisión

| Fecha de recibido: 22 de febrero del 2021 | Fecha de aprobación: 3 de junio del 2021 |

Sebastián Augusto Zapata Gil

Estudiante, Ingeniería Aeroespacial

Universidad de Antioquia
Colombia

Grupo de Investigación en Ciencia y
Tecnología Aeroespacial (ASTRA)

Rol del investigador: experimental y escritura

<https://orcid.org/0000-0002-9695-4532>

✉ sebastian.zapatag1@udea.edu.co

Jorge M. Zamora Vélez

Ingeniero Electrónico

Docente, Ingeniería Aeroespacial
Universidad de Antioquia

Colombia

Grupo de Investigación en Ciencia y
Tecnología Aeroespacial (ASTRA)

Rol del investigador: docente y escritura

<https://orcid.org/0000-0003-2646-2257>

✉ jmario.zamora@udea.edu.co

Sebastián León Serna

Estudiante, Ingeniería Aeroespacial

Universidad de Antioquia
Colombia

Grupo de Investigación en Ciencia y
Tecnología Aeroespacial (ASTRA)

Rol del investigador: experimental y escritura

<https://orcid.org/0000-0002-2870-2608>

✉ sebastian.leons@udea.edu.co

Juan José Mejía González

Estudiante, Ingeniería Aeroespacial

Universidad de Antioquia
Colombia

Grupo de Investigación en Ciencia y
Tecnología Aeroespacial (ASTRA)

Rol del investigador: experimental y escritura

<https://orcid.org/0000-0003-2624-9798>

✉ juan.mejiag1@udea.edu.co

Nicolás Buriticá Isaza

Estudiante, Ingeniería Aeroespacial

Universidad de Antioquia
Colombia

Grupo de Investigación en Ciencia y
Tecnología Aeroespacial (ASTRA)

Rol del investigador: experimental y escritura

<https://orcid.org/0000-0003-0723-3053>

✉ nicolas.buritica@udea.edu.co

Davinson Arsuis González Jaramillo

Estudiante, Ingeniería Mecánica

Universidad de Antioquia
Colombia

Grupo de Investigación en Ciencia y
Tecnología Aeroespacial (ASTRA)

Rol del investigador: experimental y escritura

<https://orcid.org/0000-0002-1115-7199>

✉ arsuis.gonzalez@udea.edu.co

Cómo citar este artículo: Zapata-Gil, S., León-Serna, S., Buriticá-Isaza, N., Zamora-Vélez, J., Mejía-González, J., & González-Jaramillo, D. (2021). Construcción de prototipo de CANSAT para toma de imágenes aéreas para detección de zonas de vegetación en agricultura de precisión. *Ciencia y Poder Aéreo*, 16(2), 11-28. <https://doi.org/10.18667/cienciaypoderaereo.709>



Construcción de prototipo de CANSAT para toma de imágenes aéreas para detección de zonas de vegetación en agricultura de precisión

Development of a CANSAT Prototype for the Detection of Vegetation Areas in Precision Agriculture through Aerial Imaging

Construção de um protótipo CANSAT para obtenção de imagens aéreas para a detecção de zonas de vegetação em agricultura de precisão

Resumen: En este artículo se presenta el diseño del CANSAT *Heliospectrum*¹, desarrollado para su aplicación en percepción remota y análisis de imágenes para competir en el concurso anual realizado por la Sociedad de Sistemas Electrónicos y Aeroespaciales (AESS), capítulo Colombia. El equipo Helios, desarrollador del CANSAT, hace parte del grupo de investigación ASTRA de la Universidad de Antioquia. El diseño se realizó siguiendo las restricciones impuestas por el concurso, en las cuales el picosatélite debía asemejarse a una radiosonda con transmisores, componentes electrónicos, sensores con medición de aceleraciones, presión atmosférica, temperatura, campos magnéticos y aptitud para volar a 1.000 metros de altura (como mínimo), caer libremente y aterrizar con la ayuda de un paracaídas. Así mismo, cumple con los requerimientos necesarios para hacer del CANSAT una plataforma multipropósito con énfasis en percepción remota para aplicación en agricultura de precisión. Se implementó una cámara RGB como carga útil que, con ayuda de un algoritmo de análisis de imágenes que implementa el *Excess Green Index* (ExG) y el espacio de color *Hue, Saturation, Value* (HSV), permitió obtener resultados cualitativos de índices de vegetación. El CANSAT está conceptualizado en cinco subsistemas: computadora de vuelo, telemetría, estructura, descenso y recuperación, y potencia. En la aviónica del picosatélite se encuentran componentes principales como el microcontrolador Teensy 3,5, GPS GY-NEO6MV2, IMU GY-89 y en el sistema de recuperación un paracaídas expulsado con un servomotor. El prototipo de CANSAT fue fabricado y probado con éxito por el equipo, resultando ganador de la categoría “Cóncores” de la competencia CANSAT Colombia de la AEES.

Palabras clave: análisis de imágenes; CANSAT; pico satélite; percepción remota; agricultura de precisión.

Abstract: This article presents the design of the CANSAT *Heliospectrum*, developed for remote sensing and image analysis, which participated in the annual competition held by the Society for Aerospace and Electronic Systems (AESS), Colombia Chapter. The team *Helios*, developer of the CANSAT, is part of ASTRA Research Group at the University of Antioquia (Colombia). The equipment was designed following the restrictions imposed by the competition, which stated that the picosatellite must resemble a radiosonde with transmitters, electronic components, sensors that measure accelerations, atmospheric pressure, temperature, magnetic fields, and besides being able to fly at a height of at least 1,000 meters, fall freely and land with the help of a parachute. The design meets the requirements to make of this CANSAT a multipurpose platform focused on remote sensing for its application in precision agriculture activities. An RGB camera was implemented as payload. This component allowed obtaining qualitative results of vegetation indices through an image analysis algorithm that implements the *Excess Green Index* (Exg) and the *Hue Saturation Value* (HSV) color scale. The CANSAT is conceptualized in five subsystems: flight computer, telemetry, structure, descent and recovery, and power. The avionics of the picosatellite includes main components such as the Teensy 3,5 microcontroller, GPS GY-NEO6MV2 and IMU GY-89, while the recovery system has a parachute that is ejected with a servomotor. A prototype of the CANSAT was manufactured and successfully tested by *Helios*, being awarded the “Condors” category at the AEES CANSAT Colombia competition.

Keywords: image analysis; CANSAT; picosatellite; remote sensing; precision agriculture.

Resumo: Este artigo apresenta o desenho do *Heliospectrum* CANSAT desenvolvido para sua aplicação em percepção remota e análise de imagens para competir no concurso anual realizado pela Sociedade de Sistemas Eletrônicos e Aeroespaciais (AESS), capítulo Colômbia. A equipe Helios, desenvolvedora do CANSAT, faz parte do grupo de pesquisa ASTRA da Universidade de Antioquia. O projeto foi realizado seguindo as restrições impostas pela competição, em que o picossatélite deveria se assemelhar a uma radiosonda com transmissores, componentes eletrônicos, sensores com medição de acelerações, pressão atmosférica, temperatura, campos magnéticos e capacidade de voar a 1.000 metros de altura. (no mínimo), queda livre e pouse com a ajuda de um paraquedas. Além disso, atende aos requisitos necessários para fazer da CANSAT uma plataforma polivalente com ênfase em sensoriamento remoto para aplicação em agricultura de precisão. Uma câmera RGB foi implementada como uma carga útil que, com a ajuda de um algoritmo de análise de imagem implementa o *Excess Green Index* (ExG) e o *Hue, Saturation, Value* (HSV) espaço de cores, permitiu obter resultados qualitativos dos índices de vegetação. O CANSAT é conceituado em cinco subsistemas: computador de voo, telemetria, estrutura, descida, recuperação e potência. Na aviônica do picossatélite existem componentes principais como o microcontrolador Teensy 3.5, GPS GY-NEO6MV2, IMU GY-89 e no sistema de recuperação um paraquedas ejetado com servomotor. O protótipo CANSAT foi fabricado e testado com sucesso pela equipe, resultando vencedor da categoria “Condors”; da competição CANSAT Colômbia da AEES.

Palavras-chave: análise de imagens; CANSAT; picossatélite; percepção remota; agricultura de precisão.

1 CANSAT con designación HELI0513 en el concurso CANSAT Colombia 2020.

Colombia es uno de los países con más potencial de expansión del área agrícola en el mundo. De acuerdo con el Fondo Nacional para el Financiamiento del Sector Agropecuario (Finagro, 2021), ocupa el puesto 25 de 223 países en dicho potencial. Pese a ello, también es uno de los países con más riesgo de exposición a invasiones de plagas, según la *Portafolio* (Duque-Cardona *et al.*, 2020). A partir de esta información, se identificó la necesidad del país de sumarse a las nuevas tecnologías que trae consigo la industria 4.0, dentro de las cuales se destaca el origen de las tecnologías de agricultura de precisión (Trivelli *et al.*, 2019). Dicha área busca solucionar los problemas que se presentan en los cultivos por medio del análisis de imágenes tomadas desde las alturas, con el fin de identificar, entre muchas otras cosas, enfermedades presentadas en las plantas (Candiago *et al.*, 2015; Metternicht, 2003). Estas imágenes pueden ser tomadas con satélites, vehículos aéreos tripulados, y, más recientemente, con vehículos aéreos no tripulados. Estos últimos suelen ser preferidos sobre los demás debido a que permiten obtener imágenes de alta resolución a bajo costo (Honrado *et al.*, 2017).

Una alternativa poco convencional a estos sistemas es el uso de picosatélites CANSAT (Anchino *et al.*, 2019), que consisten en pequeños artefactos del volumen y forma de una lata de gaseosa, que contienen electrónica y sensores dedicados a la toma y procesamiento de datos de vuelo provenientes del entorno, cuyo propósito consiste en emular físicamente satélites artificiales reales (European Space Agency [ESA], s. f.). A diferencia de las otras tecnologías mencionadas, estos son de fácil desarrollo y hacen uso de componentes tipo *Commercial Off-the-Shelf* (COTS) que, además de ser de muy bajo costo, son de fácil adquisición.

El CANSAT es un sistema de carácter experimental y práctico, orientado al cumplimiento de tareas asociadas a vuelo suborbital atmosférico de baja altitud. Su desarrollo implica la integración de diferentes aspectos de tipo estructural, mecánico, electrónico y de software. Estas características lo hacen idóneo como plataforma ágil y económica para la realización de diversas tareas, así como para el aprendizaje de diferentes habilidades técnicas en la ingeniería que incorporan la metodología STEM (Baran *et al.*, 2019). De

esta manera, es el campo aeroespacial de los más beneficiados por esta metodología, debido a su potencial interdisciplinar, al bajo costo que suponen los proyectos con este modelo y a su complejidad reescalada (English & King, 2015).

En ese sentido, el presente artículo propone el desarrollo de un prototipo de CANSAT basado en las necesidades de su uso para sondeos en agricultura de precisión de bajo costo y de su adaptación para la participación en la competencia AESS CANSAT Colombia 2020 (Cabuya, 2021). El CANSAT tiene como propósito ser usado para registrar imágenes de áreas agrícolas, y adicionalmente, realizar mediciones ambientales y atmosféricas. Para tal objetivo, el texto se organizó de la siguiente manera: primero se llevó a cabo una revisión de literatura de los trabajos realizados con este tipo de sistemas, a fin de comprender su potencial y sus beneficios en esta área en particular. Después se establecieron los requerimientos en función de los objetivos de misión derivados de las necesidades discutidas del problema, así como de la competencia en la que se participa. Luego se describe el sistema a detalle, dividiéndolo en los segmentos de carga útil, plataforma o vehículo, y la estación terrena, donde se profundizará en los detalles técnicos de la solución propuesta para el CANSAT, para pasar a ilustrar el proceso de prototipado e integración asociados con el proceso de manufactura de la estructura, ensamble y conexión de componentes y puesta en funcionamiento. Una vez hecho esto, se presentan las pruebas realizadas enfocadas a componentes donde además son discutidos los resultados. Por último, se presentan las conclusiones y observaciones finales.

Revisión de Literatura

En años recientes una gran cantidad de trabajos alrededor del uso de sistemas CANSAT han sido desarrollados. Pese a no ser un artefacto de explotación comercial, cuenta con una gran cantidad de antecedentes en su uso y aplicaciones de tipo experimental en el entorno académico y educativo. Esencialmente

son empleados como herramientas para la enseñanza en áreas STEM en amplia gama de niveles académicos (Anchino *et al.*, 2019), en instituciones de educación básica se usan para explicar de manera práctica e interactiva temas asociados a la física, además de enseñar conceptos básicos de electrónica y programación (Cabuya, 2020), mientras que a nivel universitario, es usado en programas de ingeniería para darle a los estudiantes un acercamiento al diseño y desarrollo de una misión espacial (Universidad Nacional Autónoma de México, s. f.). En general pueden ser usados como elementos de bajo costo para instruir a estudiantes en todo el ciclo de desarrollo de sistema. Esto es particularmente importante en áreas como la ingeniería aeroespacial en donde se lidia con diferentes disciplinas técnicas, que normalmente se encuentran asociadas a otras ramas específicas en las cuales el acceso a la tecnología puede ser inasequible o altamente costoso (Rodríguez *et al.*, 2021).

Dentro de este mismo entorno académico, múltiples propuestas para realizar actividades productivas asociadas con monitoreo ambiental, climatológico y meteorológico han sido desarrolladas y sugeridas demostrando la gran incursión que han tenido este tipo de tecnología debido a su bajo costo y componentes de fácil acceso (Jaramillo & Briñez, 2019). De hecho, para estas aplicaciones los CANSAT llevan carga útil asociada a diferente instrumentación que censa el entorno, e incluye, por ejemplo, variables de temperatura, humedad y presión. Asimismo, algunos miden la concentración de gases en la atmósfera tal como el CO₂ —de sumo interés debido a su considerable contribución a la contaminación ambiental— (Faroukh *et al.*, 2019). De igual manera, los sensores de radiación UV también son empleados en estas plataformas a fin de obtener mejores registros de esta variable debido a la imprecisión que puede darse en tierra (Bhad & Akant, 2019). Además de ser útiles para monitorear su intensidad, la cual puede afectar la salud humana, perjudicar a las plantas y afectar su crecimiento (Carrasco-Ríos, 2009); por lo cual es pertinente conocer sus valores en el área donde se realiza la toma de imágenes para agricultura de precisión.

Por otro lado, la agricultura de precisión es un campo de amplio potencial en Colombia, al ser un

país de gran producción agrícola. Actualmente, la base de la agricultura de precisión es obtener imágenes satelitales que pueden alcanzar un precio bastante elevado tratándose de imágenes de alta resolución. Para la toma de estas imágenes son propuestos Vehículos Aéreos No Tripulados (UAV) como plataformas para realizar estas tareas, ya que por su versatilidad, son apropiados para resistir diversas condiciones ambientales (Parody & Zapata, 2018). En este sentido, es previsible esperar que las características y atributos del CANSAT puedan ser igualmente explotadas en esta área.

Al desarrollar este objetivo, se utilizó la técnica de percepción remota que se define como “una disciplina basada en ciencia y tecnología que permite desarrollar, capturar, procesar y analizar imágenes, junto con otros datos físicos de la Tierra, obtenidos desde sensores en el espacio, sensores aerotransportados y con sensores que capturan datos de mediciones in situ” (Centro de Investigación en Ciencias de Información Geoespacial [CentroGeo], s. f.). En esencia, se trata de una observación del terreno mediante un plano cenital.

Así bien, además de las aplicaciones en agricultura que se plantearon, la percepción remota puede usarse para cartografiar las actividades humanas y naturales; monitorear procesos físicos; evaluar y mitigar los desastres; vigilar los cambios temporales en la cobertura terrestre; derivar el patrón y monitoreo de procesos de estacionalidad de cuerpos de agua y expansión del medio urbano construido en regiones del país; monitorear parámetros biofísicos de los bosques; detectar fosas clandestinas; así como estimar población en áreas pequeñas y desarrollar catastro en 3D, entre otros usos (CentroGeo, s. f.).

De igual modo, existen diversas propuestas de CANSAT que emplean dispositivos de cámara para la toma de imágenes con el fin de obtener información del microclima usando sensores infrarrojos (Molla, 2018) e integrando sistemas de apuntado para enfocar una zona de interés (Tjandra, 2020), de allí que puedan ser adaptados para este fin integrando software de procesamiento de imágenes.

Sin embargo, pese a los antecedentes mencionados no existe un número significativo de trabajos

específicos respecto al empleo de CANSAT en el área de agricultura de precisión. Lo cual presenta una oportunidad y foco de investigación.

Metodología

Tomando como referencia el proceso de ingeniería de misiones espaciales (Wertz *et al.*, 2011), se empleó una metodología de diseño iterativo, partiendo del conocimiento de los aspectos generales del proyecto que permiten identificar los objetivos y restricciones, definir un concepto de misión explorando diferentes alternativas, y finalmente, establecer los requerimientos que retroalimentarán el proceso de diseño. Además, se aplicaron estrategias de prototipado rápido usando tecnologías COTS y procesos de manufactura accesibles como la impresión 3D.

Cabe mencionar que tanto el proceso de diseño como su ejecución, se realizó en el marco de la pandemia, por lo tanto, la metodología se adaptó al trabajo virtual con sesiones de reuniones recurrentes en las que se discutió el diseño conceptual y posteriormente se realizaron pruebas preliminares.

Objetivos de la misión

El CANSAT tiene como objetivo primario:

- Tomar fotografías en áreas agrícolas para un posterior procesamiento de datos que revelen índices de vegetación usando tecnologías COTS de bajo costo.

Como objetivos secundarios se tienen:

- Diseño multipropósito que permita incluir diferentes sensores que brinden capacidades específicas según se requiera en futuras aplicaciones.
- Medir las variables atmosféricas.
- Registrar la actitud de vuelo del vehículo.

Requerimientos

Para orientar de manera correcta el diseño es preciso identificar los requisitos que debe satisfacer el CANSAT

con el fin de cumplir sus objetivos, al igual que acatar los lineamientos que se estipulan en el concurso CANSAT Colombia 2020 (Cabuya, 2021). En la tabla 1 pueden evidenciarse los diferentes requerimientos divididos en funcionales, operativos y restricciones.

Tabla 1
Requerimientos y restricciones de la misión

Requerimiento	Descripción
Funcional	<ul style="list-style-type: none"> - Medición de variables de actitud de vuelo (aceleración, velocidad angular). - Medición de variables ambientales (rayos UV, humedad, temperatura, presión, intensidad de campo magnético). - Registro y almacenamiento de fotografías de resolución aceptable para el procesamiento de imágenes. - Capacidad de incorporar sensores adicionales usando protocolos UART, I2C o SPI.
Operativos	<ul style="list-style-type: none"> - Almacenamiento a bordo. - Transmisión de datos a una estación terrena. - Alcance mayor a 1.000 metros entre el vehículo y la estación terrena. - Uso de un paracaídas para recuperar el CANSAT.
Restricciones	<ul style="list-style-type: none"> - Peso máximo 500 gr. - Dimensiones estándar de lata de refresco de 350 mL. - Costo inferior a los 250 USD.

Fuente: elaboración propia.

Concepto de misión

El factor de forma CANSAT permite una gran variedad de perfiles de vuelo, ya que se tiene la posibilidad de alojar el satélite en diferentes vehículos como globos, drones y cohetes, debido a su reducido volumen y bajo peso. Sin embargo, se optó por una misión conceptual con un cohete como vehículo portador del CANSAT con el fin de cumplir con los requerimientos de la competencia y evaluar las diferentes capacidades operativas del CANSAT en cuanto a la toma y envío de datos con la estación terrena y el despliegue del paracaídas como sistema de recuperación. El perfil de vuelo se divide en cinco momentos, como se ilustra en la figura 1.

De este modo el vehículo permite al CANSAT describir una trayectoria semiparabólica dentro de la atmósfera. A lo largo de esta trayectoria se toman todos

los datos necesarios por los diferentes sensores con los que va equipado el vehículo para la medición de variables atmosféricas.



Figura 1. Perfil de vuelo
Fuente: elaboración propia.

Luego del despegue del CANSAT se adquiere altura hasta llegar al punto máximo de la trayectoria o apogeo, y es aquí donde se libera el CANSAT del vehículo lanzador para iniciar la fase de descenso, donde se activa el mecanismo que eyectará el paracaídas y el CANSAT seguirá con el descenso hasta el aterrizaje y su recuperación. En esta última fase toma el registro de fotografías para la percepción remota de la superficie, ya que el CANSAT contará con una mayor estabilidad respecto a su etapa de ascenso, y una vez en tierra, se enviará una señal a la estación terrena para confirmar el aterrizaje.

En la figura 2 se muestran cómo están conformados algunos de los subsistemas y los respectivos protocolos de comunicación utilizados. A continuación, se ampliarán generalidades sobre cada uno y algunos motivos para la selección de los componentes que los conforman.

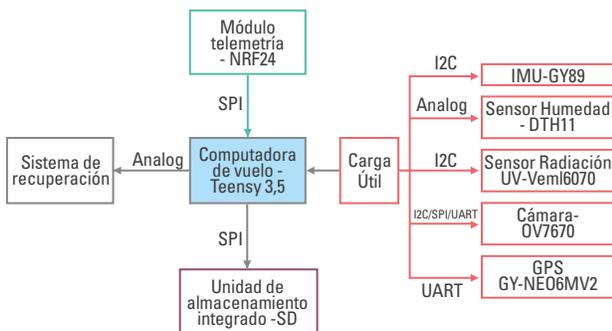


Figura 2. Diagrama de arquitectura general del sistema
Fuente: elaboración propia.

Carga útil

Los objetivos de la misión centrada en la toma de imágenes para detección de vegetación junto con otras asociadas al monitoreo ambiental son cumplidos por la carga útil, el conjunto de instrumentos dedicados a tomar datos y medir diferentes variables físicas.

El corazón de la carga útil es el sensor de imagen responsable del registro fotográfico de la zona de interés en cuestión. Para este propósito es seleccionada una cámara basada en el sensor OV7670 de 30fps y una resolución de 640×480 píxeles en modo VGA (figura 3). Las imágenes obtenidas serán procesadas posteriores a la misión.



Figura 3. Cámara OV7670
Fuente: OmniVision Technologies Inc.

Así mismo, se cuenta con sensores secundarios a fin de tomar datos de variables atmosféricas de importancia en la agricultura de precisión. Estos incluyen un sensor analógico de humedad DHT11 (figura 4a), que mide la humedad relativa del entorno, y un sensor rayos UV VEML6070 (figura 4b), que arroja la intensidad de luz ultravioleta de longitudes de onda entre los 320 y 410 nm.

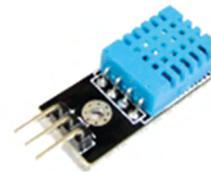


Figura 4a. Sensor de humedad
Fuente: Mouser Electronics (s. f.).



Figura 4b. Sensor Rayos UV
Fuente: Vishay Semiconductors (2019).

Procesamiento de imágenes

Las imágenes obtenidas son procesadas luego de la misión donde se busca detectar la vegetación presente a través del reconocimiento de variaciones de tonos verdes en la imagen. Para lograrlo se implementó un algoritmo de procesamiento de imágenes que sigue un proceso similar al propuesto, en el cual la imagen RGB original es transformada al espacio *Hue, Saturation, Value* (HSV) (Yang et al., 2015). En ese punto se diferencian los objetos pertenecientes a vegetación y los que no.

Inicialmente, se busca calcular el índice *Excess Green* (ExG) así:

$$ExG = 2G - R - B \quad (1)$$

Donde G representa el píxel color verde, R el rojo y B el azul. En este caso, el índice ExG se utiliza para convertir en negro los píxeles que componen la imagen RGB cuyas tonalidades no tienen valores de verde, y convierte en blanco aquellos píxeles que en efecto sí contienen tonalidades de este último color.

Más tarde, la imagen resultante generada por el índice ExG es llevada al espacio de color HSV. Este espacio presenta una gran ventaja, ya que la imagen final revela los objetos blancos corregidos al verde, permitiendo así un análisis de las condiciones y salud del cultivo y de cada planta individualmente.

Plataforma

La plataforma del CANSAT constituye todo aquello dedicado a soportar el funcionamiento y operación de la carga útil, se divide en diferentes subsistemas como navegación, computadora de vuelo, transceptor, baterías, sistema de descenso y recuperación, estructura y estación terrena.

Navegación

Se incorporó el sensor de navegación IMU GY-89 (figura 5a), que integra el barómetro, el cual permite medir

la altura mediante la diferencia de presiones atmosféricas con una precisión de 0,5 m; también, posee el giroscopio L3GD20H y el acelerómetro LSM303D, los cuales permiten obtener mediciones de campo magnético (rumbo), velocidades angulares y aceleraciones. La integración de estas variables determina la actitud de vuelo del vehículo representada por los ángulos de Euler.

Por último, y con el propósito de determinar la ubicación geográfica del CANSAT, se contó con el GPS GY-NEO6MV2 (figura 5b), el cual cumple con requerimientos de volumen (23 milímetros de ancho por 30 milímetros de alto), precisión (seis cifras decimales en latitud y longitud) y bajo costo.

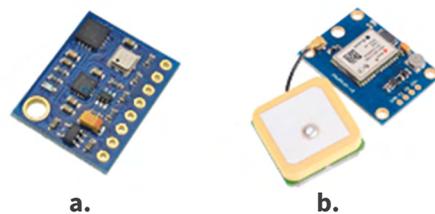


Figura 5. Sensores de navegación

Fuente: U-blox (2017).

Nota. (a) IMU GY 89; (b) GPS GY-NEO6MV2.

Computadora a bordo

Esta unidad es la responsable de gestionar, administrar y controlar todas las operaciones y procesos involucrados durante toda la misión. Para ello se empleó el microcontrolador Teensy 3,5 (PJRC, s. f. a), el cual, a pesar de tener una capacidad de procesamiento superior a la mayoría de los microcontroladores convencionales (Sparkfun, s. f.), presentó como principal motivo de elección una gran disponibilidad de pines *General Purpose Input/Output* (GPIO) y el hecho de que esta tarjeta incorpora una unidad de almacenamiento SD, como se evidencia en la zona superior de figura 6, lo cual permitió ahorrar conexiones y espacio en la estructura.



Figura 6. Módulo Teensy 3,5

Fuente: PJRC Electronic Projects.

Asimismo cumplió su propósito al permitir programar las instrucciones cómodamente en el IDLE de Arduino (PJRC, s. f. b), además de cumplir con los requerimientos funcionales y operacionales ya descritos. De esta manera, el algoritmo desarrollado (figura 7) comenzó inicializando las variables necesarias donde serán almacenados los datos de interés, posteriormente se inicializaron los sensores haciendo uso de los respectivos protocolos de comunicaciones como se presentó en la figura 2. Después de que se verificara que todos los sensores están correctamente conectados, el algoritmo entra en un bucle principal (*loop*) donde se empezarán a leer los datos de las variables; no obstante, el GPS requiere un trato diferente a los demás sensores de la carga útil, ya que necesita de un tiempo de espera para realizar la conexión con los satélites. Por tal motivo, es necesario un ciclo interno con un tiempo máximo de un segundo, en el cual se evalúa la recepción de un nuevo dato de posición.

Por otro lado, y no menos importante, la computadora de vuelo debe recurrir a los datos proporcionados

por los sensores para detectar dos momentos cruciales del perfil de vuelo de la misión: el apogeo —momento de mayor altitud— y el aterrizaje del CANSAT.

El apogeo es necesario para iniciar la activación del sistema de descenso. Para esto es imprescindible conocer la altura del CANSAT en todos los momentos de la misión, lo cual es posible gracias al barómetro BMP180. De esta manera, el algoritmo encargado de esta función compara los datos de altura de la medición inmediatamente anterior y activa el sistema cuando se lee un cambio negativo, lo que significa que el CANSAT ya pasó por su punto máximo de altura.

El envío de la señal de confirmación de aterrizaje se realiza vez el CANSAT se encuentra en tierra para iniciar su recuperación. Esta condición se detecta gracias al acelerómetro L3GD20, en el cual el algoritmo verificará el cambio de aceleraciones en los tres ejes durante un tiempo considerable, si este cambio permanece en un valor aproximado a cero se determina que el CANSAT está en reposo y se marca el final del ciclo principal.

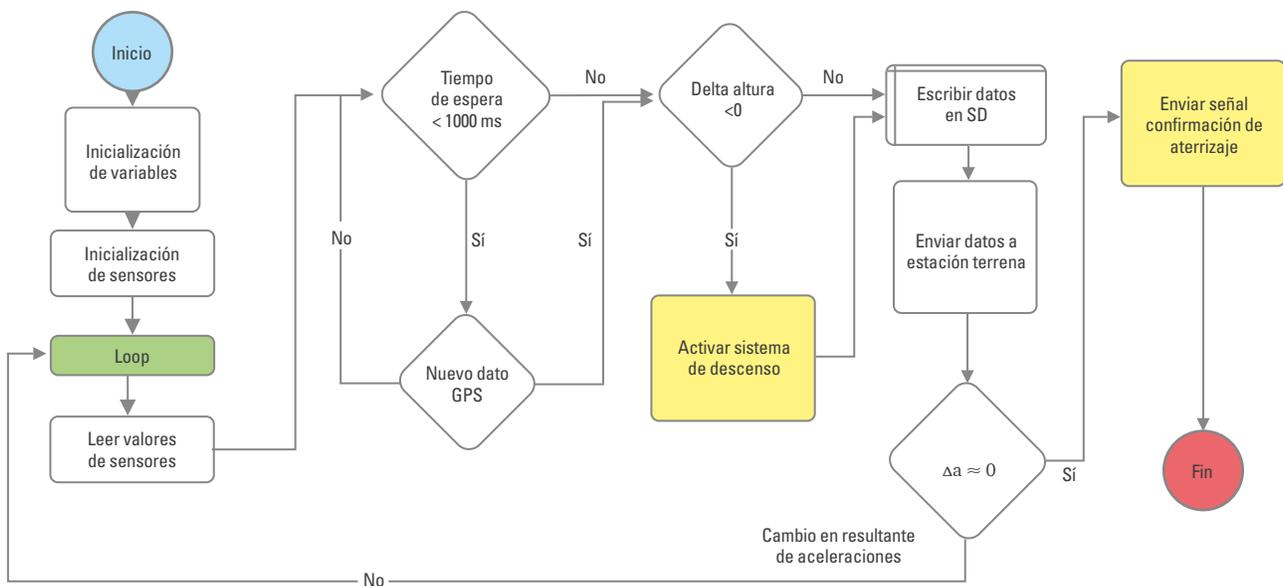


Figura 7. Diagrama de flujo algoritmo computadora de vuelo

Fuente: elaboración propia.

Por último, la computadora de vuelo debe encargarse de la escritura de datos en el módulo SD incorporado. Al igual que debe gestionar el envío de dichos datos a través del módulo transceptor.

Transceptor

Su objetivo es recopilar y enviar los datos medidos por los sensores en tiempo real a la base terrena de forma inalámbrica. Este subsistema consta de dos módulos transceptores nRF24L01 (figura 8), uno integrado en el CANSAT, el cual actúa como transmisor, y otro en la base terrena, que sirve de receptor. Si bien este módulo no es tan robusto como lo pueden ser el módulo LoRa o el Xbee, muy usados en aplicaciones CANSAT, cumple con los requerimientos de transmitir datos a un kilómetro de distancia y es de bajo costo. El módulo nRF24L01 opera a una frecuencia de 2,4 GHz, con velocidad de envío de datos de 0,250, 1 y 2 Mbps y trabaja con el protocolo de comunicación SPI.



Figura 8. Módulo transceptor nRF24L01
Fuente: Nordic Semiconductor (2008).

Batería

El suministro de potencia principal corresponde a una batería de polímero de litio (LiPo) de 3,7 V 1.200 mAh, la cual se encarga de proveer energía eléctrica a la computadora de vuelo, al módulo GPS y al módulo de comunicaciones —debido a que estos dos últimos requieren una corriente de operación mayor a la proporcionada por los pines GPIO del microcontrolador—. Los demás componentes son alimentados por dichos pines sin problema, gracias a que su tensión de operación es de 3,3 V, suministrados por el regulador de tensión interna del Teensy.

A su vez, el servo motor que activa el sistema de recuperación y descenso requiere de una tensión y una corriente superior a la que podía proporcionar el microcontrolador. Por lo tanto, se emplearon dos baterías LiPo en serie de 3,7 V 200 mAh para suministrar una tensión de 7,4 V que permitieron al servo motor funcionar correctamente. El esquema de la distribución de potencia eléctrica mencionado puede evidenciarse en la figura 9.

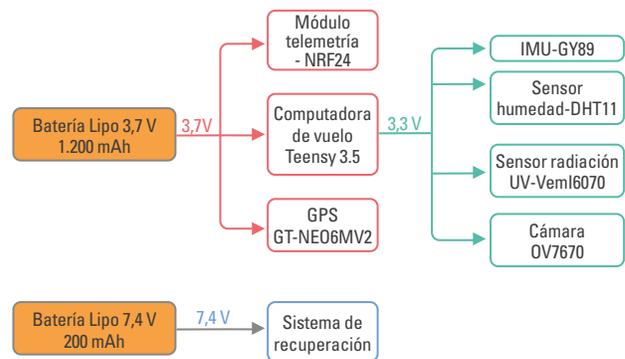


Figura 9. Esquema de suministro de potencia eléctrica
Fuente: elaboración propia.

Descenso y recuperación

El CANSAT debe retornar a tierra a salvo manteniendo su integridad y la del equipo a bordo, con el fin de asegurar su reutilización y la preservación del producto de la misión. Asimismo, debe asegurarse su recuperación física desde la ubicación de aterrizaje una vez la misión haya concluido.

Paracaídas

Como requerimiento se establecía el uso de un paracaídas como el sistema apropiado para hacer descender y recuperar al CANSAT. Para garantizar que los componentes internos sobrevivan el impacto con el terreno se definió una velocidad terminal de 5 m/s, significativamente inferior a la recomendación de la Agencia Espacial Europea, la cual es de 11 m/s para vehículos con sistema de recuperación incluido (ESA, s. f.). Para lograr la velocidad deseada con el paracaídas se empleó la teoría aerodinámica haciendo uso de la ecuación 2.

$$V = \sqrt{\frac{2W}{C_d \rho A}} \quad (2)$$

Donde C_d es el coeficiente de arrastre, W peso del CANSAT en kg m/s^2 , ρ es la densidad del aire en la ciudad de lanzamiento en kg/m^3 , A el área efectiva en m^2 y V es la velocidad terminal en m/s .

El lugar de referencia para el lanzamiento es Bogotá. Con esto, se tiene una densidad del aire igual a 1.255 kg/m^3 , una velocidad terminal aproximada de 5 m/s y un peso de $3,43 \text{ N}$. A partir de estos datos se obtiene un diámetro requerido para el paracaídas de alrededor 500 mm , como se muestra en la figura 10.

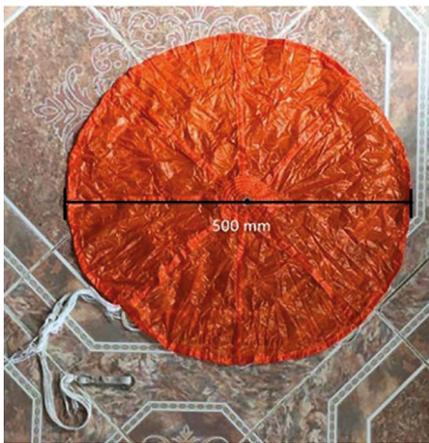


Figura 10. Paracaídas para el descenso
Fuente: elaboración propia.

El paracaídas está fabricado en *ripstop nylon*, una tela muy resistente a la tracción y muy maleable, lo que brinda seguridad. Además, dicho material es blando lo que permite doblar el paracaídas de tal modo que se aproveche al máximo el espacio disponible (Tortora, 1996).

Mecanismo de eyección

El mecanismo de eyección es el encargado de expulsar el paracaídas del interior del CANSAT. Para esto se consideraron varias opciones, en primer lugar, estaba usar una bahía cargada con pólvora negra y encenderla con un estopín de manera que los gases ejercieran presión en el contenedor del paracaídas que lo obligaran a ser eyectado. La segunda opción considerada fue el uso de una cápsula de dióxido de carbono que

usa el mismo principio de gases a presión para expulsar el paracaídas. Sin embargo, estas opciones eran relativamente complicadas y usaban mucho espacio, por lo tanto, fueron descartadas. De ese modo, la solución seleccionada se basó en el uso de un resorte helicoidal cónico a compresión. La elección de la forma del resorte se debe a que este resorte cónico cuenta con una tasa de compresión casi constante durante su acción, y además, permite un óptimo manejo del espacio ocupando poca altura (General Wire Spring Company, s. f.). Al ser comprimido, el resorte almacena energía en forma elástica y a través de un servomotor que gira un disco con levas en el interior, como se ilustra en la figura 11. Las levas abren las extremidades de sujeción de la bahía del paracaídas, liberando la parte superior de la estructura y permitiendo al resorte en compresión liberar su energía y sacar el paracaídas de una forma eficaz (figura 12).

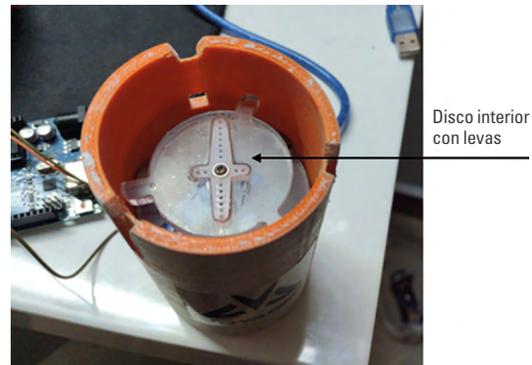


Figura 11. Sistema de eyección de paracaídas sin ensamblar
Fuente: elaboración propia.



Figura 12. Sistema de eyección de paracaídas ensamblado
Fuente: elaboración propia.

Estructura

Sumado a lo anterior, la estructura fue una parte fundamental para el desarrollo del proyecto, ya que en ella se aloja toda la aviónica del dispositivo y se debían acomodar todos los componentes, por lo cual debía brindarles soporte físico y protección de manera permanente. De forma inicial se planteó una estructura simple con tres elementos axiales (columnas) y dos plataformas transversales, la cual se refinó a medida que avanzaba el proceso de diseño e integración del CANSAT (figura 13) hasta obtenerse una estructura definitiva, en la que se incluyeron secciones y carcasas para los sistemas internos (comunicación y telemetría, sensores y aviónica, y potencia eléctrica), el sistema de recuperación requirió del diseño de una estructura especial para su funcionamiento, explicado detalladamente en la sección anterior. En la figura 11 y figura 12 puede apreciarse cómo se integró el mecanismo de eyección y la estructura de la que dependía su funcionamiento.

Las modificaciones a la estructura se realizaron con el objetivo de que todos los componentes electrónicos se acomodaran correctamente dentro del CANSAT con las dimensiones propuestas. En principio, la estructura se modificó para integrar el sistema de eyección del paracaídas; la carcasa exterior se diseñó teniendo en cuenta la eyección del sistema de recuperación, y, a partir de allí se hizo una parte inferior cerrada y una tapa superior, que posteriormente sería desprendida, para finalmente poner una pequeña tapa inferior con el fin de facilitar la acomodación de los componentes electrónicos; además de brindarle una posición correcta a la cámara y la antena, las cuales sobresalen por la parte inferior del CANSAT. Hechas estas modificaciones, el dispositivo estaba en capacidad de obtener las imágenes y tener la mejor comunicación posible con la base terrena.

Los componentes de la estructura interna fueron fabricados con madera MDF y acrílico. Las carcasas fueron elaboradas con manufactura aditiva e impresión 3D, los detalles de la evolución del diseño estructural se muestran en la figura 13.

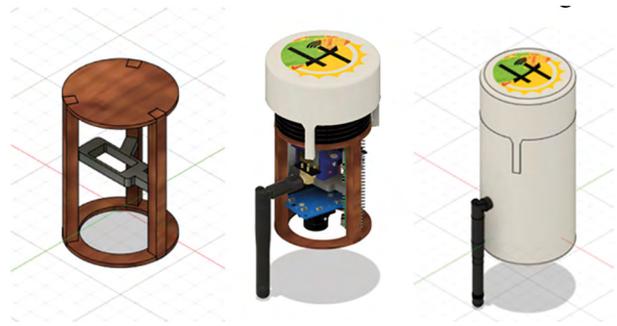


Figura 13. Diseño estructural del CANSAT

Fuente: elaboración propia.

Nota. Diseño inicial simplificado (izq.), diseño definitivo con carcasa de la zona de eyección (centro) y CANSAT con carcasas completas (der.).

Se optó por el uso de PLA para la fabricación de la carcasa al ser el material que mejor se ajustó al perfil de la misión por brindar una buena resistencia mecánica frente a esfuerzos de tracción y frente a impactos, además de ser un material comercial y asequible, por lo que se ajustó al presupuesto del equipo. Adicional a esto, las extremidades que mantendrían la tapa superior unida al resto de la carcasa fueron fabricadas en PET, ya que gracias a sus propiedades aporta ductilidad a las piezas. Así mismo, para obtener el mejor rendimiento mecánico de este material en el momento de la eyección del paracaídas, fue sometido a un tratamiento térmico que consistía en elevar la temperatura de las piezas hasta alcanzar el punto de transición vítrea para aumentar aún más su ductilidad, y así permitir que se deformaran sin romperse y que pudieran volver a su forma inicial luego de aplicado el esfuerzo. Este proceso se llevó a cabo en un horno, como se muestra la figura 14.



Figura 14. Proceso de tratamiento de las extremidades de la carcasa de eyección

Fuente: elaboración propia.

Estación terrena

Con el objetivo de conocer el estado del CANSAT a lo largo de toda su misión, es necesario contar con una estación terrena capaz de recibir, procesar y graficar los datos tomados. Como se mencionó en la sección transceptor, la estación terrena cuenta con un módulo nRF24L01 con la tarjeta Arduino Uno. Para poder visualizar cómodamente los datos tomados por el CANSAT, se desarrolló una interfaz gráfica (GUI) en Python con librerías como Tkinter (Python, s. f.) y Matplotlib (Matplotlib, s. f.). Dicha interfaz gráfica las aceleraciones en los tres ejes coordenados del CANSAT y su altitud, y al mismo tiempo muestra los datos de humedad y rayos UV. De igual manera tiene la capacidad de mostrar el estado del sistema de recuperación indicando *Off* cuando no se ha accionado, y *On* cuando se accionó. Por medio de los datos de las aceleraciones, la interfaz determina la actitud del CANSAT, graficándola en 3D para una mejor visualización. En la figura 15 se muestra el CANSAT sin la estructura y la base terrena conectada a un PC, en el cual se puede ver la ventana principal de la interfaz gráfica. El esquema de comunicaciones se evidencia en la figura 16.

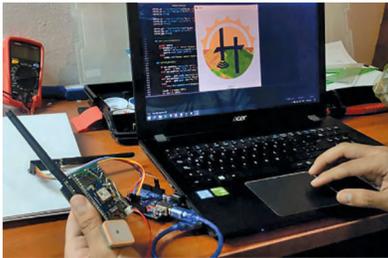


Figura 15. Comprobación de envío de datos con base terrena e interfaz gráfica

Fuente: elaboración propia.

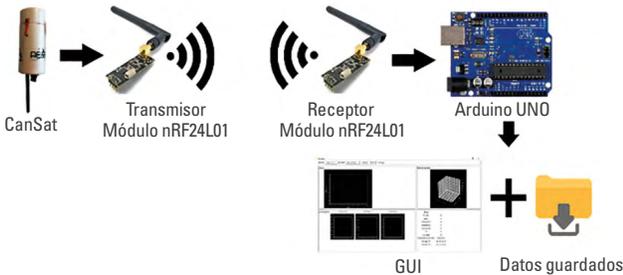


Figura 16. Funcionamiento del sistema de comunicaciones y telemetría

Fuente: elaboración propia.

Integración y prototipado

Luego de tener la estructura, es necesario integrar los componentes descritos en la sección carga útil. Para esto se realizó un montaje preliminar (figura 17) con el objetivo de comprobar el funcionamiento de los componentes e integrar el algoritmo de la computadora de vuelo. Acto seguido se realizó un proceso optimización de espacio descrito a continuación.

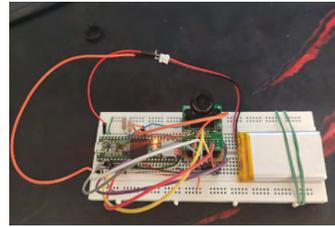


Figura 17. Montaje electrónico inicial para pruebas de funcionamiento

Fuente: elaboración propia.

La integración de los componentes electrónicos fue posible gracias a un prototipado de dos capas en baquelita universal, lo cual facilitó la soldadura al disminuir el número de conexiones en una misma cara de la capa.

En la capa 1 se ubicaron los componentes que requerían cercanía a las paredes del CANSAT, es decir el módulo de comunicaciones, sensor de rayos UV y Teensy como se evidencia en la figura 18. Por otro lado, en la capa 2 se ubicaron los demás componentes como IMU, sensor de humedad y GPS (cara posterior) mostrados en la figura 19. Al momento de ensamblar ambas capas fueron unidas por medio del pin *header* macho y hembra de la cara 1 y cara 2, respectivamente. El resultado final puede apreciarse en la figura 20.



Figura 18. Capa 1 de integración de componentes

Fuente: elaboración propia.

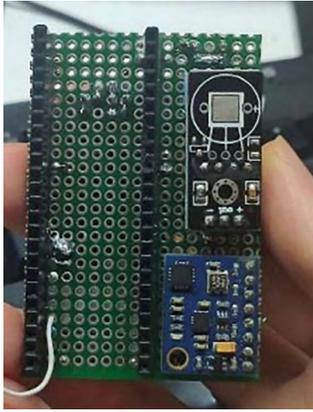


Figura 19. Capa 2 de integración de componentes
Fuente: elaboración propia.

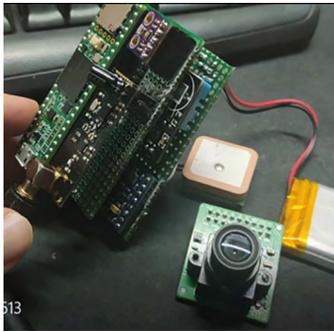


Figura 20. Prototipado final por capas
Fuente: elaboración propia.

Una vez se contó con todos los subsistemas terminados se procedió a integrarlos en un espacio de 120 mm de alto y 65 mm de diámetro, cumpliendo con los requerimientos. Para la disposición interna de los subsistemas en la parte superior del CANSAT se encuentra el sistema de recuperación y su mecanismo de eyección. Debajo de este, está la computadora de vuelo integrada con la carga útil y la potencia eléctrica. En la parte inferior del satélite se encuentra la antena y la cámara apuntando hacia abajo como se muestra en la figura 22, pues de esa manera la antena podrá transmitir de forma óptima a la base terrena y la cámara capturará imágenes de interés.

Para el ensamblado, primero se inserta tanto la antena como la cámara en la parte inferior, luego la computadora de vuelo y el resto de los sensores que hacen parte de las dos baquelas; después se introduce el resorte y la tapa superior con el paracaídas y finalmente se sella el satélite con los tornillos exteriores.



Figura 21. Integración final y sus componentes principales
Fuente: elaboración propia.



Figura 22. Vista exterior del CANSAT
Fuente: elaboración propia.

Pruebas y resultados

Con el objetivo de caracterizar y validar el CANSAT construido, se realizaron distintas pruebas a nivel funcional. Dada la naturaleza del prototipo y por simplicidad, las pruebas iniciales son poco rigurosas y de carácter cualitativo.

Así bien, con el fin de comprobar el funcionamiento del subsistema de navegación, el equipo trazó y recorrió un circuito de aproximadamente tres kilómetros. Con una precisión horizontal del modelo usado de aproximadamente 2,5 metros, en la figura 23 se muestran los resultados de esta prueba.

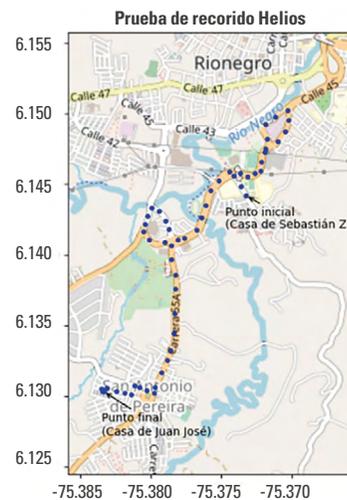


Figura 23. Gráfica de datos enviados por GPS
Fuente: elaboración propia.

La carga útil junto con todos los subsistemas, se mantuvieron encendidos por lo menos una hora con el objetivo de comprobar que llegaban los datos medidos de cada uno de ellos a la estación terrena. Los sensores no sufrieron sobrecalentamientos ni intermitencias.

En cuanto a la telemetría, esta pudo enviar datos de tiempo, altitud, aceleración en los tres ejes y variables atmosféricas cada 0,2 segundos en las pruebas mencionadas. Asimismo, la base terrena tomaba dichos datos y los graficaba en tiempo real, indicando el estado de los sensores y del CANSAT en general. En la figura 24 se muestra una posición determinada del CANSAT con sus respectivos ejes coordenados de acuerdo con la disposición de la IMU dentro de la estructura, la figura 25 evidencia cómo las mediciones de aceleraciones corresponden con la posición descrita anteriormente, ya que se tienen valores cercanos a 1G (una gravedad) para los ejes X y Z, pero para el eje Y se mantiene en cero.



Figura 24. Comprobación de acelerómetro en el CANSAT
Fuente: elaboración propia.

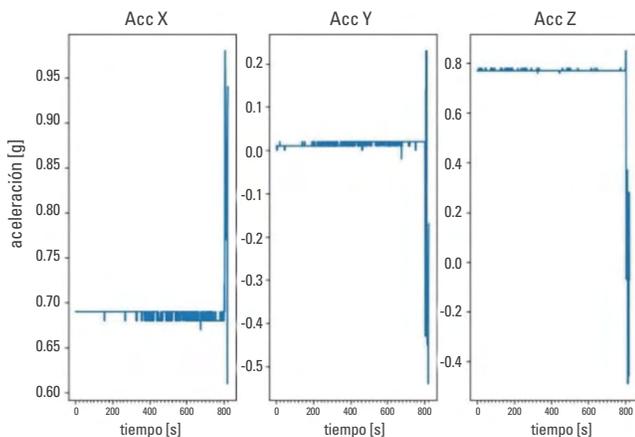


Figura 25. Aceleraciones en X, Y y Z respecto al tiempo
Fuente: elaboración propia.

Con el fin de verificar la capacidad de análisis de las imágenes que tomaría el CANSAT en su misión, se captó una imagen en la cual se muestra un cultivo de lechugas, como se puede ver en la figura 26. Se realizaron pruebas del algoritmo de procesamiento de imágenes a partir de las imágenes adquiridas por la cámara, en este caso, para un cultivo de maíz. El resultado tras aplicar el índice ExG se ve en la figura 27, luego la imagen procesada se traspasa al espacio de color HSV, como se muestra en la figura 28. Los resultados muestran que el algoritmo es exitoso en identificar el verde de las plantas y permite el posterior análisis más complejo para actividades de agricultura de precisión.



Figura 26. Imagen sin procesar de un cultivo de maíz
Fuente: elaboración propia.



Figura 27. Imagen del cultivo con el índice ExG aplicado
Fuente: elaboración propia.



Figura 28. Imagen ExG en el espacio HSV
Fuente: elaboración propia.



Figura 29. Prueba del sistema de eyección
Fuente: elaboración propia.

Por otro lado, para probar la estructura se dejó caer el satélite a tierra desde una altura aproximada de 6 metros, ya que la velocidad de impacto es cercana a la velocidad terminal descrita en la sección de descenso y recuperación. Esto para comprobar que la estructura impresa en 3D resistiera a un impacto

semejante al que sufriría en un vuelo real. Se encontró que la estructura soportó las tres pruebas realizadas y no se presentaron daños.

Ahora bien, en cuanto al sistema de recuperación y descenso, se realizaron distintas pruebas, empezando por comprobar que el servomotor encargado de hacer girar el disco funcionara correctamente. Para esto, se ensambló el paracaídas junto con el resorte. Teniendo el CANSAT en la posición final, es decir, sellado con los tornillos, se accionó el servomotor mediante una señal programada en la tarjeta Arduino Uno. En la figura 29 se puede evidenciar la eyección de la tapa superior junto con el paracaídas.

Tabla 2
Presupuesto de masa, costo y potencia

Componente	Peso [g]	Costo [USD]	Potencia [mW]
Batería principal	33,0	8,4	5.550
Baterías secundarias	2	4	1.480
Microcontrolador	4,8	49,5	-414,4
IMU	2,0	11,9	-66
Sensor UV	1,0	4,8	-33
Cámara	20,0	19,1	-165
GPS	5,0	5,9	-166,5
Sensor humedad	3,0	1,4	-1,65
Transceptor	9,0	3,8	-44,55
Servo	55,0	5,4	-1.080
Paracaídas resorte	33,0	16,2	--
Estructura	106,0	21,1	--
Total	273,8	151,5	1.971,1
Margen	226,2	98,5	5.058,9

Fuente: elaboración propia.

Finalmente, el presupuesto de masa, costo y potencia se muestra en la tabla 2, obteniendo un costo total de 151 USD, una masa de 274 gramos y un consumo de 1,9 W por parte de los componentes de la plataforma y la carga útil. Este consumo es provisto por las baterías que permiten un amplio margen de consumo de 5 W aproximadamente.

Conclusiones y observaciones

Los sistemas CANSAT pueden ser empleados eficazmente como plataformas experimentales para realizar estudios académicos alrededor del área de la agricultura de precisión a bajo costo, frente a otras plataformas que no solo son más costosas sino más complejas de desarrollar. Por ello en etapas tempranas de investigación esta representa una opción viable.

La revisión de literatura arrojó sorpresivamente que existe un número muy limitado de trabajos alrededor del uso de CANSAT como mecanismos para el estudio y aprendizaje en agricultura de precisión. Esto último señala la necesidad de profundizar más en el área, lo cual puede representar una oportunidad para futuras investigaciones.

Es posible clasificar el resultado del diseño del CANSAT según el *Technology Readiness Level* (TRL) (Tzinis, 2015), una escala de la industria aeroespacial que mide el nivel de madurez, en este caso, tecnología en un nivel TRL 4, ya que el sistema se ha probado en tierra bajo condiciones similares de laboratorio donde se emula el perfil de vuelo del dispositivo, como lo fueron las pruebas descritas.

La implementación del algoritmo de procesamiento de imágenes proveyó gran potencial al CANSAT, en el sentido que permite analizar diferentes imágenes tomadas por él. Dicho software, al obtener el índice ExG puede ser utilizado no solo en cultivos, sino también en zonas en las cuales se requiera saber el nivel de vegetación e identificar enfermedades en plantas. Al integrar los datos atmosféricos medidos por el CANSAT, existe la posibilidad de prever posibles pérdidas en cultivos o zonas forestales realizando un diagnóstico más completo.

Las pruebas demostraron una funcionalidad plena de cada uno de los subsistemas y componentes del CANSAT. Cada sensor trabajó continuamente en pruebas de por lo menos una hora, sin sobrecalentamientos ni intermitencias, lo que indica que las conexiones de los circuitos no presentan cortos ni deficiencias en la soldadura.

A pesar de que el sensor GPS tardaba aproximadamente cinco minutos en recibir señal de los satélites,

una vez lograba establecer la conexión era de forma continua. Así mismo, a lo largo de todas las pruebas la base terrena recibió y graficó los datos enviados por el CANSAT en la misma frecuencia que este los enviaba, demostrando que puede ser utilizada para diferentes tipos de CANSAT que desarrollen diversas misiones y envíen diferentes tipos de datos.

El mecanismo de eyección del subsistema de descenso y recuperación demostró ser confiable y de bajo costo, siendo así un sistema novedoso y de fácil implementación con la ventaja de ser versátil y poderse adecuar a otros CANSAT en los cuales su ensamble sea en la configuración de dos tapas.

Este trabajo fue realizado empleando metodologías de colaboración virtual debido a las restricciones públicas impuestas por la contingencia de la covid-19. Ello limitó la realización de pruebas en vuelo a fin de valorar su rendimiento. Pese a no haberlas realizado, los resultados permitieron verificar la funcionalidad plena del sistema. Se esperaría, una vez pase la emergencia sanitaria global, validar el rendimiento del sistema mediante pruebas más exhaustivas en campo.

Teniendo en cuenta el bajo costo de desarrollo y la compatibilidad con las tecnologías COTS, se abre la posibilidad de invertir e incorporar sensores de mejor resolución y otro tipo de variables que permitan análisis más especializados y de diferentes áreas del interés. Por lo anterior, es posible configurar estas plataformas como un dispositivo multipropósito.

Los CANSAT tienen potencial para ser explotados en apoyo a la investigación alrededor la agricultura de precisión y otras tecnologías emergentes, por ejemplo, al desarrollo de la industria 4.0 por su uso en sistemas embebidos, el procesamiento digital de imágenes y el *Internet of Things* (IoT).

Agradecimientos

Especiales agradecimientos a Santiago Vélez Casallas, quien desarrolló el código implementado en el CANSAT para agricultura de precisión. A los profesores, David Pineda y Jorge Elías Montoya, por su valioso apoyo

durante el desarrollo del picosatélite, al semillero Voyager del programa de Ingeniería Aeroespacial y a su rama de agricultura de precisión. Por último, agradecemos a la corporación Cipsela por su apoyo y asesoría.

Declaración de conflicto de interés: Los autores no manifiestan conflictos de interés institucionales ni personales.

Referencias

- Anchino, L. A., Torti, A. F., Dovis, E. M., Bernardi, E., & Podadera, R. (2019). Implementación de una Plataforma de Desarrollo CANSAT Multipropósito. *Elektron*, 3(2), 120-127. <https://doi.org/10.37537/rev.elektron.3.2.93.2019>
- Baran, E., Canbazoglu-Bilici, S., Mesutoglu, C., & Ocak, C. (2019). The impact of an out-of-school STEM education program on students' attitudes toward STEM and STEM careers. *School Science and Mathematics*, 119(4), 223-235. <https://doi.org/10.1111/ssm.12330>
- Bhad, B., & Akant, K. (2019). *Experimental CANSAT for Measurement of UV Radiation*. International Conference on Emerging Trends in Engineering and Technology, ICETET, 19-22. <https://doi.org/10.1109/ICETET-SIP-1946815.2019.9092213>
- Cabuya, G. (2020). *Aerospace Colombia Ganadores CANSAT 2020*. Colegio empresarial Los Andes. <https://colegioempresarial.edu.co/aerospace-colombia-ganadores-CANSAT-2020/>
- Cabuya, G. (2021, 30 de marzo). *CANSAT 2020*. AESS Colombia. <https://aesscolombia.blogspot.com/p/CANSAT-colombia-2020.html>
- Candiago, S., Remondino, F., De Giglio, M., Dubbini, M., & Gattelli, M. (2015). Evaluating multispectral images and vegetation indices for precision farming applications from UAV images. *Remote Sensing*, 7(4), 4026-4047. <https://doi.org/10.3390/rs70404026>
- Carrasco-Ríos, L. (2009). Efecto de la radiación ultravioleta-b en plantas. *Idesia (Arica)*, 27(3), 59-76. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292009000300009>
- Centro de Investigación en Ciencias de Información Geoespacial [CentroGeo]. (s. f.). *Percepción Remota*. CentroGeo. <https://www.centrogeo.org.mx/investigacion/percepcion-remota>
- English, L. D., & King, D. T. (2015). STEM learning through engineering design: fourth-grade students' investigations in aerospace. *International Journal of STEM Education*, 2(1), 1-18. <https://doi.org/10.1186/s40594-015-0027-7>
- European Space Agency [ESA]. (s. f.). *ESA - What is a CANSAT?* http://www.esa.int/Education/CANSAT/What_is_a_CANSAT
- Faroukh, Y. M., AL-Ali, A. A. M. A., Adwan, A. O., Alhammadi, A., Shaikh, M. M., Faroukh, A. M., & Femini, I. (2019, Julio). *Environmental Monitoring using CANSAT*. 2019 6th International Conference on Space Science and Communication (IconSpace) (pp. 239-244). IEEE. <https://doi.org/10.1109/IconSpace.2019.8905942>
- Finagro. (2021). *El momento del Agro*. <https://www.finagro.com.co/noticias/el-momento-del-agro>
- General Wire Spring Company. (s. f.). *Conical compression springs*. <https://www.generalwirespring.com/conical-compression-springs.html>
- Honrado, J. L. E., Solpico, D. B., Favila, C. M., Tongson, E., Tangonan, G. L., & Libatique, N. J. C. (2017). *UAV imaging with low-cost multispectral imaging system for precision agriculture applications*. GHTC 2017 - IEEE Global Humanitarian Technology Conference, Proceedings, 1-7. <https://doi.org/10.1109/GHTC.2017.8239328>
- Jaramillo, O. A., & Briñez, R. C. (2019). Design of a CANSAT for measuring environmental variables. *Revista Especializada en Tecnología e Ingeniería*, 13(2), 31-38. <https://core.ac.uk/download/pdf/322589509.pdf>
- Matplotlib. (s. f.). *Matplotlib: Visualization with Python*. <https://matplotlib.org/>
- Metternicht, G. (2003). Vegetation indices derived from high-resolution airborne videography for precision crop management. *International Journal of Remote Sensing*, 24(14), 2855-2877. <https://doi.org/10.1080/01431160210163074>
- Molla, W. (2018). *Design and development of CANSAT: Transmit weather data from troposphere level to the ground station*. Addis Ababa University. <http://213.55.95.56/bitstream/handle/123456789/15777/Waleligne%20Molla.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Mouser Electronics. (s. f.). *DHT11 Humidity & Temperature Sensor* [Archivo PDF]. <https://www.mouser.com/datasheet/2/758/DHT11-Technical-Data-Sheet-Translated-Version-1143054.pdf>
- Nordic Semiconductor. (2008). *nRF24 Single Chip Transceiver* [Archivo PDF]. https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/SMD/nRF24L01Plus_Preliminary_Product_Specification_v1_0.pdf

- OmniVision Technologies Inc. (s. f.). *OV7670 Datasheet* [Archivo PDF]. <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/312420/OMNIVISION/OV7670.html>
- Parody, A., & Zapata, E. de J. (2018). Agricultura de precisión en Colombia utilizando teledetección de alta resolución. *Suelos Ecuatoriales*, 48(1-2), 41-49. http://unicauca.edu.co/revistas/index.php/suelos_ecuatoriales/article/view/94
- PJRC. (s. f. a). *Teensy 3,5 Development Board*. <https://www.pjrc.com/store/teensy35.html>
- PJRC. (s. f. b). *Teensy Software Setup*. <https://www.pjrc.com/teensy/tutorial.html>
- Python. (s. f.). *Tkinter-Python interface to Tcl/Tk*. <https://docs.python.org/es/3/library/tkinter.html>
- Rodríguez, J. S., Botero, A. Y., Lopera, D. V., Gálvez, J., & Botero, F. (2021). Experimental approach for the evaluation of the performance of a satellite module in the CANSAT form factor for in-situ monitoring and remote sensing applications. *Hindawi International Journal of Aerospace Engineering*, 1-31. <https://www.hindawi.com/journals/ijae/2021/8868797/>
- Sparkfun. (s. f.). *Arduino Comparison Guide*. https://www.sparkfun.com/advanced_arduino_comparison_guide
- Tjandra, K. (2020). *CANSAT 2020 Preliminary Design Review (PDR) Outline Team ID 1360*. Manchester CANSAT Project. http://www.CANSATcompetition.com/docs/teams/CANSAT2020_4920_pdr_v01.pdf
- Tortora, P. G. (1996). *Fairchild's Dictionary of Textiles*. Bloomsbury Academic.
- Trivelli, L., Apicella, A., Chiarello, F., Rana, R., Fantoni, G., & Tarabella, A. (2019). From precision agriculture to Industry 4.0: Unveiling technological connections in the agrifood sector. *British Food Journal*, 121(8), 1730-1743. <https://doi.org/10.1108/BFJ-11-2018-0747>
- Tzinis, I. (2015). *NASA official website*. https://www.nasa.gov/directorates/heo/scan/engineering/technology/txt_accordion1.html
- U-blox. (2017). NEO-6 u-blox 6 GPS Modules. *U-blox*, 25. [https://www.u-blox.com/sites/default/files/products/documents/NEO-6_DataSheet_\(GPS.G6-HW-09005\).pdf](https://www.u-blox.com/sites/default/files/products/documents/NEO-6_DataSheet_(GPS.G6-HW-09005).pdf)
- Universidad Nacional Autónoma de México [UNAM]. (s. f.). *¿Qué es un CANSAT?* Programa Espacial Universitario. <http://peu.unam.mx/descripcionCANSAT.html>
- Vishay Semiconductors. (2019). *Designing the VEML6070 UV Light Sensor*. <https://www.vishay.com/docs/84310/designingveml6070.pdf>
- Wertz, J. R., Everett, D. F., & Puschell, J. J. (2011). *Space mission engineering: The new SMAD*. Microcosm Press.
- Yang, W., Wang, S., Zhao, X., Zhang, J., & Feng, J. (2015). Greenness identification based on HSV decision tree. *Information Processing in Agriculture*, 2(3-4), 149-160. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2015.07.003>

Programa Artemis: acuerdos y tecnologías para la exploración y explotación de la Luna

| Fecha de recibido: 2 de julio del 2021 | Fecha de aprobación: 27 de septiembre del 2021 |

Edgar Leonardo Gómez Gómez

Magíster en Ingeniería de Telecomunicaciones

Docente, Universidad Distrital
Francisco José de Caldas
Colombia

Grupo de Investigación de Nuevas Tecnologías
de Aplicación Social (GIDENUTAS)

Rol del investigador: teórico,
experimental y escritura

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

✉ elgomezg@udistrital.edu.co

Laura Camila Ruiz Pedroza

Estudiante del Doctorado en
Derecho Aeroespacial

Universidad de Buenos Aires
Argentina

Rol de la investigadora: teórico,
experimental y escritura

<https://orcid.org/0000-0001-6327-5798>

✉ lcruizp@hotmail.com

Cómo citar este artículo: Gómez-Gómez, E., & Ruiz-Pedroza, L. (2021). Programa Artemis: acuerdos y tecnologías para la exploración y explotación de la Luna. *Ciencia y Poder Aéreo*, 16(2), 29-45. <https://doi.org/10.18667/cienciaypoderaereo.720>



Programa Artemis: acuerdos y tecnologías para la exploración y explotación de la Luna

Resumen: Este artículo tiene como objeto analizar el programa Artemis, liderado por NASA y desarrollado en compañía de otras agencias espaciales y socios, tanto privados, como estatales que buscan llevar nuevamente personas a la Luna, esta vez para iniciar un proceso de colonización y explotación de recursos como fase previa del proyecto a largo plazo para enviar humanos a Marte. El artículo se enmarca en el Derecho Internacional para analizar los principios de *pacta sunt servanda*, aplicables en el derecho espacial y sus respectivos efectos vinculantes, identificando elementos que son contrarios con la normativa internacional. Se inicia con un recuento de los esfuerzos por alcanzar la Luna, desde donde reaparecen ciertas lagunas jurídicas; luego, se presenta una visión general del programa y se especifican los puntos disímiles y comunes entre las normativas, además de mostrar las tecnologías desarrolladas para el programa como sistemas de lanzamiento; cápsula de transporte; estación orbital; vehículos Lunares; equipos para exploración y extracción de recursos Lunares; módulos habitables; entre otros. Como resultado se presenta una visión crítica frente al hecho de que un grupo reducido de países puedan apropiarse de los recursos Lunares, los cuales pertenecen a toda la humanidad, así como frente a su reserva de información. Se finaliza concluyendo que la comunidad internacional debe prestar atención a este programa y propender por el respeto, la firma y la ratificación de las normas establecidas desde la ONU, con el objetivo de que cualquier actividad relacionada con explotación de cuerpos celestes impacte positivamente a todo el planeta.

Palabras clave: acuerdos Artemis; colonización del espacio; derecho espacial; luna; recursos lunares; tecnologías espaciales.

Artemis Program: Agreements and Technologies for the Exploration and Exploitation of the Moon

Abstract: This paper reviews NASA's Artemis program, which was developed with other space agencies and private and state partners. The program seeks to take people to the moon once again, this time to colonize and exploit Lunar resources as the first stage to later send humans to Mars. The paper is grounded on International Law and examines the principles of *pacta sunt servanda* applicable to space law, identifying elements that run against international regulations. This work begins with a description of the attempts to reach the moon, where some loopholes can be spotted. Afterwards, we present an overview of Artemis and discuss its embedded regulations, as well as the technology that was particularly developed for the program, which includes launch systems, a transport capsule, an orbital station, Lunar vehicles, equipment for exploration and extraction of Lunar resources, and habitable modules, among others. As a result, we offer a critical vision of the program, considering that only a small group of countries could appropriate Lunar resources, although they belong to all of humanity. It is concluded that the international community should monitor this program and strive to respect, sign and ratify the norms established by the UN in an attempt to ensure that any activity related to the exploitation of celestial bodies could positively impact the entire planet.

Keywords: Artemis agreements; space colonization; space law; moon; lunar resources; space technologies.

Programa Artemis: acordos e tecnologias para a exploração e aproveitamento da Lua

Resumo: Este artigo tem como objetivo analisar o programa Artemis, liderado pela NASA e desenvolvido em companhia de outras agências espaciais e parceiras, privadas e estatais, que buscam levar pessoas novamente à Lua, desta vez para iniciar um processo de colonização e exploração de recursos, como uma fase preliminar do projeto de longo prazo para enviar humanos a Marte. O artigo está enquadrado no Direito Internacional para analisar os princípios do *pacta sunt servanda*, aplicáveis ao direito espacial e seus respectivos efeitos vinculantes, identificando elementos contrários às normas internacionais. Ele começa com um relato dos esforços para chegar à Lua, de onde reaparecem certas lacunas legais; mais tarde, é apresentada uma visão geral do programa e especificados os pontos divergentes e comuns entre os regulamentos, além de mostrar as tecnologias desenvolvidas para o programa como sistemas de lançamento; cápsula de transporte; estação orbital; veículos Lunares; equipamento para exploração e extração de recursos Lunares; módulos habitáveis; entre outros. Como resultado, apresenta-se uma visão crítica contra o fato de que um pequeno grupo de países pode se apropriar dos recursos Lunares, que pertencem a toda a humanidade, bem como de sua reserva de informação. Conclui que a comunidade internacional deve estar atenta a este programa e se empenhar pelo respeito, assinatura e ratificação das normas estabelecidas pela ONU, com o objetivo de que qualquer atividade relacionada à exploração de corpos celestes impacte positivamente todo o planeta.

Palavras-chave: acordos de Artemis; colonização do espaço; lei do espaço; lua; recursos lunares; tecnologias espaciais.

Apolo fue el programa con el cual, en la década de 1960, astronautas estadounidenses pisaron el suelo Lunar, iniciando así una serie de viajes con los que se ampliaron las fronteras del conocimiento sobre el espacio y la posibilidad de la humanidad de conquistarlo (Paine, 1969).

Tomando como base el conocimiento que dejaron las misiones del programa Apolo, un conjunto de países, agencias espaciales y empresas privadas, liderados por los Estados Unidos de América y representados por la NASA, han iniciado un programa con el que buscan llegar allí nuevamente, esta vez, con un propósito más ambicioso que pretende no solamente alcanzarla, sino permanecer en ella, extraer sus recursos y crear las condiciones necesarias para apoyar, a largo plazo, una misión que lleve al ser humano al planeta Marte. Este programa, por tener como predecesor al Apolo, recibe el nombre Artemis (Crane, 2019).

La diferencia clave radica en que se usarán tecnologías con más de cincuenta años de evolución y se explorará un rango más amplio de la superficie Lunar, llegando a lugares en los que nunca antes estuvo el ser humano (Chang, 2020). Esta exploración se hará con el propósito de conseguir recursos para alcanzar una presencia sostenida en el satélite natural, así como de desarrollar capacidades de autoabastecimiento y reutilización de elementos para lograr un proceso de colonización, lo que crea un nuevo modelo de negocio mundial basado en la explotación de recursos Lunares.

Para llevarlo a cabo, el programa se ha dividido en tres fases: Artemis I, en la que se realizará se realizará el lanzamiento del sistema de propulsión acoplado con la cápsula de transporte no tripulada, con el propósito de probar su funcionamiento en el despegue, su comportamiento en el espacio durante el recorrido hacia la Luna y sus condiciones de desempeño en el regreso a la atmósfera terrestre. Se espera transportar solamente equipo de medición y toma de datos, además de varios *cubesats* que serán liberados en la órbita con la misión de tomar la mayor cantidad de datos del ambiente Lunar.

Artemis II, a realizarse en el 2023, se involucrarán los primeros humanos, quienes irán a bordo de la

cápsula de transporte impulsada por el sistema probado en Artemis I. Esta vez, la cápsula se dirigirá hacia la Luna y la orbitará mientras los tripulantes de la cápsula realizan todo tipo de pruebas de navegación, desempeño y maniobrabilidad en una misión de aproximadamente 10 días. Esta fase servirá para poner a punto todos los sistemas que permitirán crear un canal de transporte seguro y confiable entre la tierra y la órbita Lunar.

Finalmente, Artemis III será el resultado de todas las pruebas y aprendizaje adquirido durante Artemis I y II. Esta se realizará en el 2024, cuando, una vez más, la cápsula de transporte esté tripulada, pero, esta vez, con el propósito de descender en la superficie Lunar (NASA, 2020a). Con esto se espera poner a prueba y determinar las condiciones de desempeño del sistema de alunizaje y de los primeros equipos de exploración sobre la superficie. La tripulación estará una semana realizando experimentos de investigación y recolectando muestras de la superficie, las cuales serán traídas a la tierra para un análisis más profundo. Durante su permanencia allí, vivirán en la cápsula del sistema de alunizaje, el cual, después de esta semana de trabajo, los llevará de vuelta a la órbita Lunar, donde abordarán la cápsula que los traerá de regreso a la tierra (NASA, 2020b).

Una vez se completen las tres primeras fases del programa, se tendrá la certeza de haber desarrollado y probado los equipos necesarios para llevar y traer humanos y carga entre la tierra y la Luna. Con este corredor de transporte creado, iniciarán nuevas misiones que busquen establecer una presencia permanente de humanos en la superficie Lunar.

Con la intención de alcanzar y colonizar la Luna, no se puede ignorar el hecho de que en la actualidad existe una normativa específica proferida por la ONU que pretende regular actividades de este tipo. Esta regulación ha sido ratificada solamente por algunos países, lo cual, a juicio de los autores, se convierte en un problema para su aplicación. Dentro de este conjunto de normas están el Tratado del Espacio (1967) y el Acuerdo de la Luna (1979) (UNOOSA, 2017). Tampoco se pueden ignorar las reacciones en contra del programa de algunos

países considerados potencias espaciales no firmantes de Artemis. Esto se constituye en la principal motivación para la elaboración de este documento.

Teniendo en cuenta lo anterior, este artículo pretende resolver la siguiente pregunta de investigación: Considerando las características tecnológicas y las normativas para el desarrollo del programa Artemis, ¿qué tipo de brechas jurídicas podrían existir entre los acuerdos firmados por un grupo reducido de países y el derecho internacional contenido en documentos rectores del derecho espacial, como el Tratado del Espacio y el Acuerdo de la Luna, elaborados por la ONU?

Así las cosas, el artículo inicia con una descripción detallada de la arquitectura tecnológica que está siendo desarrollada en el ámbito global para este programa, así como con un análisis de la normativa existente en el Derecho Internacional referente a la exploración Lunar. Luego se presenta una descripción general del programa, incluyendo su normativa enmarcada en los denominados "Acuerdos Artemis". Con ello se establecen las conclusiones del artículo en las que se presenta una visión crítica por parte de los autores frente a las brechas jurídicas que existen entre estos acuerdos firmados por tan solo un puñado de países y el Derecho Internacional con documentos como el Tratado del Espacio y el Tratado de la Luna, elaborados por la ONU.

Tecnologías del Programa Artemis

A través del programa Artemis, la NASA se trazó los objetivos de explorar las regiones de la Luna inexploradas, volver a al satélite natural robóticamente en el 2021, llevar personas nuevamente a su superficie para el 2024 y establecer hábitats humanos permanentes en nuestro cuerpo celeste para el final de la década (NASA, 2020b); para ello, el grupo de empresas y agencias colaboradoras del programa, están trabajando en el desarrollo de nuevas tecnologías. El alcance de este programa es mucho más ambicioso que cualquiera que se haya desarrollado antes, por lo que los equipos hasta ahora usados

para alcanzar el espacio no son suficientes. Es necesario diseñarlos especialmente para lograr la misión. En esta sección del artículo se hará una descripción de aquellas tecnologías en desarrollo.

Arquitectura tecnológica del Programa Artemis

Llevar astronautas nuevamente a la superficie Lunar, a 400.000 km de la tierra y establecer una presencia permanente de seres humanos requiere un enorme esfuerzo de ingeniería y desarrollo tecnológico, así como de la creación de nuevos procesos económicos, técnicos y administrativos. Dicho trabajo no será realizado solamente por NASA, ya que una coalición de empresas privadas, Estados con sus agencias espaciales y la academia están unificando esfuerzos a una escala global para lograrlo. Laboratorios de investigación y desarrollo en el contexto global están creando la tecnología necesaria para cumplir la misión proyectada. Entre los países involucrados se encuentran Alemania, Australia, Bélgica, Canadá, Corea del Sur, Dinamarca, Emiratos Árabes, España, Estados Unidos, Francia, Holanda, Inglaterra, Italia, Japón, Luxemburgo, Noruega, Nueva Zelanda, Suecia, Suiza y Ucrania (NASA, 2020; ESA, 2021; JAXA, 2019; CSA, 2020; ASA, 2020; SpaceX, 2020). Es importante resaltar que Corea del Sur, Nueva Zelanda y Brasil son los países que más recientemente firmaron los acuerdos, el 24 y 31 de mayo y el 15 de junio del 2021, respectivamente.

Lo primero que se necesita es un sistema de lanzamiento que permita elevar una cápsula de transporte especialmente diseñada para llevar personas y gran cantidad de equipo abordo, hasta alcanzar una estación que estará orbitando la Luna. Este sistema debe tener la capacidad de ser lanzado una y otra vez, y servirá como elemento de transporte permanente. La estación orbital servirá como compuerta de entrada y salida del satélite natural. Una vez las personas y la carga sean puestas en la estación orbital por la cápsula de transporte, se requiere un sistema de aterrizaje para poder descenderlos con aceptables niveles de

seguridad operacional hasta la superficie (Evans & Graham, 2020). Ya en la superficie, es necesario contar con tecnologías como vehículos para la movilidad, equipos de exploración, producción de alimentos, vivienda,

telecomunicaciones, entre otros. La figura 1 muestra un diagrama de bloques con los elementos tecnológicos más significativos del sistema y, a continuación, se presentará una reseña de cada uno.

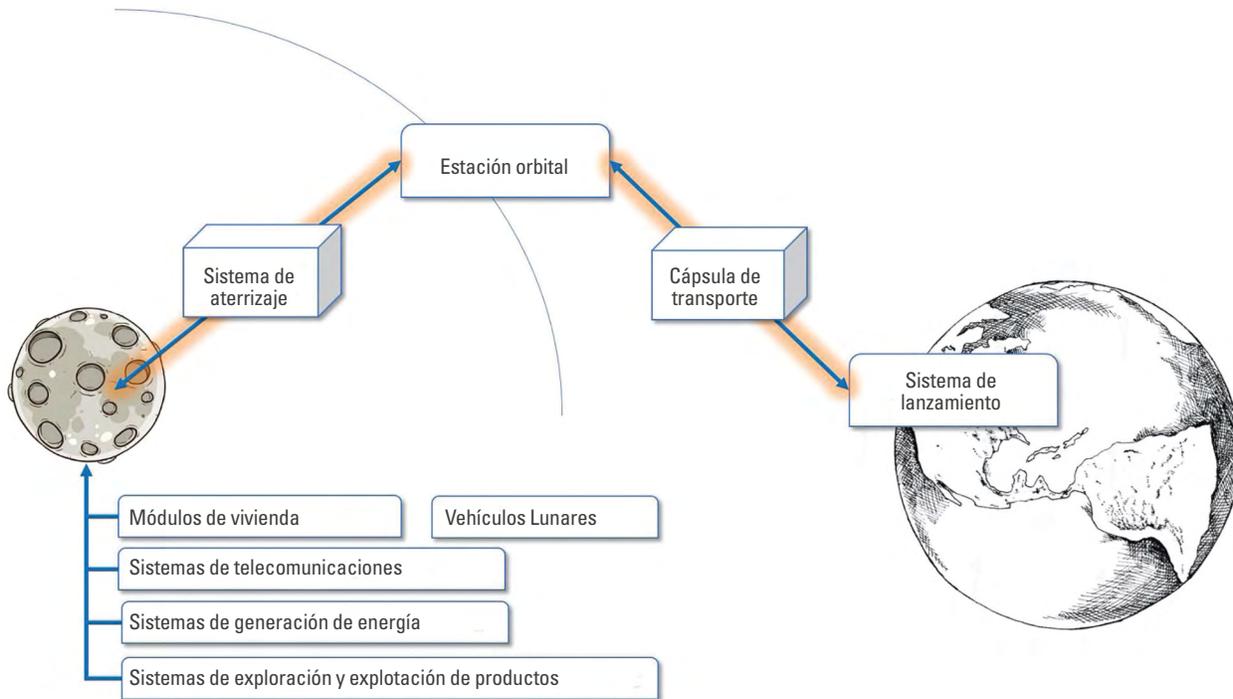


Figura 1. Diagrama de tecnologías del programa Artemis

Fuente: elaboración propia.

Sistema de lanzamiento

El potente sistema de lanzamiento ha sido denominado por la NASA como *Space Launch System* (SLS) (NASA, 2021a). Está diseñado para elevar la cápsula de transporte que llevará humanos y carga hasta la estación orbital una y otra vez, durante las tres fases del programa. Llevará una cápsula no tripulada hasta la órbita terrestre, mediante la cual alcanzará poco a poco la órbita Lunar, en un viaje de aproximadamente 450.000 km. Este será el vuelo inaugural con el cual se espera estudiar su rendimiento y recopilar datos de ingeniería sobre el mismo (Peet, 2021). El SLS está conformado por seis propulsores, de los que cuatro son de combustible líquido RS-25 y dos de combustible sólido; por un núcleo central masivo y una etapa de propulsión criogénica interna que le darán un empuje de

8,8 millones de libras, necesarias para llevar la cápsula de transporte hasta la órbita terrestre (NASA, 2020b). Durante la fase de despegue, en tan solo 8 minutos, los cuatro motores RS-25 quemarán 735.000 galones de propulsor líquido y los cohetes gemelos más de dos millones de libras de propulsor sólido. Después de agotado el combustible en los seis propulsores y en la etapa central, se dejarán caer para liberar su peso en la fase final del ascenso a la órbita. Luego de su liberación, entra a operar la etapa de propulsión criogénica ubicada en su parte superior, la cual llevará la cápsula de transporte a casi 160 km sobre la superficie terrestre, acelerando a más de 28.000 km/h para alcanzar una órbita LEO, que usará para hacer el último movimiento de ascenso, denominado *Inyección TransLunar* (TLI) y es la maniobra clave que hace posible enviar a la cápsula de transporte a 450.000 km más allá de la tierra y alcanzar

la órbita Lunar de una manera segura, transportando humanos, lo cual nunca se había realizado antes en la historia de la tecnología espacial (Wang *et al.*, 2021). El SLS no lleva combustible adicional o sistema de propulsión necesarios para devolver cualquier etapa a la tierra para su reutilización. La figura 2 muestra una

vista expandida del SLS. A la fecha de elaboración de este artículo, todos los elementos mencionados habían completado satisfactoriamente pruebas previas realizadas en el Marshall Space Flight Center (Alabama) y Stennis Space Center (Missisipi) (NASA, 2021a; CSA, 2020).

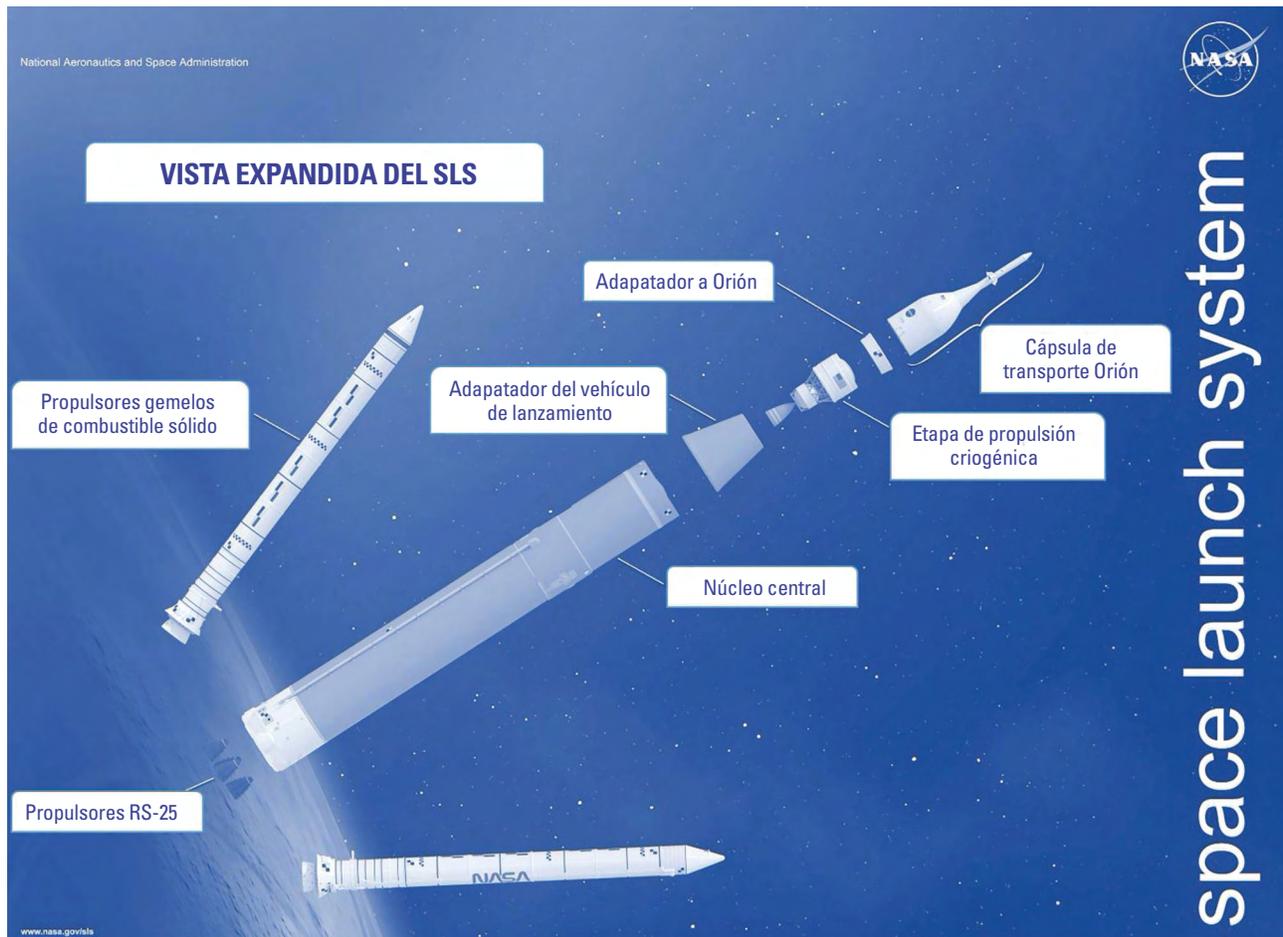


Figura 2. Sistema de lanzamiento espacial (SLS)

Fuente: imagen modificada por los autores con base en Mohon (2020).

Cápsula de transporte

La cápsula de transporte ha sido denominada Orión. La fase de diseño ya fue llevada a cabo, y a septiembre del 2021, fecha de elaboración de este artículo, ya se estaban desarrollando las últimas etapas de pruebas y desarrollo. Se han realizado satisfactoriamente las pruebas de impacto contra el agua; escudo térmico; paracaídas; sistema de montaje vertical; sistema de aborto de

lanzamiento; pruebas estructurales del módulo de servicio; propulsión del módulo de servicio; pruebas estructurales generales; presión; encendido; ciclos térmicos; integración del módulo de servicio y el módulo de tripulantes; simulaciones de control de misión; entre otras (NASA, 2020b). En la figura 3 se presenta una de las pruebas realizadas. La intención es que Orión sea utilizada para transportar su tripulación humana hasta la estación orbital, que estará especialmente diseñada

para unirse a esta mediante sus puertos de atraque. Una vez se haya acoplado a la estación orbital, sus ocupantes podrán abordar el módulo del sistema de aterrizaje para alcanzar la superficie Lunar. En el momento que estos astronautas vuelvan a la tierra, deberán alcanzar, en primer lugar, la estación orbital desde la superficie gris, donde abordarán nuevamente la cápsula Orión, que los traerá de regreso a la atmósfera terrestre (ESA, 2021a).



Figura 3. Pruebas a la cápsula Orión

Fuente: Damadeo (2021).

Orión ha sido diseñada para transportar cuatro tripulantes humanos, a quienes les dará energía, agua, aire, propulsión, electricidad y estará impulsada por el módulo de servicio proporcionado por la Agencia Espacial Europea (ESA), construido en la ciudad de Bremen, Alemania (ESA, 2021b; Basu *et al.*, 2021). En su fase de despegue y aterrizaje en la tierra, la cápsula navegará usando los satélites de la constelación GPS y el sistema de retransmisión de datos de seguimiento (TDRS) de la red espacial de la NASA. Una vez supere el rango de acción de estos dos sistemas, navegará usando la red de espacio profundo (DSN), que será la que le proporcione los servicios de navegación y telecomunicaciones cuando la cápsula esté viajando hacia y alrededor de la Luna (NASA, 2020b).

Después de ser llevada por el sistema SLS lejos del efecto gravitacional de la tierra, el control de Orión es posible gracias a los motores de propulsión del módulo de servicio desarrollado por la ESA. Son un total de 33 motores que le proporcionan el empuje necesario para maniobrar la cápsula en todos los ejes. El motor principal es reutilizado del transbordador espacial que ya viajó antes al espacio. Este proporciona 25.700 N y le

permite hacer movimientos de cabeceo y guiñada. Adicional a este, la cápsula cuenta con ocho propulsores de respaldo que le proporcionan 490 N cada uno. Estos van fijados en la parte inferior del módulo de servicio para proporcionar correcciones de órbita y como respaldo del motor principal. Finalmente, se le instalaron 24 motores más pequeños agrupados en seis módulos que le proporcionan control de actitud. Se pueden accionar individualmente según sea necesario para mover la cápsula en diferentes posiciones y rotarla a cualquier ángulo. El propulsor es provisto por cuatro tanques de 2.000 litros de óxidos mixtos de nitrógeno (MON) como oxidante y monometilhidrazina (MMH) como combustible. Los tanques tienen un cm de espesor, mantienen una presión de 25 bar y tienen la capacidad de contener nueve toneladas de combustible (NASA, 2020a).

En el 2021 se harán las primeras pruebas del sistema completo mediante una misión no tripulada que llevará la cápsula hasta la órbita Lunar para analizar sus capacidades y desempeño. Durante estas pruebas la cápsula será sometida a velocidades similares a Mac32 o 39.000 km/h y a temperaturas por encima de los 2.700 °C (Lin *et al.*, 2019), casi la mitad de la temperatura de la superficie del sol. Una vez de regreso dentro de la atmósfera terrestre, usará su sistema de 11 paracaídas para disminuir la velocidad alrededor de 32 km/h y permitirle, junto con los astronautas en su interior se posen suavemente sobre el océano, donde el equipo de recuperación estará posicionado para sujetarla (NASA, 2020b).

La estación orbital (*The Gateway*)



Figura 4. Ilustración de la estación orbital siendo alcanzada por Orión

Fuente: NASA Johnson (2021).

La estación orbital, denominada por la NASA como *The Gateway*, es la compuerta de entrada a la Luna dentro del proyecto Artemis. Está diseñada para orbitar permanentemente alrededor del satélite natural y es un espacio de intercambio e investigación para las tripulaciones que lleguen desde la tierra en la cápsula Orión. Como se ve en la figura 4, tiene un puerto de atraque compatible con Orión, así que las tripulaciones pueden ingresar para luego acceder al módulo de sistema de aterrizaje que les permitirá descender hasta la superficie Lunar. Esto da flexibilidad para la planeación de las misiones, puesto que la estación puede ser usada como punto intermedio para misiones humanas o robóticas a la Luna, pero también, a largo plazo, como punto de parada durante el viaje al planeta rojo, Marte. Si bien es una estación más pequeña que la *International Space Station*, se están tomando las lecciones aprendidas de esta última para implementar una arquitectura Lunar en la que múltiples proveedores pueden proporcionar complementariamente sus capacidades para aumentar su rendimiento y desempeño en general (NASA, 2020c; Ashok *et al.*, 2021).

La estación está compuesta por dos módulos principales: el elemento de potencia y propulsión (*Power and Propulsion Element*, PPE) y el puesto avanzado de vivienda y logística (*Habitation and Logistics Outpost*, HALO), los cuales serán integrados en la tierra y llevados a la órbita Lunar simultáneamente en el 2023. El PPE proporciona energía eléctrica, control, empuje y telecomunicaciones y es tres veces más potente que los usados en la actualidad. El módulo HALO será la cabina inicial para los astronautas que la visiten y su objetivo es suplirles las necesidades básicas de soporte vital mediante capacidades de comando y de control; manejo de datos; almacenamiento de energía; control térmico y ambiental (ESA, 2019).

Los módulos están siendo construidos en Estados Unidos (NASA, 2020b), los sistemas robóticos para la estación están siendo desarrollados por la Agencia Espacial Canadiense (CSA, 2021) y el hábitat internacional es responsabilidad de la Agencia Espacial Europea (ESA, 2019). Este último incluye capacidades de comunicación adicionales, una exclusiva para implementar cargas útiles científicas y *cubesats* (Malphrus *et*

al., 2021), así como reabastecimiento de combustible. La Agencia para la Exploración Aeroespacial Japonesa (JAXA, 2019b) también está involucrada en la estación orbital con la implementación de componentes habitacionales y de reabastecimiento logístico. Una vez en órbita, la estación tendrá varios puertos de atraque para vehículos visitantes y futuros módulos, así como espacio para las actividades propias de la misión Artemis y la investigación.

Estas investigaciones científicas tienen la particularidad que se realizarán en el espacio profundo, fuera de la protección de los cinturones de Van Allen y sus prioridades se relacionan con la respuesta del cuerpo humano a una presencia prolongada en el espacio profundo y en temas como heliofísica, radiación y clima espacial (Kistler *et al.*, 2021; Brown *et al.*, 2021). Las dos primeras cargas útiles serán un paquete de instrumentos de radiación proporcionado por la ESA y un conjunto de instrumentos meteorológicos espaciales proporcionado por NASA (NASA, 2020b).

Sistema de aterrizaje

La principal misión de este sistema es permitirle a la tripulación humana viajar de manera segura desde la estación orbital a la superficie Lunar y de regreso, por esto se ha denominado *Human Landing System* (HLS). Este será diseñado y puesto en funcionamiento por socios comerciales de la NASA. Inicialmente se presentaron tres propuestas de las compañías Blue Origin, Dynetics y SpaceX, quienes tenían la libertad de diseñarlo como un sistema integrado a la estación orbital, pero que funcione sin necesidad de acoplarse a esta, con el fin de hacer más sencillos los primeros alunizajes al acoplarse directamente a la cápsula Orión (NASA, 2020b).

El 16 de abril del 2021, la NASA anunció la selección de SpaceX para construir el sistema de aterrizaje para humanos, basado en su diseño llamado *Starship*, que incluye la nave espacial, un cohete de lanzamiento superpesado, la entrega de propulsores, acople a los otros componentes de Artemis y aterrizaje planetario con capacidad de ser reutilizable. Estará impulsado por motores de combustión por etapas *Raptor*

que usan como propelentes metano líquido densificado y oxígeno líquido (Methalox), generando un empuje de 440.000 libras fuerza, equivalentes a 2.000.000 N (SpaceX, 2021). Al descender sobre la Lunar, *Starship* transportará a la tripulación y todos los suministros, equipos y cargas útiles científicas necesarias para explorar la superficie; contará con sistemas de aviónica, de guía y de navegación probados anteriormente en otras cápsulas de la compañía *Falcon* y *Dragon*, así como capacidades autónomas de encuentro, atraque y aterrizaje de precisión (SpaceX, 2021).

En su primera misión, a realizarse en el 2024, se espera que de la tierra despeguen cuatro astronautas a bordo de la cápsula Orión, impulsados por el sistema SLS, en un viaje de varios días a la órbita Lunar. Allí, dos miembros de la tripulación, una mujer y un hombre de color, se trasladarán al HLS de SpaceX: la *Starship*, para el tramo final de su viaje a la superficie de la Luna. Después de casi una semana explorando la superficie, abordarán el *Starship* nuevamente para su corto viaje de regreso a la órbita, donde ingresarán a Orión, se encontrarán con sus colegas y emprenderán el viaje de regreso (SpaceX, 2021).

Equipo para exploración y extracción de recursos Lunares

El uso de estos quipos se proyecta para el mediano plazo, una vez se haya cumplido el objetivo de poner humanos sobre la superficie Lunar en el 2024, donde no había llegado la especie desde 1972, lo que implica que la tecnología a usar en la superficie será 50 años más avanzada y permitirá a los astronautas alcanzar lugares de la Luna que no se exploraron antes (Díaz-Martínez *et al.*, 2021).

Al conjunto de sistemas se le ha denominado *Exploration Ground Systems* (EGS) y una de las tareas más importantes que tendrá en las primeras etapas de la misión Artemis, será la de gestionar el despegue que le permitirá al HLS regresar a la tripulación hasta la órbita Lunar. Esto lo hará mediante un lanzador móvil que ya fue diseñado, construido y sometido a pruebas integradas en las instalaciones terrestres de la NASA, a través de cuales se concluyó que el equipo está listo

para el lanzamiento y puede resolver cualquier tipo de problema en tiempo real (SpaceX, 2021; NASA, 2020b). La tecnología de exploración es indispensable para apoyar el aterrizaje y el despegue en la superficie Lunar, siendo una pieza clave para garantizar el éxito de la misión Artemis. Vale la pena recordar que, a largo plazo, los resultados de Artemis serán la base para enviar humanos a Marte y, para esto, el recurso Lunar es indispensable.

Con los elementos que conforman el corazón del programa Artemis desarrollados y puestos en funcionamiento: el SLS, Orión, la estación orbital y el HLS, Estados Unidos ha incentivado a la industria privada y a la academia para que se vean inmersos en el desarrollo de tecnologías, capacidades y modelos de negocio que involucren la explotación de los recursos lunares. Con esto, la NASA busca estimular y diversificar el mercado, espera crear un modelo sostenible de consecución de recursos en el largo término, el cual sea extensible al programa que buscará llevar seres humanos a Marte (USRA, 2020; Colvin *et al.*, 2020).

El objetivo inicial será establecer un campamento base en la Luna, más específicamente en su polo sur, para el cual se requieren tres elementos fundamentales (NASA, 2020c):

1. **Plataforma de movilidad habitable:** denominada *Habitable Mobility Platform* (HMP), será un tipo de rover presurizado que tendrá el doble propósito de servir como módulo de vivienda y como vehículo de desplazamiento de largas distancias. Este permitirá ampliar las distancias recorridas y llegar a lugares nunca antes visitados para su exploración y la consecución de fuentes de recursos Lunares.
2. **Vehículo despresurizado para el terreno Lunar:** denominado *Lunar Terrain Vehicle* (LTV), es un elemento para transportar astronautas por la superficie mientras están usando su traje presurizado. Las distancias por recorrer son más cortas que las del HMP, ya que la supervivencia de sus pasajeros dependerá exclusivamente de sus trajes. Tendrá la capacidad de ser operado a distancia, lo que le permitirá también ser un vehículo para el transporte de carga y recursos.

3. **Hábitat de superficie:** denominado *Foundation Surface Habitat* (FSH), tendrá la capacidad para albergar a cuatro personas hasta por 60 días. Al ser los primeros módulos de vivienda implementados, se constituyen en un elemento fundamental para que se establezca una presencia humana permanente en el polo sur Lunar, al tiempo que se va aprendiendo de esta experiencia para la planeación de misiones a lugares más alejados del sistema solar.



Figura 5. Modelo del vehículo Lunar VIPER en el laboratorio de pruebas del Glenn Research Center
Fuente: NASA (2020a).

Una vez garantizada la supervivencia de seres humanos en este lugar, se desarrollará un escenario adecuado para la exploración y explotación de recursos Lunares (Heinicke *et al.*, 2021). A esta iniciativa se le ha denominado *The Lunar Surface Innovation Initiative* (LSII). La tecnología en desarrollo involucra sistemas de aterrizaje robóticos; módulos de vivienda; rovers (vehículos para la exploración o el desplazamiento en la superficie Lunar); trajes espaciales versátiles; sistemas de telecomunicaciones; instrumentación para la medición del clima espacial; sistemas de generación de energía; herramientas para exploración, excavación y construcción; equipo para investigación; módulos *Space Launch System* de almacenamiento; infraestructura de apoyo; blindaje contra la radiación solar; tecnologías para la protección y mitigación del polvo Lunar (Nickels, 2021); sistemas de gestión de desechos y residuos; entre otros (NASA, 2020b; Melikhov *et al.*, 2021).

La extracción de recursos es un elemento importante para la misión, puesto que hacerlo puede disminuir la dependencia de los suministros enviados desde la tierra. Los recursos inicialmente se obtendrán con actividades de minería, sumadas al desarrollo de procesos térmicos y químicos que descompongan los minerales extraídos y los conviertan en materiales consumibles o propelentes. Adicionalmente, estos minerales se podrán procesar para la sintetización de metales para la construcción de hábitats u otras estructuras.

Normativa existente referente a la exploración Lunar

La ambición por la exploración, uso y explotación de la Luna no es nueva, así como tampoco lo es el hablar del tema, ya que dentro de la carrera espacial que hubo entre Estados Unidos y la Unión Soviética existió esta lucha por la conquista del satélite. Es por esto que tenemos los logros alcanzados por los rusos, con su programa Luna, y de los estadounidenses con su programa Apolo, en principio, a través de sondas y luego, con el alunizaje de los astronautas de la NASA Neil Armstrong, Edwin Aldrin y Michael Collins el 21 de julio de 1969: “Houston, aquí Base Tranquilidad, el águila ha alunizado” (Cortés, 2014).

Junto con el interés de la exploración y el descubrimiento de todo lo que rodea a la Luna, llegaron los intereses de los particulares, que intentaron apropiarse de algunos objetos del espacio ultraterrestre, como lo son la Luna y el sol. La primera intención en este sentido es tan antigua como la carrera espacial. Se puede decir que el primer y único propietario “legítimo” de la Luna fue Jenaro Gajardo Vega, abogado chileno (1919-1998), quien, mediante acta notarial, fechada el 25 de septiembre de 1954, en la ciudad de Talca, certificó que la Luna le había sido heredada de sus antepasados desde un siglo antes, todo con el fin de ingresar a un club social del cual fue rechazado por no ser dueño de propiedad alguna (Carnevale *et al.*, 2020).

Dicha acta reza:

Jenaro Gajardo Vera, abogado, es dueño, desde antes del año 1857, uniendo su posesión a la de sus antecesores, del astro, satélite único de la Tierra, de un diámetro de 3.475.00 km, denominada Luna y cuyos deslindes por ser esferoidal son: Norte, Sur, Oriente y Poniente, espacio sideral. Fija su domicilio en calle 1 oriente 1270 y su estado civil es soltero. Jenaro Gajardo Vera. Carné 1.487.45-K. Ñuñoa. Talca, 25 de septiembre de 1954 (Álvarez, 2021).

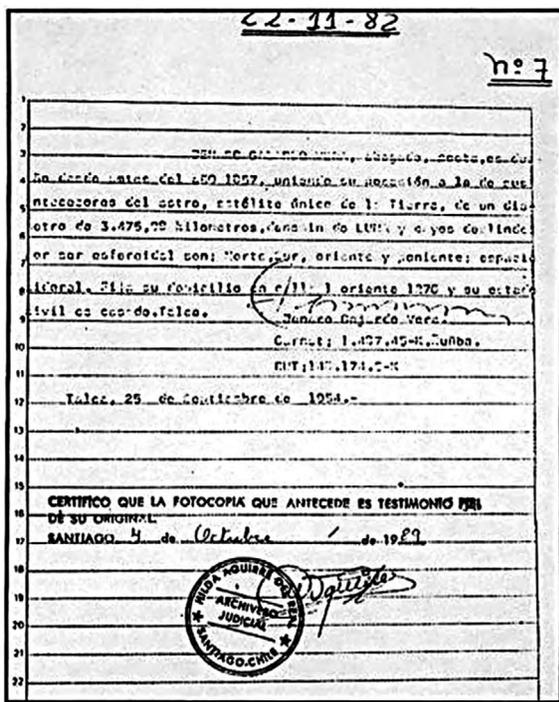


Figura 6. Acta notarial del dueño de la Luna
Fuente: Álvarez (2021).

De lo anterior se puede afirmar que no solamente las intenciones de apropiación de la Luna y otros cuerpos en el espacio se dan por los Estados, sino también por parte de particulares. Como fue mencionado en el artículo denominado “La nueva carrera por el dominio del espacio ultraterrestre”, de los autores Gómez y Ruiz (2020), esto puede convertirse en una disputa capaz de desatar una guerra entre países.

En escritos precedentes, los autores mencionamos que el Tratado del Espacio, proferido y ratificado

en la actualidad por 110 países (UNOOSA, 2020), da una apariencia de suficiencia en cuanto a su obligatoriedad, pero para la realidad actual se queda corto, toda vez que en este se menciona de manera general la forma en la que deben comportarse los países que quieran efectuar cualquier tipo de exploración espacial, los comportamientos que se espera se sigan y, en específico, que nadie puede apropiarse de la Luna o nada que se encuentre en el espacio exterior vía ocupación, declaración de soberanía, etc., reza el artículo II (UNOOSA, 2017).

En el mismo sentido fue establecido en el artículo 1o del Tratado del Espacio que:

La exploración y utilización del espacio ultraterrestre, incluso la Luna y otros cuerpos celestes, deberán hacerse en provecho y en interés de todos los países, sea cual fuere su grado de desarrollo económico y científico, e incumben a toda la humanidad. El espacio ultraterrestre, incluso la Luna y otros cuerpos celestes, estará abierto para su exploración y utilización a todos los Estados sin discriminación alguna en condiciones de igualdad y en conformidad con el derecho internacional, y habrá libertad de acceso a todas las regiones de los cuerpos celestes. El espacio ultraterrestre, incluso la Luna y otros cuerpos celestes, estarán abiertos a la investigación científica, y los Estados facilitarán y fomentarán la cooperación internacional en dichas investigaciones (UNOOSA, 2017).

No obstante lo anterior, la ONU, en 1979, profirió el “Acuerdo Luna”, el cual ha sido firmado por cuatro países y ratificado por otros 18, de los 193 que conforman la ONU, así:

Tabla 1
Requerimientos y restricciones de la misión

Acuerdo Luna	
Ratificación	Armenia, Australia, Austria, Bélgica, Chile, Kazajistán, Kuwait, Líbano, México, Marruecos, Holanda, Pakistán, Perú, Filipinas, Arabia Saudita, Turquía, Uruguay y Venezuela.
Firma	Francia, Guatemala, India y Rumania.

Fuente: UNOOSA (2020).

Con base en la información presentada en la tabla 1, es importante explicar que, según la Convención de Viena sobre el Derecho de los Tratados, las maneras para obligarse por parte de un Estado son firma, aceptación, canje de instrumentos que constituyan un tratado, aprobación, ratificación o las formas propias que se establezcan en cada tratado (OAS, 1969).

Ahora bien, si se observa el Acuerdo Luna, en los considerandos se manifestó:

Reconociendo que la Luna, como satélite natural de la Tierra, desempeña un papel importante en la exploración del espacio ultraterrestre, firmemente resueltos a favorecer, sobre la base de la igualdad, el desarrollo de la colaboración entre los Estados a los efectos de la exploración y utilización de la Luna y otros cuerpos

celestes, deseando evitar que la Luna se convierta en zona de conflictos internacionales (UNOOSA, 2017).

De lo anterior se puede colegir que el Acuerdo Luna recopila las finalidades del Tratado del Espacio en cuanto a los principios de cooperación internacional, no militarización del espacio, no apropiación, etc., y a su vez, determina de manera específica estos aspectos para el caso de la Luna. Es más, se puede afirmar de manera acertada que, en esencia, se duplica el articulado contenido en el Tratado del Espacio, solo que se menciona de manera específica al satélite.

Se evidenciará la disertación anterior a través de un cuadro comparativo entre las dos normativas, trayendo a colación los puntos que los autores consideran los principales y que inciden directamente en los Acuerdos Artemis:

Tabla 2
Comparativa entre el Tratado del Espacio y el Acuerdo Luna

Tratado del espacio	Acuerdo de la Luna
<p>Art. 1 Independientemente del nivel de desarrollo de cualquier país, bien sea científico o económico, la utilización y exploración del espacio ultraterrestre, incluyendo la Luna, tendrá que efectuarse en beneficio de todos los países, ya que esto incumbe a toda la humanidad. El espacio, incluyendo la Luna, podrá ser explorado y utilizado en su totalidad, por todos los estados sin excepción y de conformidad con el derecho internacional, bajo el principio de igualdad. Así mismo, los estados deberán fomentar, en las investigaciones, la cooperación internacional.</p>	<p>Art. 4 La utilización y exploración de la Luna es de interés de la humanidad en general, deberá efectuarse en provecho de todos los Estados sin importar su nivel de desarrollo científico y económico. Deberán tenerse en cuenta las necesidades e intereses de las generaciones actuales y futuras, también la necesidad de incrementar los niveles de vida y mejorar el progreso, desarrollo social y económico de los Estados de acuerdo con la carta de las Naciones Unidas.</p>
<p>Art. 2 El espacio exterior, incluyendo la Luna, no podrá ser apropiada por ningún estado, bien sea por reivindicación de soberanía, ocupación o uso, ni de ningún otro modo.</p>	<p>Art. 11 La Luna no puede ser apropiada por ningún Estado, por ningún medio, ni por reclamación de soberanía, por ocupación o uso. Ningún Estado podrá apropiarse de ninguna parte de la superficie Lunar, tampoco sus recursos naturales, así como tampoco podrán apropiarse las organizaciones, tanto gubernamentales, como no gubernamentales, entidades no gubernamentales u organizaciones nacionales, tampoco de personas físicas. La colocación de vehículos espaciales, personal, equipo, estaciones, material y, en general, las estructuras colocadas encima o debajo de la superficie Lunar, no crearán derechos de propiedad sobre ninguna parte de la Luna.</p>
<p>Art. 3 Los estados partes que hayan ratificado el tratado tendrán que efectuar sus actividades de utilización y exploración del espacio, incluyendo la Luna, de acuerdo con el Derecho Internacional, incluyendo la Carta de las Naciones Unidas, propendiendo por mantener la seguridad y la paz internacionales, así como también la comprensión y cooperación internacional.</p>	<p>Art. 2 La utilización y exploración de la Luna deberá realizarse de acuerdo con el Derecho Internacional y la Carta de las Naciones Unidas, también se tendrá en cuenta de manera especial la Carta de Naciones Unidas y, en general, los instrumentos aprobados por la Asamblea General, tendientes a mantener la seguridad, la paz, la cooperación internacional y la comprensión recíproca.</p>

Tratado del espacio	Acuerdo de la Luna
<p>Art. 4 Los Estados parte que hayan ratificado el tratado se obligarán a no colocar en órbita ningún objeto portador de armas nucleares o de armas de destrucción masiva, tampoco a emplazar dichas armas en los cuerpos celestes o el espacio exterior en ninguna forma. Los cuerpos celestes y la Luna tendrán que ser utilizados únicamente con fines pacíficos por todos quienes hayan ratificado el tratado. No se puede colocar en los cuerpos celestes instalaciones, bases y fortificaciones militares, tampoco ensayar armas de ningún tipo ni realizar maniobras militares. Se puede utilizar personal militar para investigación científica de manera pacífica, así como también se permite la utilización de cualquier medio o equipo necesario para explorar la Luna, siempre y cuando sea con fines pacíficos.</p>	<p>Art. 3 1. Los Estados parte, sin excepción, deberán utilizar la Luna únicamente de manera pacífica. 2. Queda prohibido amenazar o usar la fuerza, también cualquier tipo de amenaza o acto hostil en la Luna. También queda prohibida la utilización de la Luna para efectuar dichas actuaciones. Queda prohibida la utilización de la Luna para cometer actos hostiles o amenazar la tierra, las naves espaciales, la Luna u objetos espaciales artificiales. 3. Los Estados parte no podrán poner en órbita Lunar o en ninguna parte de su trayectoria, así como tampoco alrededor de ella, armas nucleares o portadores, ni armas de destrucción masiva, tampoco podrán utilizar dichas armas en la Luna o sobre ella.</p>
<p>Art. 7 Los Estados parte del tratado que efectúen lanzamiento de cualquier objeto al espacio exterior incluyendo la Luna, serán responsables internacionalmente por los daños que se cause a otro estado o a sus personas, bien sean naturales o jurídicas, por estos objetos o sus componentes en la Tierra, el espacio aéreo o el espacio exterior, incluyendo la Luna.</p>	<p>Art. 14 Los Estados parte del acuerdo son responsables, internacionalmente, de las actividades que se realicen nacionalmente en la Luna, bien sea por organismos o entidades, tanto gubernamentales, como no gubernamentales, también se debe asegurar que sea en concordancia con las disposiciones del acuerdo. También, los Estados parte deberán asegurar que las entidades no gubernamentales, bajo su jurisdicción, sean fiscalizados de manera constante por el estado parte concerniente.</p>

Fuente: UNOOSA (2017).

Visto lo anterior, se demostró que el contenido principal del Tratado del Espacio y del Acuerdo de la Luna es similar, se puede decir válidamente que tienen el mismo espíritu normativo, por lo tanto, ambos se rigen bajo los mismos principios. Al respecto, los autores siempre han sostenido que se requieren normas que sean vinculantes y claras en todos los aspectos o al menos en su mayoría, referentes a la exploración y explotación espacial; todo esto con miras a evitar cualquier tipo de conflicto internacional, como siempre los hemos visto desarrollarse en la tierra cuyos efectos son devastadores para la humanidad ¿Acaso ya nos recuperamos como humanidad de la Segunda Guerra Mundial?

Programa y acuerdos Artemis

Recordando el interés de la NASA para efectuar la exploración y la explotación Lunar, se crea el programa Artemis, el cual pretende llevar a una mujer a la Luna (la primera) y al hombre número 13, debido a que después de 1972 se suspendieron dichos viajes espaciales por la falta de presupuesto. Para esto se convino, entre

varios países, cumplir con una serie de conductas para aterrizar el Tratado del Espacio Ultraterrestre creado por la ONU en 1967 y así evitar cualquier tipo de conflictos en situaciones específicas (NASA, 2020c).

Jim Bridenstine, director de la NASA en el periodo comprendido entre 2017 y parte del 2021, para la firma de los acuerdos Artemis afirmó que:

Artemis será el más amplio y diverso programa de exploración humana espacial internacional de la historia y los acuerdos Artemis son el vehículo que establecerán esta coalición internacional [...]. Con la firma de hoy, nosotros nos estamos uniendo con nuestros socios para explorar la Luna y estamos estableciendo principios vitales que crearán seguridad, tranquilidad y un futuro próspero del espacio para el disfrute de toda la humanidad (NASA, 2020c).

Vale la pena puntualizar que la NASA es la agencia federal Estadounidense y actualmente se encarga de desarrollar tecnología enfocada a la exploración desde la Luna a Marte y el presupuesto que ejecuta es de origen público: para el 2021 asciende a la suma de \$23,2 mil millones de dólares y tiene múltiples alianzas

con la industria estadounidense, así como con socios comerciales nacionales e internacionales.

En consonancia con lo mencionado, la NASA le da prioridad a los principios de exploración pacífica, transparencia, interoperabilidad, asistencia de emergencia, registro de objetos espaciales, liberación de información científica, preservación de la herencia, recursos espaciales, desconflicto de actividades y eliminación de basura espacial, establecidos en el Tratado del Espacio, a través de los Acuerdos Artemis.

A su vez, Mike Gold, administrador asociado para relaciones interinstitucionales de la NASA, adujo que:

Fundamentalmente, los acuerdos Artemis ayudarán a evitar el conflicto en el espacio y en la Tierra, fortaleciendo el entendimiento mutuo y reduciendo las percepciones erróneas. Transparencia, registros públicos, confianza en las operaciones, estos son principios que preservarán la paz. El viaje Artemis es a la Luna, pero el destino de los acuerdos es un futuro pacífico y próspero (NASA, 2020c).

De lo expuesto surgen varias inquietudes, las cuales muy probablemente no tengan respuesta, ya que obedecen a temas políticos de Estado y lo que se pretende por parte de los autores es simplemente generar un espacio reflexivo al respecto. Sin embargo, para abordar el tema desde un punto de comprensión netamente académico en los siguientes ítems, se expondrán algunos textos de los Acuerdos Artemis que llaman especialmente la atención de los autores con ciertos comentarios al respecto.

Implementación

Pueden llevarse a cabo actividades de cooperación relativas a la exploración y el uso del espacio ultraterrestre, a través de instrumentos apropiados, tales como Memorandos de entendimiento, Implementación, Arreglos en virtud de acuerdos existentes de gobierno a gobierno, agencia a agencia, arreglos u otros instrumentos (NASA, 2020c).

Es absolutamente necesario que exista la cooperación, no solo entre países, sino entre agencias de derecho privado; más lo que se observa en estos acuerdos es que se empieza a mutar el derecho internacional público e incluso la normativa, teniendo en cuenta que no es clara la naturaleza de estos denominados “instrumentos”. Lo que sí se tiene claro es que dichas formas no tendrán solemnidad mayor alguna, sino que, como es lógico, tenderán a facilitar el desarrollo del programa, lo cual, en cierto punto, puede llegar a chocar con algunos principios del Tratado del Espacio o del Acuerdo Luna, situación un poco injusta, ya que, como sabemos, para que esta normativa sea vinculante entre países debe ser ratificada y las cifras en cuanto a este punto no son alentadoras.

Propósitos pacíficos

Los signatarios afirman que las actividades de cooperación bajo estos Acuerdos deben ser exclusivamente para fines pacíficos y de conformidad con el derecho internacional pertinente (NASA, 2020c).

En este aspecto se observa cómo se establece de nuevo la necesidad de la utilización pacífica del espacio, tendiente a evitar conflictos internacionales, pero en ninguna parte del programa, así como tampoco de la normativa internacional, existen sanciones específicas en el evento de llegar a incumplir con este principio. Esta situación debería no solo ser tratada de manera romántica sino también deberían existir medidas de coerción expresas toda vez que su finalidad, precisamente, es disuadir a las personas, agencias o estados de que, de alguna u otra forma, pretendan incumplir con dicho mandato de optimización.

Divulgación de datos científicos

Los signatarios se reservan el derecho a comunicar y divulgar información al público con respecto a sus propias actividades. [...] 3. El compromiso de compartir abiertamente datos científicos no se aplica al sector privado, a menos que dichas operaciones se realicen en nombre de un Signatario del Acuerdo (NASA, 2020c).

Entonces se tiene que, tanto en el Tratado del Espacio como en estos acuerdos, se estableció de manera expresa el principio de transparencia, a través del cual, la información resultante de las investigaciones será compartida con toda la humanidad para que no haya exclusión en cuanto al desarrollo en materia espacial. Sin embargo, si se lee detenidamente el artículo anterior, se ve una gran brecha en cuanto a este principio, teniendo en cuenta que se deja abierta la posibilidad de compartir o no la información, situación que indefectiblemente, en determinadas ocasiones, podría redundar en conflictos internacionales y un mayor estándar de desigualdad en materia espacial, ya que hay países que tienen muy difícil el acceso a la tecnología espacial y, aún más, a desarrollar su industria espacial.

Conclusiones

En este artículo se analizó el programa Artemis desde el punto de vista tecnológico, en el cual se identificaron los diferentes avances y las entidades involucradas en su desarrollo. Esto permite a los autores inferir que, desde este punto de vista, iniciativas como el programa Artemis son muy loables, puesto que llevan a la humanidad un paso más allá en su constante evolución tecnológica.

Las bases que sientan este tipo de programas permitirán al ser humano alcanzar cada vez lugares más lejanos y descubrir la verdad del universo que nos rodea. Teniendo en cuenta lo anterior, es importante establecer que los autores no estamos en desacuerdo con este tipo de programas, pero vemos con preocupación algunos aspectos de índole jurídico y de equidad frente a los resultados que se puedan lograr, que es lo que se ha querido abordar con este artículo.

El programa Artemis es una iniciativa que será llevada a cabo por algunos países que tienen los recursos económicos, los medios y la capacidad de desarrollo técnico, dejando por fuera a un gran número de países, entre ellos Colombia. Además, es una preocupación que dentro del conjunto de países que no participan del programa están potencias en materia espacial, lo que muestra que no cuenta con el apoyo total de la

humanidad para ser llevado a cabo. De esta manera, cuando comiencen a ser explotados los recursos Lunares y solo aquellos que fueron parte del programa obtengan sus dividendos, pueden presentarse conflictos de carácter internacional por la propiedad de dichos recursos. Estos desacuerdos por la propiedad, explotación y uso de los recursos Lunares, podrían ser resueltos si todo el globo se acoge a los tratados de la ONU mencionados en este artículo.

Entonces, si se analizan los acuerdos Artemis, expedidos por NASA y firmados por ocho países, se puede reafirmar, con más certeza, que son insuficientes para regular la conducta en la Luna y más si se tiene en cuenta que entre los países firmantes no se encuentran países potencia como lo son: China, Rusia, India, Corea del Norte e incluso se puede afirmar que de cierto modo generan provocación y controversia en estos últimos países.

Este programa es muy bueno para la humanidad, tecnológicamente hablando, y claramente contribuirá a su desarrollo; pero si lo analizamos exclusivamente desde los acuerdos, vemos que no aporta, en su contenido, nada nuevo a la normativa internacional existente, la cual no ha sido ratificada por los países, y por el contrario, lo que genera es un margen para crear una gran laguna jurídica entre el derecho internacional privado y el público, teniendo en cuenta que se presenta una mixtura de regímenes. Esto nos lleva, indefectiblemente, a reafirmar la teoría de que la normativa institucional en materia espacial debe ser vinculante *per se* y no estar sujeta a ratificaciones o a voluntades de los actores intervinientes en el programa.

Es cierto que los países involucrados en el programa son justamente aquellos con mayor capacidad de desarrollo, lo que les permite invertir tiempo y dinero en este tipo de avances tecnológicos, dejando relegados a los países subdesarrollados, por lo que serán los primeros en recibir y disfrutar las ganancias que este programa pueda brindarles. Los países que no participemos del programa seremos beneficiarios secundarios porque, seguramente, tendremos acceso a los desarrollos tecnológicos que de allí se deriven.

Además del programa Artemis, existen otras iniciativas de carácter global con las que la humanidad busca

llegar al espacio ultraterrestre para extraer recursos. Un ejemplo de ello es el proyecto chino Chang'e, con el cual este país busca hacer una alianza con Rusia para llegar a la Luna y extraer sus recursos y, para el que, el análisis jurídico presentado en este artículo es extensible. De lo anterior se deriva una preocupación adicional para los autores, pues el hecho de que hayan diferentes iniciativas para colonizar y explotar los recursos de la Luna, puede ser la génesis de una nueva carrera espacial, como lo establecen Gómez y Ruiz (2020) en su artículo “La nueva carrera por el dominio del espacio ultraterrestre”. Esta discusión está fuera del alcance del presente artículo, pero se invita a los lectores a analizar de manera crítica el desarrollo de tecnologías espaciales, pues si bien es cierto que los beneficios que estos traen a la humanidad son enormes, también pueden ser la puerta para grandes conflictos internacionales.

Declaración de conflicto de interés: Los autores no manifiestan conflictos de interés institucionales ni personales.

Referencias

- Álvarez, R. (2021, 30 de junio). *Jenaro, el dueño de la Luna*. El Mundo. <https://lab.elmundo.es/hombre-en-la-Luna/derecho-espacial.html>
- ASA. (2020, 14 de octubre). *Australia signs NASA's Artemis Accords*. Australian Government Website. <https://www.industry.gov.au/news/australia-signs-nasas-artemis-accords>
- Ashok, K., Elbaz, A., & Ram, K. (2021). Effect of Moon perturbation on the energy curves and equilibrium points in the Sun–Earth–Moon system. *New Astronomy*, 84. <https://doi.org/10.1016/j.newast.2020.101505>
- Basu, T., Bannova, O., & Camba, J. (2021). Mixed reality architecture in space habitats. *Acta Astronautica*, 178, 548-555. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2020.09.036>
- Brown, L., Peick, J., Pickett, M., Fanara, T., Gilchrist, S., Smiley, A., & Roberson, L. (2021). Aquatic invertebrate protein sources for long-duration space travel. *Life Sciences in Space Research*, 28, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.lssr.2020.10.002>
- Carnevale, M., Rodríguez, M., & Wolovelsky, E. (2020). *¿Quién llegó a la Luna?*. Libros del Rojas. <https://www.rojas.uba.ar/storage/books/PpvHQoWlQDeqToxdlwqUC2IGX-p02982YRUxURe20.pdf>
- Chang, E. (2020). From aviation tourism to suborbital space tourism: A study on passenger screening and business opportunities. *Acta Astronautica*, 177, 410-420. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2020.07.020>
- Colvin, T., Crane, K., & Lal, B. (2020). Assessing the economics of asteroid-derived water for propellant. *Acta Astronautica*, 176, 298-305. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2020.05.029>
- Cortés, L. (2014). Historia espacial: recuento histórico de su evolución y desarrollo. *Revista de Derecho Comunicaciones y Nuevas Tecnologías*, (12), 4-36. <https://doi.org/g2gd>
- Crane, L. (2019). Reaching for the moon once more. *New Scientist*, 244(3261), 24-25. <https://doi.org/g2gg>
- CSA. (2020, 16 de diciembre). *The Artemis missions: humanity's return to the Moon*. Government of Canada. <https://www.asc-csa.gc.ca/eng/astronomy/moon-exploration/artemis-missions.asp>
- CSA. (2021, 24 de agosto). *The Lunar Gateway*. Government of Canada. <https://www.asc-csa.gc.ca/eng/astronomy/moon-exploration/Lunar-gateway.asp>
- Damadeo, K. (Ed.). (2021, 25 de marzo). *Orion Making New Waves Ahead of First Artemis Mission with Astronauts*. NASA. <https://www.nasa.gov/image-feature/orion-making-new-waves-ahead-of-first-artemis-mission-with-astronauts>
- Díaz-Martínez, I., Cónsole-Gonella, C., Citton, P., & deValais, S. (2021). Half a century after the first footprint on the Lunar surface: The ichnological side of the Moon. *Earth-Science Reviews*, 212. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103452>
- ESA. (2019, 11 de marzo). *Gateway to the Moon*. The European Space Agency. https://www.esa.int/Science_Exploration/Human_and_Robotic_Exploration/Gateway_to_the_Moon
- ESA. (2021a, 26 de mayo). *Orion's first Service Module integration complete*. The European Space Agency. https://www.esa.int/Science_Exploration/Human_and_Robotic_Exploration/Orion/Orion_s_first_Service_Module_integration_complete
- ESA. (2021b, 02 de mayo). *Three more service modules for Artemis to be built in Europe*. The European Space Agency. https://www.esa.int/Science_Exploration/Human_and_Robotic_Exploration/Orion/Three_more_service_modules_for_Artemis_to_be_built_in_Europe
- ESA. (2021c, 26 de mayo). *What is Orion?* The European Space Agency. https://www.esa.int/Science_Exploration/Human_and_Robotic_Exploration/Orion/What_is_Orion

- Evans, M., & Graham, L. (2020). A Flexible Lunar Architecture for Exploration (FLARE) supporting NASA's Artemis Program (N. J. Center, Ed.). *Acta Astronáutica*, 177, 351-372. <https://doi.org/gjvn22>
- Gómez, L., & Ruiz, L. (2020). La nueva carrera por el dominio del espacio ultraterrestre. *Ciencia y Poder Aéreo*, 15(2), 32-52. <https://doi.org/g2gq>
- Heinicke, C., Adeli, S., Baqué, M., Correale, G., Fateri, M., Jaret, S., Kopacz, N., Ormö, J., Poulet, L., & Verseux, C. (2021). Equipping an extraterrestrial laboratory: Overview of open research questions and recommended instrumentation for the Moon. *Advances in Space Research*, 68(6), 2565-2599. <https://doi.org/gjxtrg>
- JAXA. (2019a, 24 de septiembre). *Joint Statement on Cooperation in Lunar Exploration*. Japan Aerospace Exploration Agency. <https://global.jaxa.jp/press/2019/09/20190924a.html>
- JAXA. (2019b, 12 de marzo). *Multilateral Coordination Board Joint Statement toward the development of the Gateway*. Japan Aerospace Exploration Agency. <https://global.jaxa.jp/press/2019/03/20190312b.html>
- Kistler, M., Halekas, J., McFadden, J., & Mieth, J. (2021). Distribution and variability of plasma perturbations observed by ARTEMIS near the Moon in the terrestrial magnetotail. *Advances in Space Research*, 68(1), 259-274. <https://doi.org/g2gr>
- Lin, L., Jing-Shi, T., & Xi-yun, H. (2019). The Characteristics and Related Problems of the Orbits Around the Earth-Moon Libration Points. *Chinese Astronomy and Astrophysics*, 43(2), 278-291. <https://doi.org/g2gs>
- Malphrus, B., Freeman, A., Staehle, R., Klesh, A., & Walker, R. (2021). Interplanetary CubeSat missions. En *Cubesat Handbook From Mission Design to Operations* (pp. 85-121). Academic Press. <https://doi.org/g2gt>
- Melikhov, A., Bolodyan, I., & Tanklevskiy, L. (2021). Fire-extinguishing systems in inhabited pressurized compartments on the moon. *Acta Astronáutica*. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2021.08.012>
- Mohon, L. (Ed.) (2020, 22 de octubre). *Space Launch System Rocket Crew Vehicle, Block 1 Configuration*. NASA. <https://www.nasa.gov/exploration/systems/sls/multimedia/sls-crew-vehicle-block-1-configuration.html>
- NASA. (2020a, 13 de enero). *NASA's New Moon Rover Tested in Lunar Operations Lab*. NASA. <https://www.nasa.gov/glenn/image-feature/2020/nasa-s-new-moon-rover-tested-in-Lunar-operations-lab>
- NASA. (2020b). *NASA's Lunar Exploration Program Overview*. NASA. https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/artemis_plan-20200921.pdf
- NASA. (2020c, 13 de octubre). *The Artemis Accords: Principles for cooperation in the civil exploration and use of the Moon, Mars, Comets, and asteroids for peaceful purposes*. NASA. www.nasa.gov/specials/artemis-accords/img/Artemis-Accords-signed-13Oct2020.pdf
- NASA. (2021, 25 de mayo). *Space Launch System SLS*. NASA. <https://www.nasa.gov/exploration/systems/sls/index.html>
- NASA Johnson [NASA Johnson]. (2021, 26 de mayo). *A view of the full Gateway configuration with Orion approaching Gateway* [Fotografía]. Flickr. <https://www.flickr.com/photos/nasa2explore/50494831417/in/album-72157716027881092/>
- Nickels, L. (2021). Breathing space for PM on the moon. *Metal Powder Report*, 76(2), 72-74. <https://doi.org/g2gz>
- OAS. (1969, 23 mayo). *Convención de Viena sobre el derecho de los tratados*. oas.org/dil/esp/convencion_de_viena_sobre_derecho_tratados_colombia.pdf
- Paine, T. O. (1969). *Apollo 11 Preliminary Science Report*. NASA. <https://www.hq.nasa.gov/alsj/a11/as11psr.pdf>
- Peet, M. (2021). The orbital mechanics of space elevator launch systems. *Acta Astronautica*, 179, 153-171. <https://doi.org/gjvnzv>
- SpaceX. (2021, 16 de abril). *Starship to land NASA astronauts on the moon*. SpaceX. <https://www.spacex.com/updates/starship-moon-announcement/index.html>
- UNOOSA. (2017). *Derecho Internacional del Espacio: Instrumentos de las Naciones Unidas*. Organización de las Naciones Unidas.
- UNOOSA. (2020). *Status of International agreements relating to activities in outer space*. (U. N. Affairs, Ed.) <https://www.unoosa.org/documents/pdf/spacelaw/treatystatus/TreatiesStatus-2020E.pdf>
- USRA. (2020, 8 de septiembre). *Call for Artemis Science White Papers*. Lunar and Planetary Institute. <https://www.lpi.usra.edu/announcements/artemis/>
- Wang, Y., Zhang, R., Zhang, C., & Zhang, H. (2021). Transfers between NRHOs and DROs in the Earth-Moon system. *Acta Astronáutica*, 186, 60-73. <https://doi.org/g2g2>

Satellite Systems for Colombian Space Development with Multi-domain Operations*

| Fecha de recibido: 8 de septiembre del 2021 | Fecha de aprobación: 17 de octubre del 2021 |

Germán Wedge Rodríguez Pirateque

MSc in Mechanical and
Mechatronics Engineering

PhD student, National University of Colombia
Colombia

Grupo de plataformas robóticas UN-ROBOT

Author's role: intellectual, experimental
and writing of the paper

<https://orcid.org/0000-0002-8617-0558>

✉ gwrodriguezp@unal.edu.co

Julián Camilo Páez Piñeros

Mechatronics Engineer

Master's degree student, National
University of Colombia
Colombia

Grupo de plataformas robóticas UN-ROBOT

Author's role: intellectual, experimental
and writing of the paper

<https://orcid.org/0000-0002-7165-4111>

✉ jcpaezp@unal.edu.co

Jorge Sofrony Esmeral

PhD in Control Systems

National University of Colombia
Colombia

Grupo de plataformas robóticas UN-ROBOT

Author's role: intellectual, experimental
and writing of the paper

<https://orcid.org/0000-0003-3159-1280>

✉ jsofronye@unal.edu.co

* This work was supported by the Colombian Air Force and the National University of Colombia.

Cómo citar este artículo: Rodríguez Pirateque, G. W., Páez Piñeros, J. C., & Sofrony Esmeral, J. (2021). Satellite Systems for Colombian Space Development with Multi-domain Operations. *Ciencia y Poder Aéreo*, 16(2), 46-59. <https://doi.org/10.18667/cienciaypoderareero.732>



Sistemas satelitales para el desarrollo espacial de Colombia a través de operaciones multidominio

Resumen: El desarrollo de las zonas rurales de Colombia y su conexión con las áreas urbanas ha sido uno de los grandes desafíos para garantizar una presencia efectiva del Estado en el territorio. Como parte de las alternativas para potenciar el desarrollo integral de la infraestructura y las comunidades rurales, se han propuesto opciones para la prestación de servicios aeroespaciales que ofrecen medios de comunicación permanentes y herramientas para la observación terrestre, asistencia ante los efectos de fenómenos climáticos, cuantificación demográfica, control de áreas y poblaciones, y la determinación de rutas y vías de acceso, entre otras. A partir de ello, se propone una metodología para el análisis, diseño, desarrollo, implementación y evaluación de un proyecto espacial, que incluye el cálculo de condiciones operacionales y elementos orbitales, parámetros de desempeño, áreas de cobertura, número de aviones y satélites, y varios modelos de constelaciones de satélites dentro del territorio nacional. Esta propuesta busca identificar diferentes alternativas para el diseño y uso de equipos satelitales, con el fin de formular planes estratégicos a nivel estatal que permitan la apropiación de las tecnologías aeroespaciales, ofreciendo servicios equiparables al nivel de acceso a las comunicaciones y la observación terrestre, como medio para la planificación de políticas públicas orientadas a mejorar la conectividad y las capacidades tecnológicas de Colombia.

Palabras clave: diseño de constelaciones; cobertura regional; redes de nanosatélites; agentes heterogéneos.

Satellite Systems for Colombian Space Development with Multi-domain Operations

Abstract: The development of regions in rural areas and their connection with urban areas in Colombian territory has been one of the great challenges for an effective presence of the state. Different alternatives have been proposed for the provision of aerospace services that offer means for a permanent communication and tools for terrestrial observation, as well as support against the effects of climate phenomena, demographic quantification, the control of areas and populations, the determination of routes and access roads, among other alternatives that enhance the comprehensive development of communities and their technological infrastructure. Based on this, we developed a support methodology for the analysis, design, development, implementation and evaluation of the presented design process, which includes the calculation of operational conditions and orbital elements, performance parameters, coverage areas, number of planes and satellites, and different models of satellite constellations within the national territory. In order to provide different alternatives for the design and use of satellite equipment with useful information for the structuring of State-level strategic plans that allow the appropriation of aerospace technologies and provide services comparable to the level of access to communications and ground observation, as the means for planning public policies aimed at enhancing connectivity and technological capabilities in Colombia.

Keywords: constellation design; regional coverage; nanosatellite networks; heterogeneous agents.

Sistemas de satélite para o desenvolvimento espacial da Colômbia por meio de operações de múltiplos domínios

Resumo: o desenvolvimento do meio rural na Colômbia e sua vinculação com o meio urbano tem sido um dos grandes desafios para garantir uma presença efetiva do Estado no território. Como parte das alternativas para promover o desenvolvimento integral das estruturas e comunidades rurais, foram propostas opções para a prestação de serviços aeroespaciais que ofereçam meios de comunicação permanentes e ferramentas de observação terrestre, assistência aos efeitos dos fenômenos climáticos, quantificação demográfica, controle de áreas e populações, determinação de rotas e vias de acesso, entre outras. A partir disso, é proposta uma metodologia para a análise, concepção, desenvolvimento, implementação e avaliação de um projeto espacial, que inclui o cálculo das condições operacionais e elementos orbitais, parâmetros de desempenho, áreas de cobertura, número de aviões e satélites e vários modelos de constelações de satélites no território nacional. Esta proposta busca identificar diferentes alternativas para o desenho e uso de equipamentos de satélite, a fim de formular planos estratégicos em nível estadual que permitam a apropriação de tecnologias aeroespaciais, oferecendo serviços comparáveis ao nível de acesso às comunicações e observação terrestre, tais como meios para o planejamento de políticas públicas destinadas a melhorar a conectividade e as capacidades tecnológicas da Colômbia.

Palavras-chave: desenho de constelação; cobertura regional; redes nanossatélites; agentes heterogêneos.

Earth observation and monitoring through the capture of images are highly significant for risk management and, especially, the provision of useful information related to territorial organization processes and the deployment of capacities to rural areas and remote regions. The development of tools for the monitoring and surveillance of the territory seeks to support high-level decision-making (Rouff & Truskowski, 2001). For example, satellite systems facilitate the evaluation and development of contingency plans against climate change and its associated risks to different sectors of the country. Likewise, the environmental impact of certain activities (e.g., illegal mining) over our natural resources, such as water sources, natural reserves, and biodiversity, can be actively monitored (Schilling, 2017).

Consequently, the development of an aerospace culture associated with the development of capacities, in particular the design and development of networked satellite systems, such as constellations with low-cost satellites (Yoon *et al.*, 2014), will significantly contribute to the sustainable use of resources and the protection of Colombian society (Corredor-Gutiérrez, 2017; Rodríguez-Pirateque *et al.*, 2020; Ximenes *et al.*, 2019).

The alternatives for the access to space through democratization and the new space concept have opened paths for the design of strategies and the search for solutions to connectivity needs and the presence of governments in remote areas of the country (Álvarez-Calderón *et al.*, 2019). In this sense, different proposals for the use of space technologies have been presented, such as the constellations of satellites (Alvarez & Walls, 2016; Del-Portillo *et al.*, 2019; Mingqi *et al.*, 2016), which allow solving multiple needs and, in turn, provide tools for the collective development of the country. Given this, the biggest space agencies of the world have based many of their technological developments on the support of satellite systems, such as the services provided by GPS (Allende-Alba *et al.*, 2017), GALILEO, GLONASS, and Copernicus, among others, as well as on the recent process of satellite internet implementation through the Starlink constellation, developed by SpaceX (McDowell, 2020), as shown in figure 1.

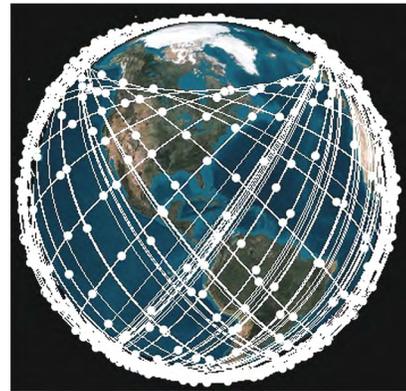


Figure 1. Starlink Constellation by SpaceX.
Source: authors.

With the advancement of new private actors, the integration of technologies such as the Internet of Things (IoT) (Prescornitoiu & Morales, 2019; Qu *et al.*, 2017), the management of big data and, more significantly, new materials, with the implementation of Microelectromechanical systems (MEMS) (Kvell *et al.*, 2014; Shahzad-Shaikh *et al.*, 2018), satellite systems have evolved into networks of small satellites that can be more eligible for national-scale space projects.

Against this, extensive research has been developed to offer different scenarios for the use of these technologies (Fugmann & Klinkner, 2020), as is the case of multipurpose networks (Barakabitzte *et al.*, 2020; Saeed *et al.*, 2020), support systems, and even sensing and data processing capabilities that facilitate the use of aerospace services (Mingqi *et al.*, 2016).

Taking as a reference the first evidence of space projects in Colombia, Libertad 1 satellite and FACSAT1 are shown in figure 2, displaying their respective planes and orbital conditions. These satellites are the materialization of the efforts and initiatives to reach space resulting from the advances offered by the democratization of space (Rodríguez-Pirateque *et al.*, 2020a, 2020b; Schaub & Junkins, 2009). According to the above, this article proposes design network satellite systems as a strategy for the coverage of areas and difficult-access territories, as part of the proposal for the provision of communication and ground observation services in the face of Colombian regional aerospace development.



Figure 2. Libertad 1 and FACSAT1 satellites.
Source: authors.

For the development of these purposes, this article is organized as follows. The section after this introduction presents the problem statement, which seeks to evaluate the impact of capacities constellations. The next section describes the composition of constellations design. Afterwards, we address the application of the constellation proposals designed to meet regional needs and coverage in Colombia. The last section presents the conclusions and recommendations for future works on the subject.

It is worth mentioning that our simulations were made using both MATLAB R2018a Software and AGI STK 11 software, under an educational or free license.

Methodology

The project was carried out following a design methodology for the technological management of engineering projects (ADDIE) (Rodríguez-Pirateque, 2017), which starts from the study of the needs and requirements identified in the process based on five phases: analysis, design, development, software implementation, and evaluation of the functional and logistical alternatives that provide support to the connectivity and scope of aerospace technologies across different regions of the country. The method is based on a

functional review, the structuring of algorithms, and the fine-tuning of modeling means that illustrate both the characteristics and the operational requirements of the proposed networks (Bandyopadhyay *et al.*, 2015; Burleigh *et al.*, 2019).

In each phase, the objectives of the mission are proposed, and the analyzes and designs of the constellations that can supply the required services are displayed, detailing the parameters and simulations that model the intended proposals (Lansard *et al.*, 1998).

Constellations Design Process

The process for the design and configuration of satellites in orbit (Lansard *et al.*, 1998; Lo, 1999) starts from the need to identify variables and specific parameters that illustrate the operation of constellations in different flight conditions, such as the number of satellites and orbital planes required, the characteristic orbital elements (figure 3), or the specifications in spectral, radiometric, temporal or spatial resolution demanded by aerospace services.

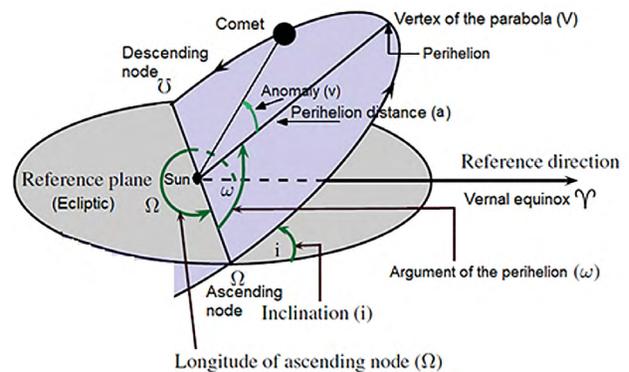


Figure 3. Orbital elements.
Source: Bistafa (2021).

Table 1 presents a set of definitions to provide the reader with a better understanding of the concepts addressed in this document.

Table 1.
Relevant definitions.

Symbol	Definition
θ	Angle of coverage
ϕ	Half cone angle
ε	Elevation of an observation
a	Altitude of the satellite
A_{sc}	Superficial area of the spherical cap
d	Distance between ground station and the satellite
G	Gravitational constant
h	Height of the spherical cap
i	Inclination of the satellite
M	Earth mass
R_c	Coverage radius
R_e	Earth radius

Source: Wertz (2012).

Main Design Method

This method uses the following equations to calculate the coverage radius and the half cone angle (Fugmann & Klinkner, 2020), which is represented as the φ angle in figure 4. The known values are: ε , R_e and A . This creates a triangle of sides R_e , d , $R_e + a$ (Mingqi *et al.*, 2016).

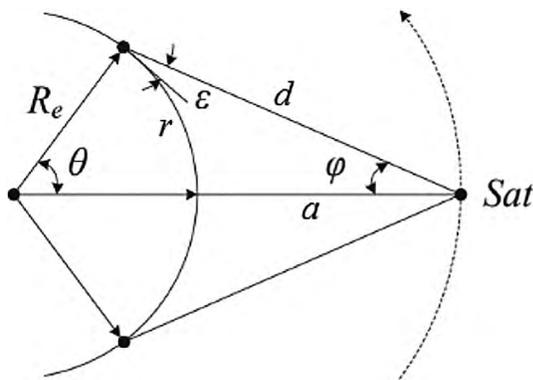


Figure 4. Trigonometric relationship between the different elements of the Walker Method.

Source: Prescornitoiu and Morales (2019).

Using the law of sines to solve this triangle, we formulate equation 1:

$$\frac{\sin(90^\circ + \varepsilon) R_e}{+ a} = \frac{\sin(\varphi)}{R_e} \quad (1)$$

which can be solved for φ to obtain the half cone angle, as shown in equation 2.

$$\phi \frac{R_e}{\arcsin = \sin 90^\circ} \varepsilon \quad (2)$$

$$= (R_e + a (+))$$

Also, the coverage angle can be calculated using equation 3:

$$\theta = 90^\circ - (\phi + \varepsilon) \quad (3)$$

With this, the coverage radius is calculated as a terrestrial arc length:

$$r_c = R_e \theta \quad (4)$$

Satellite footprint

Another useful application for the coverage radius is to find how much area can the satellite fully cover. In order to achieve this, it is necessary to know the definition of a spherical cap, which is shown in figure 5 as the result of intersecting a sphere with a plane.

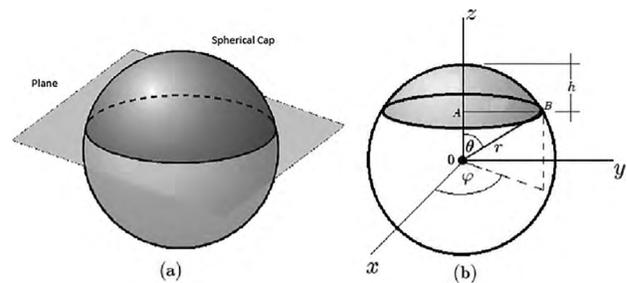


Figure 5. Sphere section or spherical cap.

Source: Soldovieri and Viloria (2016).

Now, the superficial area of this spherical cap is the coverage area of the satellite shown in figure 4. This area can be calculated with equation 5, in which A_{sc} represents the superficial area of the spherical cap,

R_e is still the radius of the Earth, and h the height of the spherical cap.

$$A_{sc} = 2 * \pi * R_e * h \quad (5)$$

It can be inferred from figure 4 that h is just as it is represented in equation 7, where θ is the same as in equation 3:

$$\begin{aligned} h &= R_e - [R_e * \cos(\theta)] \\ h &= R_e * [1 - \cos(\theta)] \end{aligned} \quad (6)$$

Resulting in equation 7 in order to find the superficial area of the spherical cap.

$$A_{sc} = 2 * \pi * R_e^2 * [1 - \cos(\theta)] \quad (7)$$

Temporal Resolution Analysis

Looking for a way to calculate the time it takes a satellite to be on the same spot relative to Earth the following simulation has been created.

First, the speed of the Earth is taken into account to move a point in a circular motion according to this variable, which can be solved for φ to obtain the half cone angle as shown in equation 2 this point is the target location on the surface of the globe. Then, the speed of the satellite is also required, and it has to be decomposed on the direction of rotation of the Earth and another direction perpendicular to this movement. After that, the simulation runs one second per iteration, time in which the position of the satellite and the target location are calculated. Finally, in each iteration the angular distance between these objects, the satellite and the target, is calculated. When this number is lower than θ (equation 3), revisit is achieved, and the number of iterations calculated so far is the time (in seconds) that the satellite took to revisit the same location twice.

There are two kinds of revisit: an oblique revisit and a nadir revisit. The first one is when the satellite is just in range for communication purposes, that is, its elevation for the observer or the receiving antenna is at least 20° ($\epsilon = 20^\circ$). The second, when the satellite is at least at an elevation of 80° ($\epsilon = 80^\circ$).

Next, this simulation is repeated with a satellite with an inclination that varies from $i = 0^\circ$ to $i = 100^\circ$. The results for the two kinds of revisits are shown in figures 6 and 7.

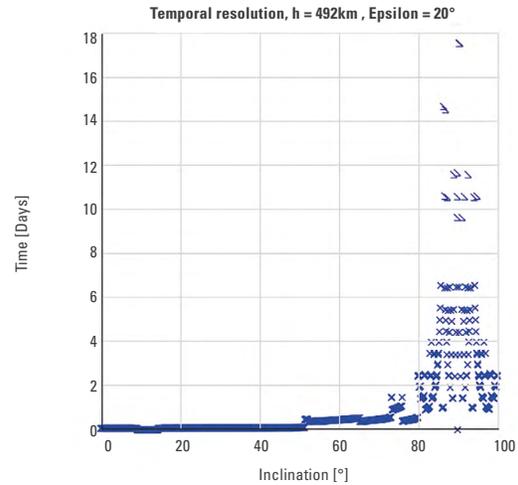


Figure 6. Revisit with $\epsilon = 20^\circ$.

Source: authors.

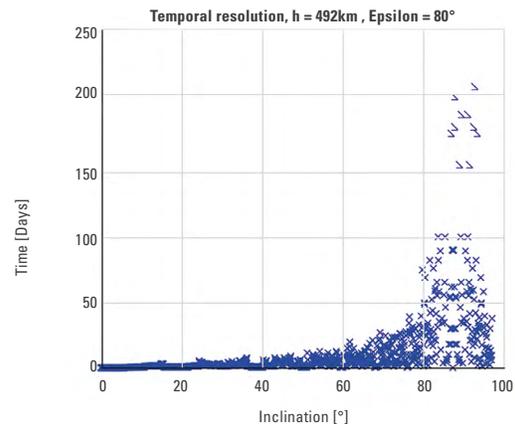


Figure 7. Revisit with $\epsilon = 80^\circ$.

Source: authors.

Regional Development Strategies by the Network

The development of Colombian regions through space technologies demands a set of strategies. Among them, various alternatives for territorial coverage with ground observation missions and communications will be presented below.

The main objectives of missions lie in the provision of communication services for remote areas and the capturing of images for registration, surveillance, control, and territorial planning, which provide tools for the deployment of public policies and government programs capable of linking the needs of regions (Roscoe *et al.*, 2018).

First, the FACSAT1 satellite system is presented, an equipment that is operationally active and in use by the Colombian Air Force, from the Aerospace Technology Research Center (CITAE), and that is complemented by the projection of FACSAT2, which is in the process of mission design and represents the most recent solutions in the democratization of space by the Colombian state.

Later, a projection of what would be a constellation with complete coverage in different orbital planes is presented. Some alternatives in the design of constellations include the calculation of satellites located in a single orbital plane, in order to cover a linear perimeter in the orbit (figure 10).

There is also a multipurpose constellation with communication and observation equipment, which can be configured with different numbers of satellites, planes, and orbital inclinations, adjustable to the progress and results of the analysis of enabling conditions and requirements established by CONPES 3983/2020 of the Colombian spatial development policy.

As special alternatives, two revolutionary designs known as satellite formations are presented in the satellite context. The first formation has a number of in-flight agents capable of carrying out coordinated and cooperative missions, while the second alternative counts on different satellite clusters or grouped formations, in different orbital planes, for super-resolution image objectives and even elevation models, thanks to configurable network architectures that can be developed in these formations.

Finally, an integrated system between space, air, land, maritime and cyberspace means is proposed. This system seeks to develop multidomain missions capable of interconnecting the different domains and

capacities for specific objectives that project the integration of structures and services, with the purpose of accomplishing operations and meeting the needs of the Colombian territory.

Current Satellites of the Colombian Space Program

Colombia currently has within its satellite inventory the FACSAT1 type 3U, with RGB camera of 30m/pixel with the current TLE, and the FACSAT2 type 6U, with 5m/pixel, each in a different orbit (figure 8).

- FACSAT1: operational satellite that provides terrestrial observation services with a 3U (30x10x10cm) 4kg CubeSat type satellite, for purposes of initiation and promotion of the Colombian space sector, with an emphasis on research and development processes, such as the ground station to support the operation and maintainability of the service.
- FACSAT2: satellite proposed by the space program to provide terrestrial observation services with greater capacities than FACSAT1, using a CubeSat 6U (30x20x10cm) 10kg satellite (aprox.) that allows the transfer and appropriation of knowledge for the integration of equipment, laboratories, and autonomous operations by CITAE.

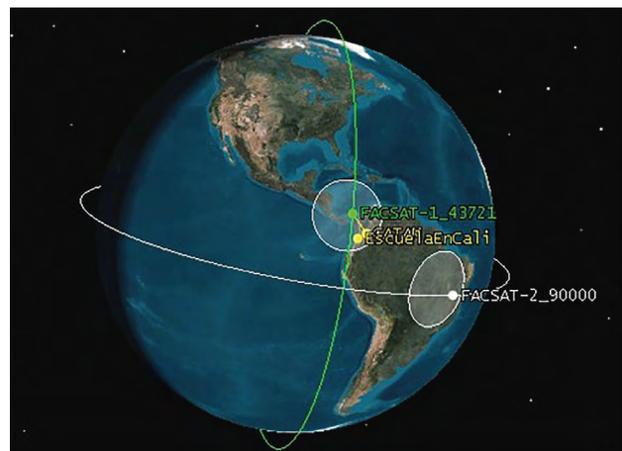


Figure 8. FACSAT Space Program.

Source: authors.

Full Coverage Constellation

In order to have a constellation with at least one satellite at a given time on a given location some conditions must be met, these conditions are as follows:

- A polar constellation to cover all the latitude range over the world.
- A number of orbital planes enough to cover all the longitude range all over the world at any time;
- A number of satellites in each orbital plane to cover the whole orbital plane at any time.

To achieve this, a MATLAB script was created to calculate these 2 figures. This script creates a TLE file with all the satellites in the constellation, and has the following inputs:

- The altitude of the satellite.
- The inclination of the polar orbit.
- The minimum elevation of the satellite for the observer, depending if the satellite is used for observations (80°) or communications (20°). This is used to calculate the half cone angle, which is then used to determine the number of satellites in an orbit and the spacing between orbits.

In this case study, the inputs are:

- Altitude: same as FACSAT1.
- Inclination: same as FACSAT1.
- Minimum acceptable elevation to link: 20°.
- In order to acquire the two first inputs, the script downloads the TLE file for the FACSAT1 and extracts the required information.

It is worth noting that to have full coverage in the middle points between orbits, all the constellation needs to be inclined with respect to the rotation axis of the Earth so that there are no gaps between coverage regions, as shown in figure 9.

The results are provided in the following list and in figure 9, where 6 Satellites are shown on coverage over CATAM airport, Colombia.

- Altitude: 490,3671 km
- Inclination: 97,4135°
- Minimum acceptable elevation: 20°
- Orbital planes: 14
- Number of satellites in each orbital plane: 27
- Total number of satellites: 378

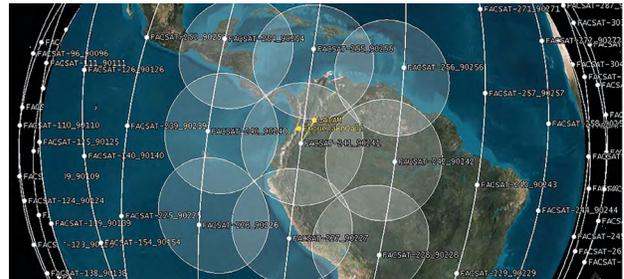


Figure 9. Full coverage constellation scheme.
Source: authors.

Lineal Constellation

Multi-agent Systems Mission (SMA1). Proposed under the name of “Arpía,” its purpose is the realization of multi-image shots, counting on the fact that the goal is to operate as a homogeneous or hybrid constellation for taking images under continuous scanning or a discrete perspective in a single orbital plane, with full coverage of the orbital circumference or perimeter by configuring network satellites with optical sensors or Synthetic Aperture Radars (SAR) (figure 10).

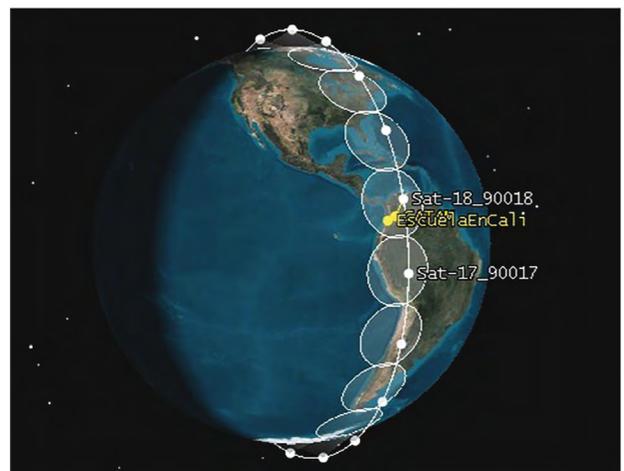


Figure 10. Lineal constellation.
Source: authors.

The main purpose of this configuration is the coverage and monitoring of the entire American continent, as an added value with neighboring countries, for the generation of strategic alliances, cooperation and the offer of services deployed by the temporary resolution of said configuration; in addition to the advantages regarding security and defense through border and territorial control and the exercise of sovereignty.

Multipurpose Constellations

Multipurpose constellations are the basis of the proposals for Colombian territorial coverage, since they provide communications and terrestrial observation services necessary to supply the means of connectivity and identification of areas and natural resources.

On this regard, three configurations are proposed. Each of these considers different payloads, orbital planes, and number of satellites, depending on the objectives of a mission agreed by the different actors who use aerospace services.

- 1) *First configuration:* A Constellation divided into 146U multi-band communications satellites, four 6U observation satellites of 5m/pixel, and two 12U observation satellites with a resolution of 1m/pixel; they can be placed in different orbits to provide good coverage to the territory.

In order to achieve full coverage over all the Colombian territory for the first multipurpose constellation, multi-band communication satellites must have a minimum inclination greater than or equal to the highest latitude of the country, that is, 16.2°. Hence, the selected inclination will be 16.5°. For observation satellites on this same constellation, the selected inclination is 85° so they have coverage over almost the entire globe. The altitude for each of these subgroups is selected to be 450, 550, and 750 respectively. Each satellite has his own orbital plane which are equally spaced between satellites of each subgroup. The footprint for each subgroup is 4,242, 5,109, and 6,768 km, respectively. The results are as shown in figure 11.

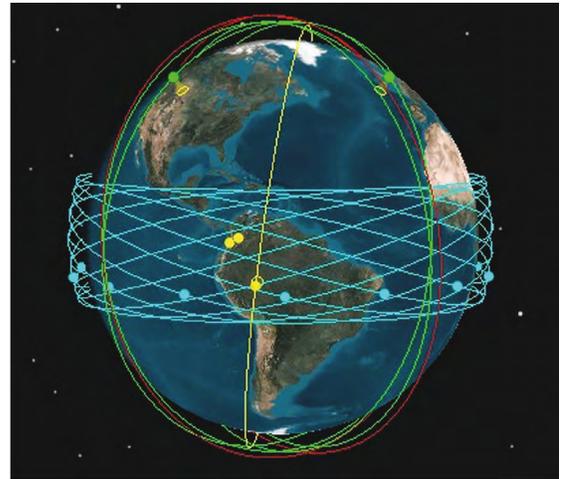


Figure 11. First multipurpose constellations.
Source: authors.

- 2) *Second configuration:* A constellation of six satellites, four with optical sensors (RGB, NIR, PAN), one satellite with SAR (3m, 0.8m, HV VH, HH VV), and one last satellite with a 180-band hyperspectral camera (figure 12).

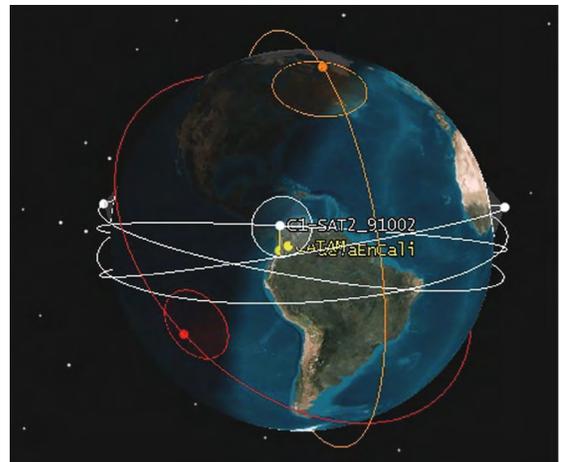


Figure 12. Second multipurpose constellations.
Source: authors.

- 3) *Third configuration:* Four constellations with eight satellites per plane, the first constellation with only multispectral cameras in polar orbit, the second with hyperspectral cameras in orbit, and the last two with multi-band communications equipment (figure 13).

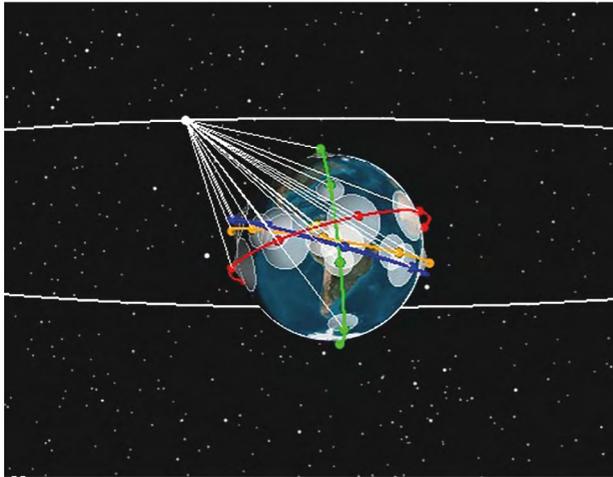


Figure 13. Third multipurpose constellations.
Source: authors.

Heterogeneous Formation

Multi-agent Systems Mission (SMA2). Homogeneous or hybrid-cluster-type in formations, proposed under the name of “Gules,” associated with the groups of paratroopers from the *Águilas de Gules* of the Colombian Air Force. In this case, the equipment would carry out the capture of multi-objective images with super-resolution by means of groups of satellites with hybrid systems of multi or hyperspectral equipment or SAR for interferometry and 3D elevation models with formation control and leader changes.

For this particular case, it is stated as a formation of a group of five 3U satellites spaced a certain distance from each other. One observation will be carried out with RGB camera, two with multispectral camera, and the last two with hyperspectral.

This constellation is thought to have a hexagon-like formation (5 satellites) so that all satellites can look at the same location, at the same time, and almost at the same angle. But there must be a minimum distance between them, called a security distance, that is typically 65 km. Consequently, a MATLAB script is used to accomplish this. The inputs for this script are as shown:

- Inclination = 5°
- Altitude = 450 km

- Distance between satellites = 65 km
- Number of satellites = 5

Apart from the inputs, the rest of the information required to fully describe a satellite using TLE data is the same as in the FACSAT1 currently orbiting the Earth.

The script did the following in a sequential order:

- 1) The TLE constellation file was created using the most recent TLE information about the FACSAT1 as the central point of the constellation (red central cross in figure 14).
- 2) To create the hexagon, two vectors were created in MATLAB workspace: one representing the distances along the vertical axis (Y) and another one representing the distances along the horizontal axis (X). The first result is a hexagon, as shown in figure 14.

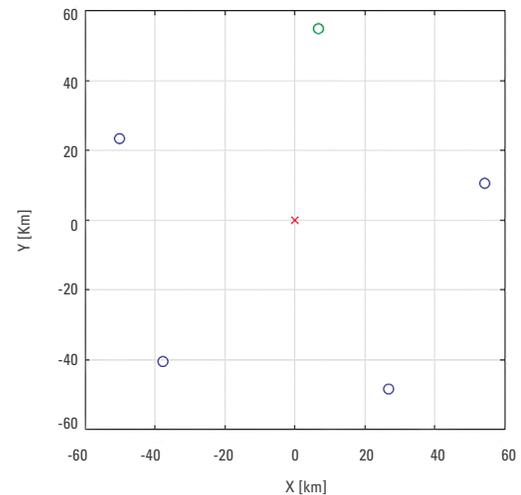


Figure 14. Hexagon formation.
Source: authors.

- 3) The RAAN was taken into account to separate two satellites along the axis X in figure 14. A conversion from distance (km) to angular separation between orbits for satellites of the same constellation was made using the following equation:

$$\Delta RAAN [^\circ] = \frac{X [km]}{R_e [km]} * \frac{360 [^\circ]}{2\pi [rad]} \quad (8)$$

- 4) The orbital speed is required to make the conversion and calculate the right spacing along the horizontal axis between satellites. Therefore, these data is obtained

The second result is a TLE file containing the information required to describe the satellite formation shown in figure 15.



Figure 15. Heterogeneous payloads in formation.
Source: authors.

Note. This procedure, or script, is only valid if the inclination of the constellation is between 80 and 90 degrees, that is, polar constellations. To create a more general script, a more complete and complex conversion method is needed, although formations on lower inclinations only retain its form for some weeks and are not useful in the long run.

Multiple Cluster

Cluster configurations are made up of groups of satellites in formation located in different orbital positions or planes, which can have homogeneous or heterogeneous payloads and different control architectures, such as distributed, hierarchical or centralized, depending on the mission to be carried out. Using the heterogeneous formation presented in the previous section as point of reference regarding one of the different groups of satellites that make up the cluster, three clusters with 5 satellites each were modeled. In the first case, as shown in figure 16, the three clusters are evenly distributed in the same orbital plane. In the second case, three groups of independent satellites are designed, where each one is configured in its own orbital plane as shown in figure 18, in addition to having different temporal resolutions and consequently a revisit frequency in different

time ranges that offers many possibilities for this configuration. There are two different configurations, the first one with the synchronous clusters, as shown in figure 17, and the other is asynchronous, with which it is possible to think of different operational modes such as that illustrated in figure 18, where cluster 1 is linked to the ground station in Cali (Colombia) while cluster 3 is linked to Antarctica, where it is expected to have a remote workstation for cooperation and research purposes with allied countries.

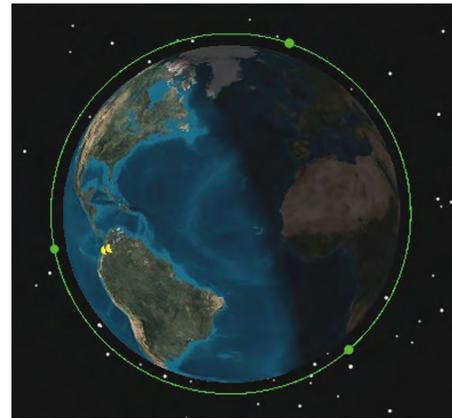


Figure 16. Synchronic cluster model.
Source: authors.

For the synchronic cluster access shown in figure 17, the satellites are in the same orbit but distanced 120° one another. As for the asynchronous cluster model shown in figure 18, the orbits for each cluster are not in the same orbit but the inclinations of each orbit are as shown in table 2. The orbits are selected based on the information in figure 7.

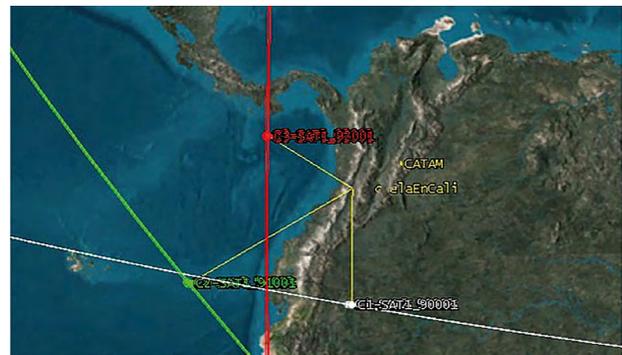


Figure 17. Synchronic cluster access.
Source: authors.

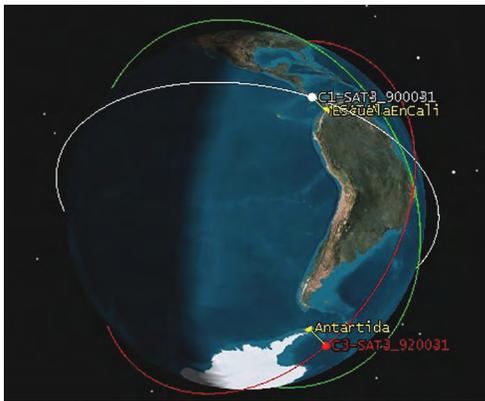


Figure 18. Asynchronous cluster model.
Source: authors.

Tabla 2
Clusters: Inclination and altitude.

Cluster	Orbit	Inclination [°]	Altitude [km]
1	Equator	10	450
2	Polar	83	650
3	Media	52	550

Source: authors.

Figures 19 and 20 depict the variations suffered by a geometric configuration of 5 satellites with changes in the inclination of the orbital plane, showing a significant deformation in equatorial inclinations, for which it is necessary to rethink the design of the formation as well as the parameters associated with the disturbances and factors that affect these geometries.



Figure 19. Inclination and deformation cluster.
Source: authors.

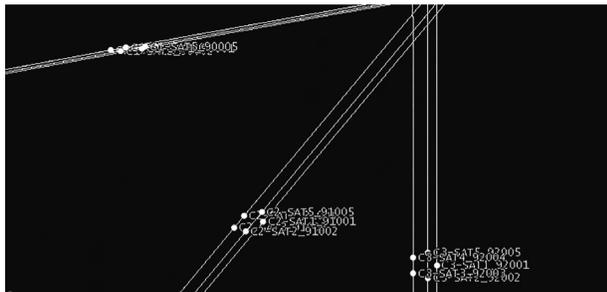


Figure 20. Synchronic Cluster with deformation geometry.
Source: authors.

These variations in geometric configuration pose the need to align the satellites in new geometries capable of maintaining the groups or clusters in each of their orbits and intersatellite distances. Evidence of these new challenges in the cooperation and coordination of satellite swarms, which can they operate together at different levels of inclination according to the mission objectives that are available for each swarm.

Multi-domain Networks

It refers to a constellation linked simultaneously with a network of several UAVs, all interconnected with each other and with ground stations. An example of this is shown in figures 21 and 22.

The mission design for these multidomain operations, in turn, seeks the integration of information and permanent support on command-and-control activities in areas of difficult access, as well as outreach on natural resources, remote areas and populations with public needs, where integration systems provide the services demanded through equipment networks and data flow in real time.

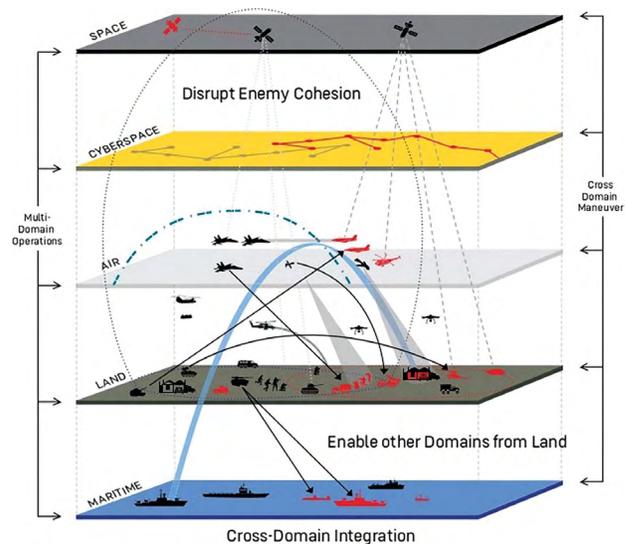


Figure 21. Multi-domain operations (MDO).
Source: US Army (2020).



Figure 22. Multidomain constellation.
Source: authors.

Conclusions

Proposals for the design of networked satellite systems with different types of configurations were obtained. These were modeled with orbital elements and performance calculations for the provision of coverage, resolutions and required operational means.

Simulation models are developed for the evaluation of configurations in types of payloads, heterogeneous models in different network designs and the analysis of services such as multiband communication systems, remote sensing with optical, multi and hyperspectral systems, and even synthetic aperture radar systems. These developments offer ground evidence despite the meteorological conditions of great cloudiness that is characteristic of tropical countries such as Colombia.

Acknowledgments

This work was partially funded by the National University of Colombia and the Colombian Air Force.

Disclosures: Authors declare no institutional or personal conflicts of interest.

References

- Allende-Alba, G., Montenbruck, O., Ardaens, J. S., Wermuth, M., & Hugentobler, U. (2017). Estimating maneuvers for precise relative orbit determination using GPS. *Advances in Space Research*, 59(1), 45-62.
- Álvarez, J., & Walls, B. (2016). Constellations, clusters, and communication technology: Expanding small satellite access to space. *2016 IEEE Aerospace Conference*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/AERO.2016.7500896>
- Álvarez-Calderón, C. E., & Corredor-Gutiérrez, C. G. (eds.). (2019). *El espacio exterior: Una oportunidad infinita para Colombia. el cielo no es el límite* (vol. 2). Escuela Superior de Guerra. <https://doi.org/10.25062/9789585245631>
- Bandyopadhyay, S., Subramanian, G. P., Foust, R., Morgan, D., Chung, S.-J., & Hadaegh, F. (2015). A review of impending small satellite formation flying missions. *53rd AIAA Aerospace Sciences Meeting*. <https://doi.org/10.2514/6.2015-1623>
- Barakabitze, A. A., Ahmad, A., Mijumbi, R., & Hines, A. (2020). 5G network slicing using SDN and NFV: A survey of taxonomy, architectures and future challenges. *Computer Networks*, 167, 106984
- Bistafa, S. R. (2021). Revisiting Eulers orbital calculations for the comet of 1742. *Advance in Historical Studies*, 10(1), 73-92.
- Burleigh, S. C., De-Cola, T., Morosi, S., Jayousi, S., Cianca, E., & Fuchs, C. (2019). From connectivity to advanced internet services: A comprehensive review of small satellites communications and networks. *Wireless Communications and Mobile Computing*, May, 6243505. <https://doi.org/10.1155/2019/6243505>
- CONPES. (2020). 3983. Política de desarrollo espacial: condiciones habilitantes para el impulso de la competitividad nacional. República de Colombia - Departamento Nacional de Planeación. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3983.pdf>
- Corredor-Gutiérrez, C. G. (2017). *Diseño de un marco y hoja de ruta que permita formular la política espacial de Colombia, para promover el desarrollo tecnológico, económico y social del país*. Universidad de La Sabana.
- Del-Portillo, I., Cameron, B. G., & Crawley, E. F. (2019). A technical comparison of three low earth orbit satellite constellation systems to provide global broadband. *Acta Astronautica*, 159, 123-135.
- Fugmann, M., & Klinkner, S. (2020). An automated constellation design & mission analysis tool for finding the

- cheapest mission architecture. *SSC20-1-07 Mission Architecture, 34th Annual Small Satellite Conference*. SSC.
- Kvell, U., Puusepp, M., Kaminski, F., Past, J. E., Palmer, K., Groenland, T. A., & Noorma, M. (2014). Nanosatelliitide orbiidi muutmise mikroelektromehaaniliste kuimgaasi to~ukemootoritega. *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences*, 63(2S), 279-285.
- Lansard, E., Frayssinhes, E., & Palmade, J. L. (1998). Global design of satellite constellations: A multi-criteria performance comparison of classical walker patterns and new design patterns. *Acta Astronautica*, 42(9), 555-564.
- Lo, M. W. (1999). Satellite-constellation Design. *Computing in science & engineering*, 28(3), 58-67.
- McDowell, J. C. (2020). The low earth orbit satellite population and impacts of the SpaceX Starlink Constellation. *The Astrophysical Journal*, 892(2), L36.
- Mingqi, Y., Xurong, D., & Min, H. (2016). Design and simulation for hybrid LEO communication and navigation constellation. *CGNCC 2016 - IEEE Chinese Guidance, Navigation and Control Conference*. <https://doi.org/10.1109/CGNCC.2016.7829041>.
- Prescornitoui, B., & Morales, M. (2019). *Estudio y diseño de constelaciones de nanosatélites en el marco de las comunicaciones IoT* [PhD thesis, Universidad Carlos III de Madrid]. Biblioteca Universidad Carlos III de Madrid.
- Qu, Z., Zhang, G., Cao, H., & Xie, J. (2017). LEO satellite constellation for Internet of Things. *IEEE Access*, 5(c), 18391-18401.
- Rodríguez-Pirateque, G. W. (2017). *Diseño π : Gestión tecnológica para el Diseño de Proyectos de Ingeniería*. Escuela de Postgrados Fuerza Aérea Colombiana.
- Rodríguez-Pirateque, G. W., Cortés, G. E., & Sofrony, J. (2020). Sustainable design of low-cost modular test platforms as an entrepreneurship for space development in Colombia. *71st International Astronautical Congress (IAC), The CyberSpace Edition*.
- Rodríguez-Pirateque, G.-W., Sofrony Esmeral, J., Cortés García, E. D., & Rueda, K. (2020). Diseño de misión, síntesis de factores operacionales y representaciones del segmento espacial, caso FACSAT y EMFF. *Ciencia y Poder Aéreo*, 15(2), 143-165. <https://doi.org/10.18667/cienciaypoderaereo.678>
- Rodríguez-Pirateque, G. W., Arzola-de-la-Peña, N., & Cortes-García, E. D. (2020). Sustainable design of a nanosatellite structure type CubeSat as a modular platform for tests. *Ciencia y Poder Aéreo*, 15(1), 108-134.
- Roscoe, C. W., Westphal, J. J., & Mosleh, E. (2018). Overview and GNC design of the CubeSat Proximity Operations Demonstration (CPOD) mission. *Acta Astronautica*, 153, 410-421. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2018.03.033>
- Rouff, C., & Truskowski, W. A. (2001). A Process for Introducing Agent Technology into Space Missions. *Aerospace Conference, 2001, IEEE Proceedings*, 6.
- Saeed, N., Elzanaty, A., Almorad, H., Dahrouj, H., Al-Naffouri, T. Y., & Alouini, M. S. (2020). CubeSat communications: Recent advances and future challenges. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 22(3), 1839-1862.
- Schaub, H., & Junkins, J. (2009). *Analytical Mechanics of Space Systems* (vol. 2). AIAA Education Series.
- Schilling, K. (2017). Perspectives for miniaturized, distributed, networked cooperating systems for space exploration. *Robotics and Autonomous Systems*, 90, 118-124.
- Shahzad-Shaikh, M., Jindal, P., Mali, A., Ansari, A., & Kamble, S. (2018). Design of mems based microthruster - A study. *Materials Today: Proceedings*, 5(9), 20719-20726.
- Soldovieri, T., & Vioria, T. (2016). *El ángulo sólido y algunas de sus aplicaciones*. Universidad del Zulia.
- US Army. (2020). *America's ARMY: Ready now, investing in the future*. https://www.army.mil/e2/downloads/rv7/about/usarmy_fy19_21_accomplishments_and_investment_plan.pdf
- Ximenes, S. W., Roberts, S. L., Lee, T. S., Shin, H. S., Foing, B., & Duarte, C. (2019). LEAP2 and LCATS industry clusters: A framework for lunar site technology development using global, space-STEM education and global space-industry development networks. *Acta Astronautica*, 157, 61-72.
- Yoon, Z., Frese, W., Bukmaier, A., & Brieß, K. (2014). System design of an S-band network of distributed nanosatellites. *CEAS Space Journal*, 6(1), 61-71.

Review of Different Geospatial Perspectives for the Identification and Mitigation of Potential Security Threats to Satellite Platforms

| Fecha de recibido: 21 de marzo del 2021 | Fecha de aprobación: 30 de julio del 2021 |

**Luis Diego
Monge Solano**

MSc Technological Management
and Innovation

Astra Codex SRL
Costa Rica

Author's role: intellectual and writing of the paper
<https://orcid.org/0000-0003-3979-981X>
✉ Luis.monge@astracodex.com

Cómo citar este artículo: Monge Solano, L. D. (2021). Review of Different Geospatial Perspectives for the Identification and Mitigation of Potential Security Threats to Satellite Platforms. *Ciencia y Poder Aéreo*, 16(2), 60-66. <https://doi.org/10.18667/cienciaypoderareo.704>



Revisión de diferentes perspectivas geoespaciales para la identificación y mitigación de potenciales amenazas de seguridad a plataformas satelitales

Review of Different Geospatial Perspectives for the Identification and Mitigation of Potential Security Threats to Satellite Platforms

Revisão de diferentes perspectivas geoespaciais para a identificação e mitigação de potenciais ameaças à segurança para plataformas de satélite

Resumen: La infraestructura satelital juega un papel vital en el mundo moderno. Cada vez más sistemas dependen de esta tecnología, lo que ha generado que se convierta en un blanco de amenazas de seguridad. La existencia de estos riesgos potenciales ha sido reconocida en el ámbito internacional, por lo cual cada vez se destinan más recursos a estudiar y entender dichas amenazas. Ante este escenario, el estudio de las tecnologías satelitales desde una perspectiva geoespacial provee un entendimiento del tipo conciencia situacional sobre el ecosistema tecnológico y sus fortalezas, limitaciones y vulnerabilidades. Nuevas tecnologías como la inteligencia artificial, el aprendizaje automático y el *blockchain* deben ser estudiadas a fin de generar contramedidas de seguridad para las tecnologías satelitales.

Palabras clave: satélites; ciberseguridad; tecnología geoespacial; aprendizaje automático; observación terrestre.

Abstract: Satellite infrastructure plays a vital role in today's world. As more systems rely on this technology it increasingly becomes a target for security threats. The existence of such risks has been acknowledged internationally as more resources are allocated to their study and understanding. In this context, studying satellite technologies from a geospatial perspective has provided a situational awareness understanding of the technology ecosystem and its strengths, limitations, and vulnerabilities. New technologies such as artificial intelligence, machine learning, and blockchain must be studied to generate security countermeasures for satellite technologies.

Keywords: satellites; cybersecurity; geospatial technology; machine learning; earth observation.

Resumo: A infraestrutura de satélite desempenha um papel vital no mundo moderno. Cada vez mais sistemas dependem dessa tecnologia, o que a tornou um alvo para ameaças à segurança. A existência desses riscos potenciais é reconhecida internacionalmente, por isso cada vez mais recursos estão sendo alocados para estudar e compreender essas ameaças. Diante desse cenário, o estudo das tecnologias de satélites de uma perspectiva geoespacial permite compreender a consciência situacional do ecossistema tecnológico e suas potencialidades, limitações e vulnerabilidades. Novas tecnologias como inteligência artificial, aprendizado de máquina e blockchain devem ser estudadas para gerar contramedidas de segurança para tecnologias de satélites.

Palavras-chave: satélites; cibersegurança; tecnologia geoespacial; aprendizagem automática; observação terrestre.

A New Paradigm

Nowadays, satellite infrastructure is vital for sustaining the global economy and society (Fritz, 2013). From telecommunications to global navigation, data collecting through earth observation, and even time signals needed for banking transactions, countries are now more dependent than ever on space-based technology. This dependence is set to be reinforced in the coming years as satellite platforms become integrated into technological ecosystems such as 5G networks or Industrial IoT (Internet of Things) (Malik, 2019).

As stated in a 2019 study by the United Nations Institute for Disarming Research, denominated “Electronic and Cyber Warfare in Outer Space,” the emergence of electronic and cyber counter-space capabilities is enabling a variety of state and non-state actors to target and disrupt space platforms from both civilian and military owners, using technology that is increasingly available.

Methodology: A Situational Awareness-like Perspective

An ecosystem of privately owned and operated space assets already exists and is actively used for security and defense purposes all around the globe. Like the situational awareness approach used in aviation sciences, understanding the space “landscape” with its different technologies, limitations, and how they complement each other is vital to navigate this new technological ecosystem and understand its potential vulnerabilities. The proposed analysis methodology uses the classification of the different satellite platforms based on their application from the point of view of geospatial technologies (figure 1).

According to the Global Geospatial Industry Report, satellite technologies can be classified in global navigation satellite positioning system (GNSS), Earth observation, and Earth scanning (Geospatial

Media Communications, 2017) (figure 1). By using this classification as a basis for security analysis, a more comprehensive understanding of the threats and vulnerabilities can be achieved.

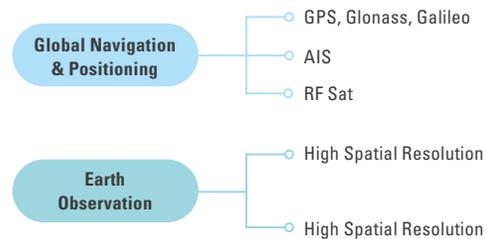


Figure 1. Geospatial technology classification of satellite platforms.
Source: author.

In the following chapters we conducted a literature review for the different satellite technologies grouped within this category. The analysis of the threats should illustrate the relevance of this perspective.

Global Navigation and Positioning Systems

Global navigation and positioning systems can be divided into three main levels. The most known technology is GNSS, in which satellites from known orbital positions transmit time signature signals while receivers on the ground estimate a position by triangulating the distance from at least four satellites and comparing the arrival time of each signal. Due to the use of high precision atomic clocks onboard global positioning satellites, many technologies rely on their signals for timekeeping in digital communications protocols such as day-to-day transactions. This technology is susceptible to spoofing, that is, and interference maliciously generated in its operational wavelength. Documented cases of spoofing interfering with commercial aircraft navigation have been reported (Tullis, 2019).

The other two technologies are Automatic Identification System (AIS) and radio frequency (RF) satellites. In the first case, a satellite picks up the AIS,

a TDMA-like signal emitted by ships in high seas in which they transmit their GPS coordinates, speed, and heading to other ships in a few kilometers radius in order to avoid collisions. Since ships undergoing illegal activities can intentionally turn off their AIS, this technology can be limited for security application, thus explaining the development of RF satellites, which detect radio frequency signals emitted by ships at the sea and triangulate their position through several receiving satellites. This technology is promising for security applications with constellations delivering commercial data as service products, such as Kleos Space (2021).

The literature review shows that the main threat to global navigation and positioning systems—even at a civilian level—is spoofing or radio frequency interfering, which can be achieved from the ground with relatively accessible technology (Humphreys *et al.*, 2008). The capacity of emitting carrier signals in frequencies that directly interfere with the operation of the satellite platforms is common to both technologies in the GNSS group that encompass two different technologies, such as GPS and AIS.

Earth Observation

Earth observation technologies have been available for several decades. As the name implies, camera sensors located onboard space platforms provide image data of different parts of the world. Currently, constellations as Copernicus, from the European Space Agency, provide free access to optical data from space for all kind of geospatial analysis and applications (Copernicus, 2021). Commercial earth observation satellites provide improved spatial and temporary resolution, which refers to the amount of terrain covered by a pixel in a satellite image. Currently, submetric resolutions are commercially available with constellations such as Korean Kompsat, offering resolutions in the 70 cm per pixel range (KARI, 2021). On the other hand, constellations with multiple small satellites provide high revisits improving the temporal resolution. The dove

constellation from Planet offers data as service products through hundreds of small-satellites, which sacrifices some of the spatial resolutions but allows daily revisits of the same spot to monitor near to real-time changes in the landscape (Planet, 2021).

Earth observation data is a valuable tool for the assessment of unlawful activities such as illegal forest clearance, and is already used by international certification organizations (RSPO, 2021). Therefore, the generation of counterfeit earth observation information is an issue that must be properly addressed as part of the maturity of the technology (Iacobellis *et al.*, 2020).

Spoofing or interference of earth observation can be almost impossible due to the large number of satellites in each constellation and the large size of the files downloaded at ground stations. In the case of Earth observation, malicious corruption of data between acquisition and end-users is the main cyber threat (Iacobellis *et al.*, 2020).

Earth Scanning

Earth scanning refers to the use of active sensors. Passive sensors as those used in earth observation detect sunlight reflected from the surface of the Earth and allow modeling the surface through the characterization of the different features of the wavelengths (Chuvienco, 1990). Passive sensors, therefore, are limited by atmospheric conditions. On the other hand, active sensors emit their own radiation, usually in the radio portion of the electromagnetic spectrum, and detect the reflected signals after the radiation has interacted with Earth's surface (Richards, 2009). When a signal interacts with the surface, characteristics such as geometry and moisture content affect the polarization and amplitude of the backscattered signal, this is the principle behind earth observation through radar radio signals and technology such as synthetic aperture radar (SAR) (Chen, 2016). Due to its characteristics, Earth scanning technologies are susceptible to attacks both from RF interference and cyber-attacks down the distribution chain (figure 2).

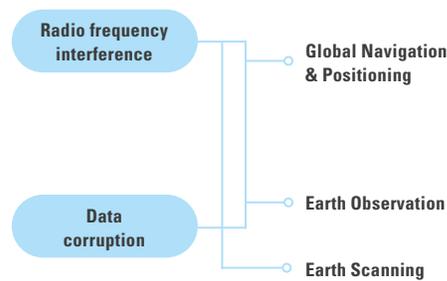


Figure 2. Security threats by geospatial technology classification platforms.
Source: author.

Discussion

The classification of a broad range of satellite technologies based on a geospatial application criterion yielded three main groups: GNSS, earth observation, and earth scanning. Each group encompasses dissimilar technologies such as GPS and AIS at the GNSS group; or small and high resolution satellites at the earth observation group.

The literature in security threats has reported commonalities among the different technologies within the same group, with GNSS's main vulnerability being spoofing, earth observation prone to man-in-the-middle data corruption, and earth scanning technologies being susceptible to combinations of RF and cyber-interference.

Conclusion: A Case for the Use of Emerging Technologies as a Countermeasure

For the threat of RF attacks and interference with space platforms, which are common to GNSS and earth scanning technologies, the use of artificial intelligence (AI) techniques has been proposed over decades by influential actors such as the European Space Agency (ESA). This organization states the advantages of spacecraft autonomy for space operations, as it is an environment where there is significant—and sometimes

unexpected—communications delay between the operator and the spacecraft (Manning *et al.*, 2018). This setting poses an opportunity for AI and machine learning technologies to give a head start in the race for space cybersecurity by allowing satellites to autonomously identify malicious signals or commands through the use of embedded software, which enable them to take actions to protect themselves (Kothari *et al.*, 2020).

In the case of cyberattacks directed to corrupt data of both earth observation or earth scanning satellites, blockchain technologies such as non-fungible-token (NFT) can be used to generate certificates onboard the satellite that allow traceability of Earth observation data throughout the processing of the data and final use and presentation of the information (Iacobellis *et al.*, 2020).

Next Steps

Two main directions can be explored for further research, and they can even complement each other. The first relates to taking advantage of how easily a bench or laboratory model of a small satellite can be obtained. The CubeSat is a standard for satellite construction developed by California Polytechnic State University to facilitate access to space by university students (CubeSat, 2018). Due to this trend, models for laboratory testing purposes can be currently obtained from either renowned manufacturers (ISIS Space, 2020) or built in-house using readily available electronic components (The CubeSat Simulator Project Page, 2020).

Such a system (figure 3) can be implemented with a computer paired to a radio emitter, while different algorithms could be trained on the computer to try to hack or interfere with satellite-specific functions. Similar to the US Air Force approach, in which hackers were invited to try to hack a satellite to detect previously unidentified vulnerabilities (Hackasat, 2020), a computer could do the same in a university environment while iterating through thousands of possibilities through algorithm training.

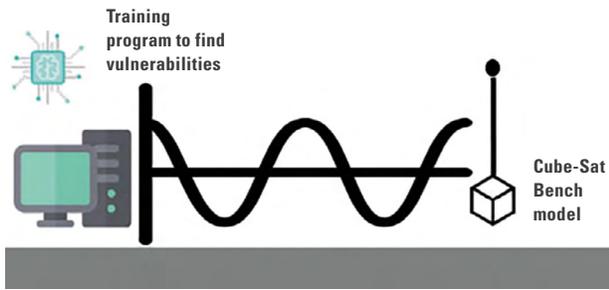


Figure 3. Training program to hack a bench model of a CubeSat in a laboratory environment.
Source: author.

The second approach seeks to take advantage of amateur-operated ground station data. These stations monitor satellite data and activity and are owned and operated by amateur radio enthusiasts and makers from around the world (AMSAT, 2020). The project SatNOGS, by Libre Space Foundation, provides a platform in which hundreds of these stations are crowdsourced for both operation and data access (SatNOGS, 2020). As presented in figure 4, by taking advantage of these unprecedented opportunities, a large data set of telemetry information from different satellites and ground stations can be gathered. Such data sets could be processed using machine learning algorithms to identify parameters previously overlooked and that might play a key role in identifying potential vulnerabilities in space platforms.

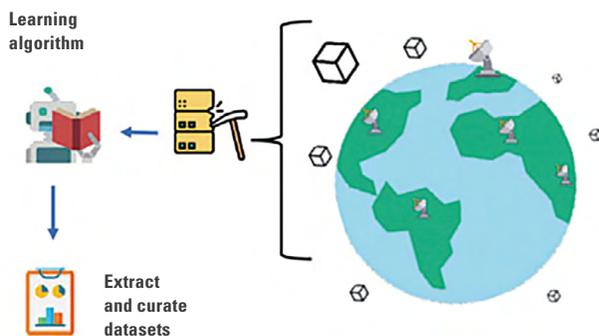


Figure 4. Creating a dataset from amateur satellite ground stations located all over the world.
Source: author.

Disclosures: Authors declare no institutional or personal conflicts of interest.

References

- Chen, K. S. (2016). *Principles of synthetic aperture radar imaging: A system simulation approach*. CRC Press.
- Chuvienco, E. (1990). *Fundamentos de teledetección espacial*. Ediciones Rialp.
- Copernicus. (2021). *Copernicus services*. <https://www.copernicus.eu/en>
- CubeSat. (2018, March 20). *CubeSat*. <http://www.cubesat.org/>
- Fritz, J. (2013). Satellite hacking: A guide for the perplexed. *Culture Mandala*, 10(1), 5906.
- Geospatial Media Communications. (2017). *Global geospatial industry report*. Geospatial Media Communications.
- Hackasat. (2020). *Home*. <https://www.hackasat.com>
- Humphreys, T. E., Ledvina, B. M., Psiaki, M. L., O'Hanlon, B. W., & Kintner, P. M. (2008). Assessing the spoofing threat: Development of a portable GPS civilian spoofer. *Proceedings of the 21st International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation*. Institute of Navigation. <http://www.ion.org/publications/abstract.cfm?jp=p&articleID=8132>
- Iacobellis, M., Amodio, A., & Drimaco, D. (2020). Cyber-security threats to space missions and countermeasures to address them. *71st International Astronautical Congress (IAC) – The CyberSpace Edition, IAC-20-E9.2.D5.4*.
- ISIS Space. (2020, September 13). ISIS CubeSat development platform. ISIS Space. <https://www.isispace.nl/product/isis-cubesat-development-platform/>
- Kleos Space. (2021). *Delivering RF reconnaissance data-as-a-service*. Kleos Space. <https://kleos.space/>
- Korean Aerospace Research Institute [KARI]. (2021). *Korea Multi-Purpose Satellite (KOMPSAT, Arirang)*. KARI. https://www.kari.re.kr/eng/sub03_02_01.do
- Kothari, V., Liberis, E., & Lane, N. D. (2020). The final frontier: Deep learning in space. *ArXiv:2001.10362*. <http://arxiv.org/abs/2001.10362>
- Malik, W. J. (2019, July 26). *Attack vectors in orbit the need for IoT and satellite security* [Conference session]. RSA Conference 2019, San Francisco, CA, USA. <http://www.rsaconference.com/industry-topics/presentation/attack-vectors-in-orbit-the-need-for-iot-and-satellite-security>
- Manning, J., Langerman, D., Ramesh, B., Gretok, E., Wilson, C., George, A., MacKinnon, J., & Crum, G. (2018). Machine-learning space applications on smallsat platforms

with TensorFlow. *32nd Annual AIAA/USU Conference on Small Satellites*. <https://digitalcommons.usu.edu/smallsat/2018/all2018/458>

Planet. (2021). *Homepage*. <https://www.planet.com/>

Radio Amateur Satellite Corporation [AMSAT]. *Home*. (2020). AMSAT. <https://www.amsat.org/>

Richards, J. A. (2009). The imaging radar system. In J. A. Richards (Ed.), *Remote Sensing with Imaging Radar* (pp. 1-10). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-02020-9_1

Roundtable on Sustainable Palm Oil [RSPO]. (2021). *Home*. <https://rspo.org/>

SatNOGS. (2020, September). *SatNOGS*. <https://satnogs.org/>

The CubeSat Simulator Project Page. (2020). *Home*. <http://www.cubesatsim.org/>

Tullis, P. (2019, December 1). GPS is easy to hack, and the U.S. has no backup. *Scientific American*. <https://www.scientificamerican.com/article/gps-is-easy-to-hack-and-the-u-s-has-no-backup/>

Integración de procesos, gestión del riesgo y automatización en la gestión de las unidades militares

| Fecha de recibido: 7 de julio del 2021 | Fecha de aprobación: 27 de septiembre del 2021 |

**Gonzalo
Benítez Lloré**

Ingeniero comercial

Fuerza Aérea Ecuatoriana
Ecuador

Rol del investigador: teórico,
experimental y escritura

<https://orcid.org/0000-0002-2231-9819>

✉ gbenitez@fae.mil.ec

Cómo citar este artículo: Benítez-Lloré, G. (2021). Integración de procesos, gestión del riesgo y automatización en la gestión de las unidades militares. *Ciencia y Poder Aéreo*, 16(2), 67-81. <https://doi.org/10.18667/cienciaypoderaereo.724>



Integración de procesos, gestión del riesgo y automatización en la gestión de las unidades militares

Process Integration, Risk Management and Automation in Military Units Management

Integração de processos, gestão de riscos e automação na gestão das unidades militares

Resumen: La gestión por procesos es implementada en las organizaciones para ordenar actividades secuenciales que generan resultados de valor para los usuarios, aplicarlos en entornos complejos como la gestión de las unidades militares supone un reto administrativo que ha inspirado soluciones manuales e informáticas básicas que no son completamente compatibles con la demanda de rendimiento, integración y precisión en el flujo de información, elementos requeridos en el entorno tecnológico actual para facilitar la toma de decisiones. Las teorías y modelos aplicados a la gestión de riesgos y seguridad operacional en los ámbitos de la aviación, la industria, la medicina, han logrado reducir y mantener niveles de riesgo aceptables para la operación, por lo que pueden ser adaptados y aplicados a los procesos administrativos y de seguridad de las unidades militares para obtener los mismos resultados. En este artículo se plantea un modelo para la implementación de aplicaciones informáticas que fortalezcan los procesos administrativos y de seguridad de las unidades militares de Ecuador, fundamentadas en la combinación de las teorías de gestión por procesos, gestión de riesgos y bases de datos integradas. Al someter esta propuesta a una simulación de procesos se registró un significativo aumento en su eficiencia, que permitió identificar y eliminar los “cuellos de botella”, reduciendo el tiempo de ejecución promedio en 94,8 % y la cantidad de personal necesario de siete a dos, a través de la automatización de los procedimientos manuales y de su integración con diferentes departamentos, fortaleciendo la seguridad al acoplar e incluir, de forma visual, las barreras de prevención adoptadas del modelo del queso suizo, para alertar sobre inobservancias a las normas institucionales y los efectos que podrían comprometer la seguridad.

Palabras clave: procesos; automatización; eficiencia; gestión de riesgos.

Abstract: Process management is implemented by organizations in order to classify sequential activities that generate valuable results for users. Applying process management in complex environments such as military units management is an administrative challenge that has inspired manual and basic computer solutions not fully compatible with the demand in terms of performance, integration and precision in the flow of information, elements that are required in today's technological environment to facilitate decision-making. Theories and models applied to risk management and operational safety in the fields of aviation, industry, and medicine have managed to maintain acceptable operational risk levels. Therefore, these models can be adapted and applied to the administrative and security processes involved in military units management to obtain the same results. This article proposes a model for the implementation of computer applications that strengthen the administrative and security processes of Ecuadorian military units, based on the combination of the theories of process management, risk management, and integrated databases. After submitting this proposal to a process simulation, we observed a significant increase in its efficiency, allowing to identify and eliminate “bottlenecks” through the automation of manual procedures and their integration with different departments, reducing the average execution time by 94.8% and the required staff from 7 to 2. The proposal also allowed strengthening security by coupling and visually including the prevention barriers adopted from the Swiss cheese model, in order to alert the non-observance of institutional regulations and the derived effects that could compromise security.

Keywords: processes; automation; efficiency; risk management.

Resumo: A gestão de processos é implementada nas organizações para ordenar atividades sequenciais que geram resultados valiosos para os usuários, aplicando-as em ambientes complexos como a gestão de unidades militares, é um desafio administrativo que tem inspirado soluções manuais básicas e informáticas, que não são totalmente compatíveis com a demanda por performance, integração e precisão no fluxo de informações, elementos necessários no ambiente tecnológico atual para facilitar a tomada de decisões. Teorias e modelos aplicados à gestão de riscos e segurança operacional nas áreas de aviação, indústria, medicina, etc. Eles conseguiram reduzir e manter níveis de risco aceitáveis para a operação, de forma que possam ser adaptados e aplicados aos processos administrativos e de segurança das unidades militares para obter os mesmos resultados. Este artigo propõe um modelo de implementação de aplicações informáticas que fortaleçam os processos administrativos e de segurança de unidades militares de Equador, a partir da combinação das teorias de gestão de processos, gestão de riscos e bases de dados integradas. Ao submeter esta proposta a simulação de processos, registou-se um aumento significativo da sua eficiência que permitiu identificar e eliminar “gargalos”, reduzindo o tempo médio de execução em 94,8% e o número de pessoal necessário de 7 para 2, para através do automatização de procedimentos manuais e sua integração com diferentes departamentos, reforçando a segurança por acoplamento e incluindo visualmente as barreiras de prevenção adotadas a partir do modelo do queijo suíço, para alertar sobre o não cumprimento das normas institucionais e os efeitos que podem comprometer a segurança.

Palavras-chave: processos; automação; eficiência; gerenciamento de riscos.

El rendimiento operativo de las organizaciones es directamente proporcional a su capacidad de gestionar la información, tanto interna como externa, así como sus procesos (Prajogo *et al.*, 2018), haciendo imprescindible la introducción y constante actualización de tecnologías que contribuyan a la administración eficiente, integrada y coordinada para elevar el nivel de competitividad en sus productos o servicios.

En este contexto, al hablar de la gestión de las instituciones militares, se evidencia un elevado nivel de complejidad, puesto que requiere cumplir y hacer cumplir procedimientos operativos y administrativos, enmarcados en las normativas legales que rigen su funcionamiento y que pueden generar responsabilidades ante su inobservancia, por ejemplo, la administración de personal que está en constante rotación y la custodia de recursos críticos como el armamento y los medios militares empleados para la seguridad y la defensa del país.

Ante este escenario, continuamente se han implementado procesos orientados a optimizar la gestión de las unidades militares; sin embargo, hay quienes carecen de un nivel de automatización compatible con la tecnología disponible en la actualidad, dando paso a la ocurrencia de errores administrativos y vulnerabilidades en los sistemas de seguridad.

De aquí surge la importancia de considerar la implementación de soluciones automatizadas para la ejecución de tareas que no requieren, necesariamente, de la intervención humana (Figuroa-García *et al.*, 2017), como una aproximación para fortalecer la gestión, aumentar las capacidades de control y prevención, así como para mejorar la comunicación y el trabajo integrado entre los actores de los procesos institucionales. Por ello, es automatización, la opción más viable para combinar estos requerimientos y, al mismo tiempo, mejorar la experiencia de los usuarios.

Esta investigación fue motivada por la identificación de inconvenientes en la gestión de la información en los procesos administrativos y de seguridad de las unidades militares de la Fuerza Aérea Ecuatoriana (FAE), especialmente, en lo que se refiere a la del talento humano, seguridad operacional y física. Estas debilidades tienen la capacidad potencial de afectar el

normal desarrollo de los procesos, produciendo errores que podrían, no solo ser observados por organismos de control interno y externo a la institución, sino vulnerar los sistemas de seguridad física e integrada (Evans *et al.*, 2019).

El objetivo de este trabajo académico es plantear un modelo de Sistema Integrado de Gestión para el diseño y aplicación de soluciones informáticas en la gestión de procesos en las unidades militares (Ministerio de Defensa Nacional, 2018a), combinando el rediseño de procesos, la prevención de riesgos y la automatización en un entorno de base de datos integrada, encaminados a elevar la eficiencia en la gestión administrativa y de seguridad; el intercambio de información en tiempo real; el trabajo integrado entre departamentos; la mejora de la experiencia de los usuarios y la integridad de los registros, los indicadores y las estadísticas.

Descripción de la metodología

Para identificar las debilidades en la gestión de la información de los procesos administrativos y de seguridad en las unidades militares y concebir una propuesta aplicable para su solución, se realizó una revisión teórica sobre el rediseño de procesos y su impacto en la organización al mejorar su desempeño; de los modelos de gestión de riesgos para la seguridad operacional y su aplicación al ámbito administrativo; así como del diseño de bases de datos integradas para alcanzar las capacidades que demanda esta propuesta.

Este modelo combinado se enmarca, principalmente, en las teorías de bases de datos integradas de Ricardo (2009); la gestión por procesos de Pérez (2004); la mejora en el rendimiento de los procesos de Raynus (2011) y su medición, a través de indicadores de desempeño clave (IDC), planteados por Van Der Aalst *et al.* (2016); el modelo cooperativo conceptual para el diseño de procesos, digitalización e innovación de Sehlin *et al.* (2019) y el modelo del queso suizo de Reason (2009), y de sus casos de aplicación, expuestos en el artículo “Managing Risk Through Layers of Control” de Lyon y Popov (2020).

También se han considerado estudios sobre el impacto de la introducción de sistemas para el análisis de datos (Hu *et al.*, 2018) y casos en los que se ha implementado el modelo del queso suizo para la gestión del riesgo, la investigación y la prevención en los campos de la seguridad operacional y ocupacional en la aviación (Mat Ghani & Zheng Yi, 2018), la medicina (Noh *et al.*, 2020) y la industria (Shokouhi *et al.*, 2019).

A partir de esta información, se desarrolló e implementó un *software* piloto con algunas de las funcionalidades básicas que se formulan en este artículo, integrando los procesos y el intercambio de información automática entre el Departamento de talento humano y los departamentos Seguridad integrada, el Centro de salud y el Sistema de seguridad física de la unidad militar, facilitando el seguimiento de los procesos en tiempo real y la generación de reportes y alertas automáticas ante inconsistencias en los registros o incumplimientos a las normas vigentes, es decir, que se adaptó el modelo de queso suizo a una interfaz amigable para la identificación oportuna de fallas y la gestión del riesgo en los procesos administrativos y de seguridad.

Se instruyó al personal del Departamento de talento humano del ala de combate n.º 21 de la FAE para que lo administre e ingrese todas las solicitudes referentes al subproceso Monitoreo de personal, en forma paralela a los procedimientos que se ejecutan manualmente. Es importante recalcar que, a partir del ingreso de esta información, se actualizan y se modifican los registros de los otros departamentos de forma inmediata, por ejemplo, si una persona era transferida hacia otra unidad militar, los administradores debían desactivar su cuenta, esto provocaba la actualización automática de los reportes y los registros del personal disponible en los otros departamentos, así como la anulación de autorizaciones de acceso y habilitaciones.

Posteriormente, se realizó la descarga y análisis de los datos obtenidos en el periodo de un año, para establecer de forma cuantificable sus IDC, que fueron ingresados en el programa de simulación de procesos libre “BPSimulator” (Prolis lab2k, 2019) el cual fue configurado de acuerdo a las observaciones realizadas a través de una investigación empírica para identificar

las principales causas de los inconvenientes presentados en su desarrollo, obteniendo así información y un diagnóstico sobre el impacto en el rendimiento de la totalidad del subproceso bajo criterios, condiciones y demoras aleatorias similares a las observadas empíricamente, como una aproximación al entorno real para estimar el impacto en términos de optimización, con miras al rediseño de los procesos que serán automatizados (Heinrich *et al.*, 2017).

Rediseño de la gestión por procesos

Se considera que los procesos inefectivos e ineficientes existen porque no son diseñados como un todo, sino que son ajustados de forma improvisada de acuerdo a la dinámica del trabajo y a los casos especiales que se presentan en las organizaciones. Generalmente este fenómeno se proyecta en el tiempo, trascendiendo de generación en generación (Laguna & Marklund, 2018).

Un proceso está definido como la “secuencia [ordenada] de actividades [repetitivas] cuyo producto tiene valor para su usuario o cliente” (Pérez, 2004). El autor también hace referencia al concepto de un sistema como un “conjunto de elementos interrelacionados que persiguen un objetivo común” (Pérez, 2004) y más adelante en su obra aborda el modelo de SIG, aplicado en las organizaciones, combinando la gestión de la calidad, el medio ambiente, los riesgos laborales, entre otros, como factores estratégicos adoptados por las empresas para elevar su eficiencia y competitividad.

Esta combinación multidimensional puede ser adaptada a las necesidades de las unidades militares para obtener un impacto similar. En el caso particular de esta propuesta, se ha reorientado a un SIG que combina la calidad de los procesos administrativos y el fortalecimiento de la seguridad. La implementación de esta herramienta permite mejorar la gestión organizacional, enfocándola a la excelencia en el servicio para los usuarios, en este caso, los comandantes, jefes departamentales y el personal militar en general.

Un estudio realizado sobre la metodología de la mejora de los procesos en universidades australianas

plantea un modelo que ayuda a entender la excelencia en el servicio, la cual se enfoca en cuatro ejes: 1) la estrategia anclada a la excelencia en el servicio, 2) la cultura modificada hacia modalidades “self-service”, 3) los sistemas y 4) los procesos como vehículo para entregar servicios eficientes y la medición del desempeño, tanto para establecer el grado de operacionalización de la excelencia en el servicio, como para utilizarla como evidencia en la toma de decisiones (Ciancio, 2018).

Es importante considerar que las modificaciones que se implementen en los procesos no necesariamente garantizan una mejora en la eficiencia o un impacto favorable para todos sus participantes. Al adoptar soluciones improvisadas o aisladas, se corre el riesgo de comprometer los IDC de otro proceso o la carga de trabajo de otro departamento o usuario, haciéndolo inefectivo o ineficiente.

El rediseño de procesos requiere de un enfoque integral y un análisis permanente, ya sea observado, o estimado, de los indicadores de desempeño aplicados a la solución propuesta para asegurar que realmente se los está optimizando en su conjunto. En el caso de esta investigación, el rediseño de procesos ha ido acompañado de IDC en parámetros de tiempo, costo y calidad (Van Der Aalst *et al.*, 2016).

Otro aspecto a considerar es la necesidad de sustituir el paradigma tradicional orientado a la estructura organizacional, donde los procesos se ejecutan individualmente en cada departamento, para reemplazarlo por el nuevo paradigma orientado al proceso, en el que se lo ejecuta de forma transversal en la organización, con la participación de varios departamentos, conceptualizándose como procesos multifuncionales (Raynus, 2011).

Para efectos de esta investigación se seleccionó como muestra al subproceso “Monitoreo de personal” (Dirección de planificación y gestión estratégica de la Fuerza Aérea Ecuatoriana, 2018), constituyéndose como uno de los más demandantes para los departamentos de Talento Humano de las unidades militares de la FAE, debido a que se ejecutan procedimientos complejos y se generan cantidades considerables de documentos, siendo catalogados de la siguiente manera:

- Registro de personal.
- Partes de personal.
- Roles de servicios.
- Régimen de personal.
- Sistema de gestión documental.

Todos ellos generan estadísticas, informes y proyecciones que contribuyen al control y cumplimiento de normas legales e institucionales aplicadas a la gestión del talento humano.

A través de la investigación empírica se identificaron afectaciones a los IDC de este subproceso y se pudo determinar que su causa predominante fue la excesiva intervención manual en tareas que pueden ser ejecutadas por herramientas informáticas. En lo que respecta a los tiempos de ejecución se registraron demoras variables en cada etapa del subproceso (cuellos de botella) provocados por la intervención de personas con excesiva carga de trabajo que colaboran en otras tareas del departamento. A esta demora se suma el tiempo transcurrido durante el transporte de la documentación entre varios departamentos o funciones durante el desarrollo del subproceso.

Para el cálculo de los costos se consideró el generado por la impresión de los documentos requeridos en el subproceso. Se ha excluido el gasto económico por remuneración debido a la naturaleza y características de la institución militar, sin embargo, si se considera una tasa promedio de tiempo empleado por persona para cada tarea.

El indicador de calidad del subproceso marca la cantidad de inobservancias en los plazos de estos trámites administrativos, considerado en este caso como un error debido a que la exigencia institucional es que la legalización de estos documentos sea cumplida de forma anticipada, es decir, máximo hasta la fecha de inicio que estipula la solicitud presentada.

Una vez establecidos estos IDC, se recopilaron los datos del *software* piloto, correspondientes a un periodo aleatorio de un año, entre el 15 de abril del 2019 y 15 de abril del 2020. Los resultados mostraron un total de 4.141 solicitudes registradas, las cuales fueron presentadas en 310 días, que equivalen a un promedio de 13,4 solicitudes presentadas a diario; sin embargo, se

legalizaron 4.121 en 236 días, lo que representa un promedio de 17,5 legalizaciones diarias.

La diferencia entre estos promedios pone de manifiesto que el esfuerzo realizado por el personal involucrado en el subproceso no es suficiente para cubrir la totalidad de las solicitudes presentadas, debido a que una solicitud se puede presentar en cualquier fecha y hora, mientras que su procesamiento es ejecutado en días y horario laborables, disponiendo de tiempos menores que, a su vez, generan retrasos en su cumplimiento.

De las 4.141 solicitudes presentadas al Departamento de Talento Humano, 791 fueron ingresadas de forma extemporánea, la ocurrencia de estos eventos se distribuyó en 250 días. Lo que significa que el mismo número de reportes diarios e informes de situación de personal que fueron emitidos en el periodo analizado, presentaron alguna inconsistencia, es decir, un 68,5 % al año.

Estos resultados, así como la información obtenida a través de la investigación empírica fueron ingresados al simulador de procesos libre “BPSimulator” con la finalidad de obtener un parámetro de tiempo de ejecución de este que se aproxime al observado. Considerando que se desconoce el tiempo transcurrido desde que el solicitante inicia el subproceso hasta la presentación de su documento en el Departamento de talento humano, se configuró el simulador para que seleccione aleatoriamente demoras en el rango de 15 a 120 min en los procedimientos de esta fase y combinarlos con los registrados durante la legalización, registro manual y archivo.

Se incluyeron puntos de control en la simulación que permitieron medir el tiempo de ejecución del subproceso en varias etapas de la secuencia, así se obtuvieron las referencias de este parámetro en las tareas de legalización del jefe del Departamento de talento humano, actualización del parte diario de personal, actualización del rol de servicios (personal de guardia) y el archivo de los documentos como punto de finalización.

La simulación determinó que el tiempo de ejecución promedio de una solicitud, desde que es iniciada hasta que es archivada al final del subproceso, es

de 06:35:41 y emplea siete personas (véase figura 1), lo que representó un tiempo promedio de 0:56:25 por cada una. Considerando que el periodo laborable es de 08:00:00, este resultado pone de manifiesto la razón por la cual se da la acumulación de las tareas de actualización de los registros y estadísticas del personal, las cuales deben ser ejecutadas en horarios extendidos e incluso al día siguiente. Este fenómeno es una de las principales causas de las inconsistencias y demoras en los registros y estadísticas del subproceso.

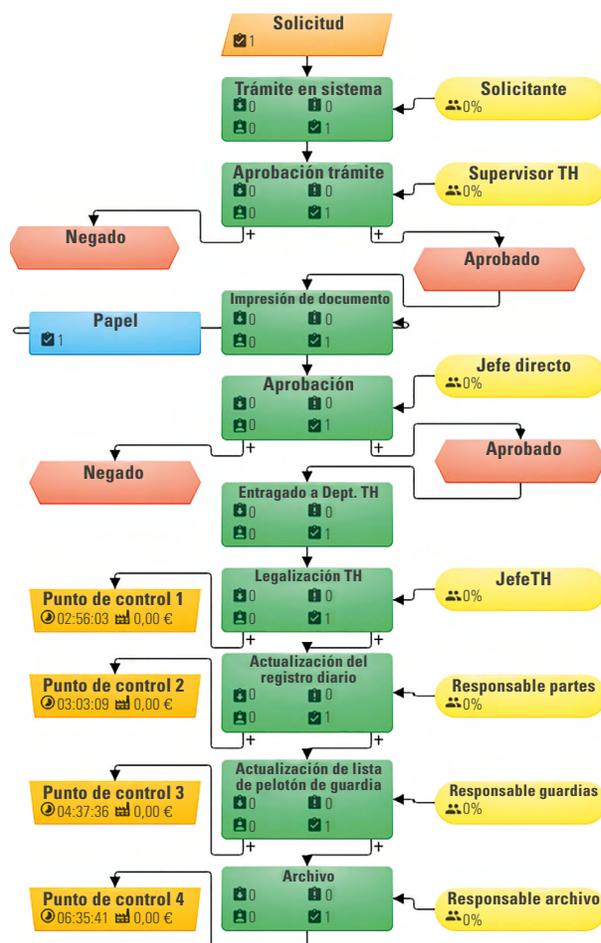


Figura 1. Subproceso de monitoreo de personal ingresado en “BPSimulator” (1 solicitud)

Fuente: BPSimulator.

Al configurar el simulador para el procesamiento de 13 solicitudes diarias, de acuerdo con la información arrojada por el *software* piloto, se observó el fenómeno de retraso explicado anteriormente y el indicador

de longitud de cola en el horario laborable (véase figura 2). Los resultados indican que el 25 % del tiempo total del subproceso es de espera y el 40 %, de transporte, es decir, la demora de transferir el documento de una función a otra, además que de 13 trámites iniciados solo dos llegaron al fin del subproceso en el

mismo día, las tareas pendientes para el día siguiente fueron:

- Seis aprobaciones del supervisor de talento humano.
- Dos legalizaciones del jefe de talento humano.
- Tres de la lista del personal de guardia (rol de servicios).

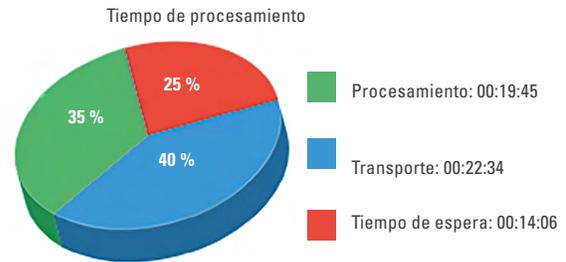
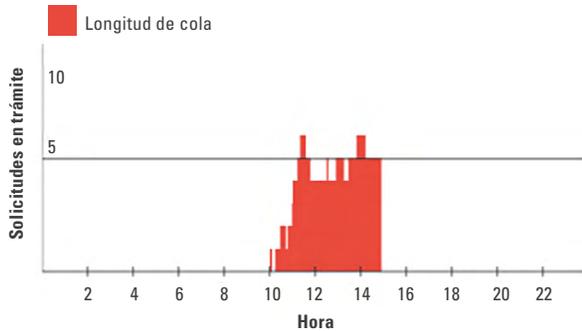


Figura 2. Resultado del subproceso de monitoreo de personal ingresado en “BPSimulator” (13 solicitudes)

Fuente: BPSimulator.

Al rediseñar el subproceso, tomado como ejemplo y utilizando el simulador para ajustarlo a la implementación de un software que contribuya a simplificar y mejorar sus IDC, se evidenció una significativa mejora en términos de eficiencia. Las principales modificaciones

fueron: la eliminación de la intervención de cinco personas, así como de los tiempos de espera y transporte que no contribuyen al procesamiento de los trámites (véase figura 3), dando como resultado la reducción del tiempo empleado por persona a 0:10:10.

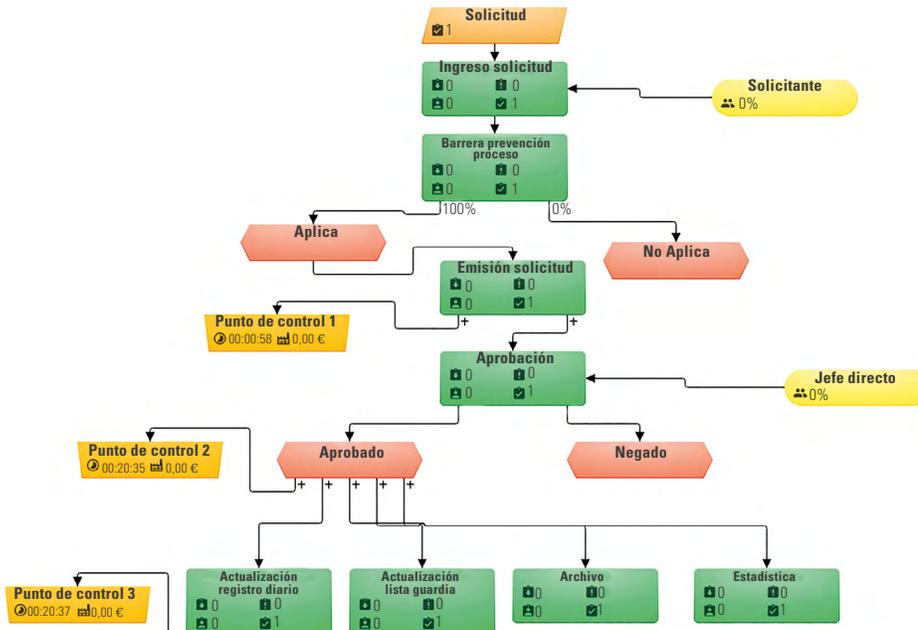


Figura 3. Rediseño propuesto para el subproceso de monitoreo de personal ingresado en “BPSimulator” (1 solicitud)

Fuente: BPSimulator.

Los resultados de la simulación arrojaron una reducción del tiempo de ejecución del subproceso de 06:35:41 a 0:20:37, es decir, de un 94,8 %, aun cuando fue introducida una validación de solicitudes automática como barrera de prevención ante errores o inobservancias a las normas institucionales. En este caso, el tiempo que puede afectar la normal ejecución del subproceso recae sobre la revisión y aprobación de la solicitud por parte del jefe directo del solicitante. Después de ejecutar esta aprobación todos los registros y estadísticas se actualizan automáticamente y casi instantáneamente como se visualiza en las

mediciones de tiempo de los puntos de control 2 y 3, actualizando, los registros de otros departamentos automáticamente.

Los resultados de la simulación para el procesamiento de 13 solicitudes diarias (véase figura 4) mostraron una significativa reducción de la acumulación de los trámites (longitud de cola). El tiempo de espera se redujo al 5 % del tiempo total de ejecución y el de transporte se elevó hasta 87 %. Vale la pena recalcar que este tiempo depende de la demora en la aprobación por parte del jefe directo del solicitante. Se observó, también, que los 13 trámites iniciados lograron concluirse el mismo día.

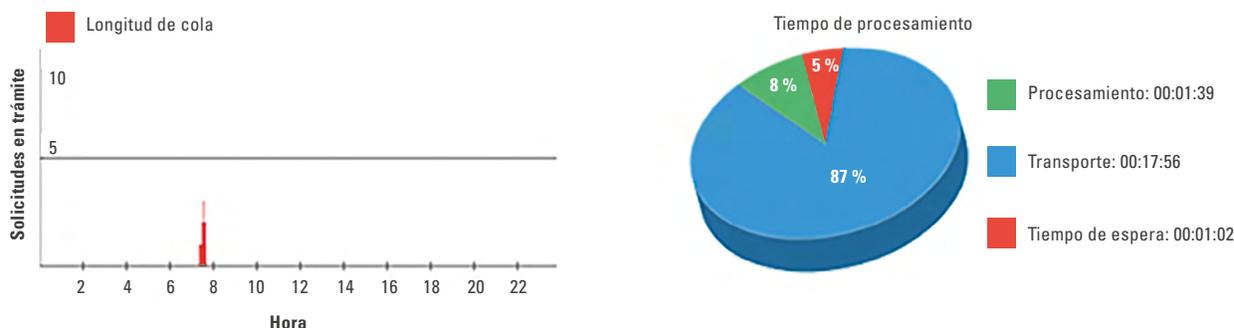


Figura 4. Resultado de la propuesta de rediseño del subproceso de monitoreo de personal ingresado en "BPSimulator" (13 solicitudes)

Fuente: BPSimulator.

Automatización de la gestión en un entorno de base de datos integrada

La correcta implementación de soluciones informáticas para análisis de datos en los procesos de una organización lleva implícito un impacto favorable para la eficiencia en la gestión y control, pues pone a disposición herramientas para generar estadísticas, cálculos y reportes de forma más ágil y exacta que las herramientas de uso común como las tablas de Excel (Hu *et al.*, 2018).

Estas aplicaciones permiten el monitoreo remoto y en tiempo real (Jamil *et al.*, 2020), generando un flujo de información permanentemente actualizado hacia los departamentos responsables de los procesos, lo que les permite trabajar e interactuar de forma colaborativa, modalidad que tiene un impacto favorable en el rendimiento de la organización (Askari *et al.*, 2020).

La necesidad de implementar este tipo de soluciones en las organizaciones de gran tamaño radica en la gestión y procesamiento de grandes cantidades de información, por ejemplo, en las instituciones de salud (Amaechi *et al.*, 2018), caracterizadas por ejecutar procesos críticos y que demandan de exactitud y velocidad para la toma de decisiones. Este mismo requerimiento se aplica a los procesos administrativos y de seguridad (Brooks *et al.*, 2020) de las unidades militares para hacerlos más eficientes.

En este contexto se plantea la aplicación de un modelo de base de datos integrada, el cual cuenta con un único repositorio de datos que puede ser utilizado de manera simultánea por varios departamentos y usuarios, no es exclusivo de un solo participante y se constituye como un recurso compartido de la organización (Ricardo, 2009). Las principales ventajas de este modelo según Ricardo (2009) son:

1. La compartición de datos entre todos los departamentos de acuerdo a la competencia de sus procesos.
2. El control de redundancia de datos, evitando registros duplicados que puedan generar inconsistencias en las estadísticas.
3. Consistencia de datos, pues al existir un solo dato que respalde las estadísticas, cualquier actualización de este se lo realizará una sola vez y afectará a todos sus usuarios.
4. Estándares de datos mejorados que permiten mantener un solo formato de acuerdo a las necesidades institucionales.
5. Se fortalece la seguridad de los datos mediante el control y restricción de acceso u operaciones no autorizadas en la base de datos.
6. Se fortalece la integridad de datos mediante la posibilidad de crear alertas y restricciones ante comportamientos no deseados para que puedan ser contrarrestados anticipadamente.
7. Se establece un equilibrio de los requisitos de los usuarios, evitando que entren en conflicto con las necesidades de otros usuarios.
8. El tiempo para desarrollar actualizaciones o mejoras al *software* se reduce, debido a que se cuenta con datos relacionados a la organización para su uso inmediato.
9. Mejora la accesibilidad a los datos a través de interfaces interactivas y amigables.
10. Al centralizar la base de datos, los costos de operación y mantenimiento se reducen a una sola instalación física.
11. Mejores procedimientos de respaldo y recuperación, pues al mantener una única base de datos se pueden programar y ejecuta operaciones de respaldo automático de un solo servidor.

Las ventajas que ofrece este modelo pueden ser explotadas en diferentes aspectos de acuerdo a las necesidades de cada departamento (véase figura 5), elimina procedimientos manuales y sincroniza las estadísticas y reportes, pues si un departamento ingresa o actualiza un dato, este cambio se verá reflejado en los indicadores y reportes de los otros departamentos participantes de forma automática.

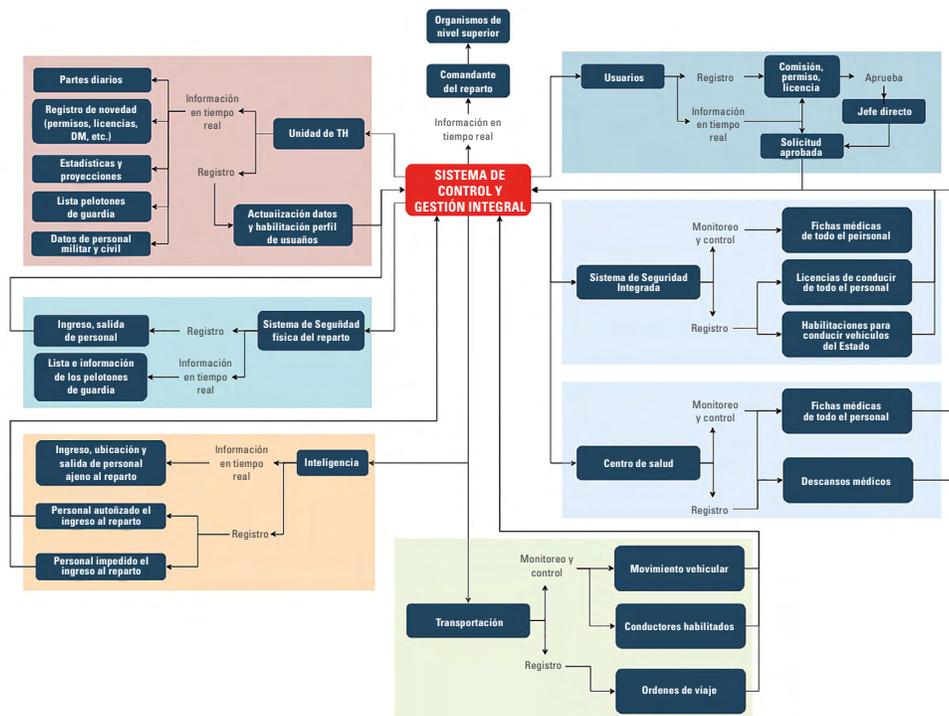


Figura 5. Capacidades de la base de datos integrada y su relación con los departamentos de la organización.
Fuente: elaboración propia.

La implementación del *software* OVFAE en el 2015, concebido a partir de la “Propuesta de diseño e implementación de un Sistema de información gerencial aplicado a la operaciones aéreas y evaluación de pilotos para el Escuadrón de Combate n.º 2.313 de la Fuerza Aérea Ecuatoriana” (Benítez, 2013), constituye un ejemplo de las potenciales prestaciones que ofrece la adopción de un modelo similar y que puede ser aplicado a los procesos administrativos y de seguridad.

Este diseño elimina la duplicidad, inconsistencias y errores en los registros, además permite un seguimiento en tiempo real de los indicadores en todos los niveles de la organización, la creación de alertas que pueden ser disparadas ante la detección de un comportamiento anormal y su notificación vía correo electrónico para la adopción de su acción correctiva de forma anticipada.

Es importante recalcar que, al introducir soluciones tecnológicas a la gestión por procesos, se fortalece la estandarización de las tareas y sus indicadores, que no se verían afectados en su integridad o rendimiento, considerando el entorno variable característico de las unidades militares debido a su alta rotación de personal (Nikolaidou *et al.*, 2001).

Adaptación del modelo del queso suizo en entornos informáticos

En el ámbito de la seguridad es conocido que la probabilidad de cometer errores se encuentra latente por naturaleza, en todo entorno o actividad que involucre la intervención del ser humano. Importantes autores como James Reason (1990) han desarrollado y publicado, tanto estudios, como modelos para explicar este fenómeno, prevenirlo y contrarrestar sus efectos, entre los cuales se destaca el “modelo del queso suizo”. Su amplio espectro de aplicación ha generado resultados positivos para la seguridad operacional y ocupacional en la aviación (Mat Ghani & Zheng Yi, 2018), la medicina (Noh *et al.*, 2020), la industria (Shokouhi *et al.*, 2019), etc.

El modelo del queso suizo es considerado una herramienta poderosa en el pensamiento de las barreras preventivas o líneas de defensa (Reniers *et al.*, 2020), las cuales se representan como planos que contienen ventanas de oportunidad creadas como consecuencia de actos inseguros y brechas en los sistemas de defensa. Estas áreas de permeabilidad varían constantemente en su ubicación y tamaño por la gran cantidad de variables impredecibles que afectan a su respectivo plano. Bajo ciertas circunstancias estas brechas pueden alinearse para formar una trayectoria directa hacia la ocurrencia de un accidente (Reason, 1990).

La aplicación de este modelo a casos de estudio o investigación de accidentes (Lyon & Popov, 2020) contribuye al análisis, comprensión e identificación de las fallas en las capas de protección que causaron el accidente (Akuh & Atombo, 2019), siendo un aporte valioso y puntual para la seguridad operacional y permitiendo fortalecer las medidas preventivas para interrumpir la cadena de eventos que conducen a un desastre (Larouzee & Le Coze, 2020).

Los procesos administrativos, que por lo general no acarrear un riesgo catastrófico, sí tienen la capacidad de generar responsabilidades legales y comprometer la seguridad en los ámbitos operacional y físico de las unidades militares, más aún en el escenario actual donde han proliferado amenazas asimétricas (Ministerio de Defensa Nacional, 2018b), cuyos efectos ya han afectado a las instituciones militares. Entonces, ¿por qué no dar el mismo tratamiento de prevención a estos procesos?

En la figura 6 se aprecia la adaptación del modelo del queso suizo de Reason al subproceso de verificación de documentos exigidos por las normas internas y externas a la institución, previo a la salida de vehículos institucionales. En este esquema, los controles existentes se han establecido como barreras preventivas que dependen de dos organismos: el Departamento de seguridad integrada y el Centro de salud. La falla en cualquiera de estas barreras representa la inobservancia de alguna norma, por lo que son alertadas en color rojo y deben ser corregidas inmediatamente después de ser detectadas.

Aun cuando el subproceso de verificación es claro y sencillo, su aplicación presenta vulnerabilidades que favorecen el cometimiento de errores, pues la persona que lo ejecuta solo tiene acceso al documento del chequeo médico diario que presenta el conductor (Chequeo pre-manejo), es decir, una de las cuatro barreras de prevención existentes para garantizar que un conductor se encuentre habilitado.

Esta situación se presenta debido a que, en el punto de control, no se dispone de acceso a la información de todos los organismos que participan en la habilitación del conductor. El hecho de que la tarea sea manual (presentación de un documento) y de que esto ocurra en un entorno donde existe una altísima

rotación de personal (turnos de 3 horas), constituyen condiciones propicias para la toma de decisiones subjetivas y no estandarizadas.

Aumentar los documentos a presentar por el conductor y cumplir con sus respectivas verificaciones para disminuir la permeabilidad en las cuatro barreras de prevención establecidas institucionalmente, acrecentaría el tiempo de ejecución de este subproceso y, consecuentemente, la carga de trabajo, tanto para el conductor, como para la persona que hace la verificación. Es aquí donde se evidencia la necesidad de una aplicación informática para acelerar el desarrollo del subproceso y facilitar la toma de decisiones de forma inmediata y estandarizada.

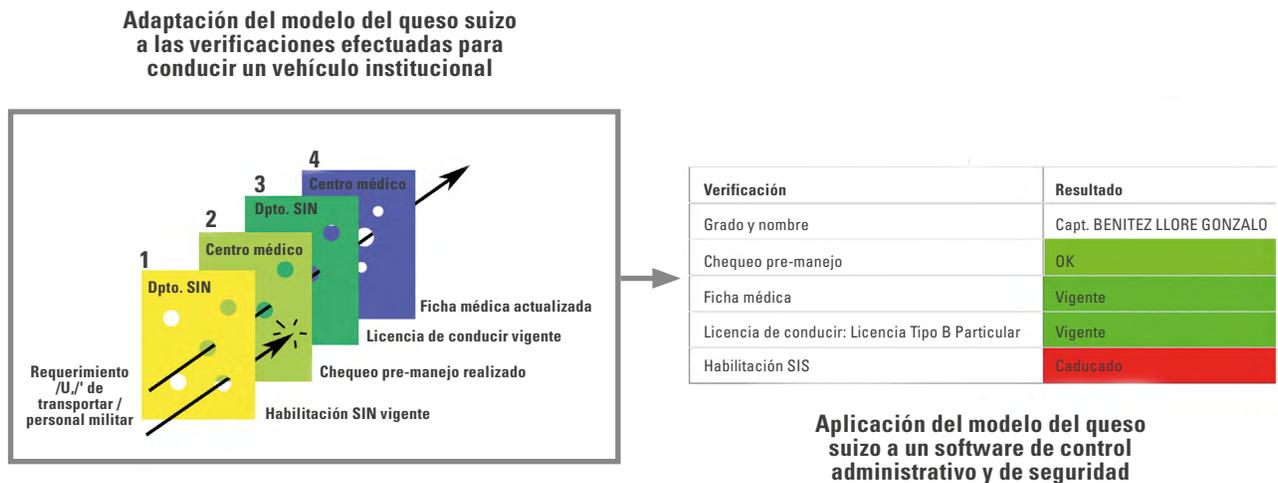


Figura 6. Aplicación del modelo del queso suizo al diseño de un sistema informático
Fuente: elaboración propia.

Adaptar este modelo a través de una aplicación informática permite vincular los datos de los organismos participantes en el subproceso, información que estaría disponible tan solo con ingresar el número de identificación del conductor que se presente en el punto de control de la unidad militar. Así se puede alertar inmediatamente sobre alguna inhabilitación en cualquiera de las cuatro barreras de prevención.

En este caso, tomado como ejemplo la decisión estandarizada que sugiere el sistema a cualquier usuario, mediante una indicación de incumplimiento, se

busca evitar que el conductor haga uso de un vehículo institucional por estar inhabilitado, puesto que, ante la ocurrencia de un incidente o accidente, pondría al descubierto inobservancias administrativas con el potencial de generar responsabilidades legales u obstáculos en la aplicación de seguros.

Este ejemplo demuestra la importancia de compartir información entre los organismos que participan en el mismo proceso, lo que fortalece la gestión administrativa y la seguridad. Esta carga de información debe observar un diseño amigable, resumido, en

tiempo real y adaptado a un modelo de prevención de riesgos, facilitando la toma de decisiones estandarizadas y alineadas a las normas institucionales.

Este modelo puede ser aplicado a otros procesos de seguridad de las unidades militares, como el control de acceso de personal a las instalaciones (Song *et al.*, 2018), en el que se conectaría a los departamentos responsables de la seguridad y recursos humanos para la emisión de autorizaciones de ingreso al personal, de acuerdo con perfiles que permitan adoptar protocolos de seguridad, teniendo en cuenta el nivel de riesgo que representan, así como el monitoreo durante su permanencia, el registro de salida y un historial de visitas.

Los resultados expuestos evidencian los beneficios en la gestión y seguridad que se pueden alcanzar en cualquier proceso de las unidades militares,

aplicando un modelo de SIG que combina la calidad de los procesos administrativos y el fortalecimiento de la seguridad mediante el rediseño de procesos, la gestión de riesgos y la automatización en un entorno de base de datos integrada.

Resultados

La simulación del rediseño del subproceso “Monitoreo de personal” utilizado en este ejemplo permite hacer una comparación cuantitativa de los IDC en parámetros de tiempo, costo y calidad (véase tabla 1), para medir la mejora en términos de eficiencia, como resultado de la implementación del modelo propuesto en esta investigación.

Tabla 1
Mejoras en términos de eficiencia en el subproceso de monitoreo de personal

Parámetro	Proc. Manual	Proc. Automatizado
Registros con inconsistencias en un año	68,5 %	1,7 - 2,2 %
Costo anual impresiones (aprox.)	85,82 USD	0,00 USD
Tiempo de ejecución del subproceso	06:35:4	0:20:37
Cantidad de personas empleadas en el subproceso	7	2
Promedio de tiempo empleado por persona en el subproceso	0:56:25	0:10:10

Fuente: elaboración propia.

En cuanto al subproceso de verificación de documentos previo a la salida de vehículos institucionales, no se contó con registros que puedan arrojar una medición

cuantitativa de IDC; sin embargo, se exponen las capacidades que brinda esta herramienta en el punto de control de la unidad militar desde un enfoque cualitativo.

Tabla 2.
Mejoras cualitativas en el subproceso de verificación de documentos previo a la salida de vehículos institucionales

Parámetro	Proc. Manual	Proc. Automatizado
Cantidad de barreras de prevención visualizadas por el usuario Integración de información entre departamentos participantes (enfoque multifunción)	1	4
Integración de información entre departamentos participantes (enfoque multifunción)	No	Sí
Información disponible en tiempo real	No	Sí

Discusión

El rediseño de la gestión por procesos permite implementar SIG para la administración eficiente, segura y ajustada a las necesidades de las unidades militares, reorientándolos a un enfoque multifunción de ejecución transversal en la organización que fortalezca la comunicación y el trabajo integrado entre sus actores. En este contexto, es importante considerar la evaluación permanente de los IDC dentro de los procesos modificados para evaluar y evidenciar de forma cuantitativa el impacto en la eficiencia ante su implementación.

La automatización de la gestión por procesos a través de un entorno de base de datos integrada permite la ejecución y monitoreo de procesos multifuncionales en las unidades militares, lo que implica una mejora sustancial en la comunicación e intercambio de información entre sus departamentos; un aumento significativo de la eficiencia en cuanto al procesamiento de datos, tiempos de ejecución y uso de recursos; además de la estandarización de las tareas y sus indicadores frente a un entorno de alta rotación de personal.

La adaptación del modelo del queso suizo a los procesos administrativos y de seguridad es un aporte valioso que permite identificar y analizar las fallas en las capas de protección, facilitando la adopción de medidas preventivas para interrumpir la cadena de eventos que conducen a situaciones no deseadas, en el caso de esta investigación, a la inobservancia de las normas legales y vulnerabilidades en la seguridad, de la misma forma que ha sido aplicado en los campos de seguridad operacional y ocupacional en la aviación (Mat Ghani & Zheng Yi, 2018), la medicina (Noh *et al.*, 2020), la industria (Shokouhi *et al.*, 2019), etc.

La combinación de estos tres elementos como un SIG, el cual fue ingresado en el simulador de procesos “BPSimulator” para su evaluación, demostró un impacto positivo en cuanto a su eficiencia en el subproceso “Monitoreo de personal” tomado como muestra, debido a una reducción en su tiempo de ejecución promedio en un 94,8 %, sus costos de impresión de 85,82 USD a 0 USD, la tasa de horas empleadas por hombre de 0,94 a 0,17 y los registros diarios de personal con

inconsistencias de 68,5 % a 1,7-2,2 % al año. Estos resultados evidencian la optimización del proceso de forma integral, aún con la introducción de barreras de prevención.

En cuanto al subproceso de verificación de documentos previo a la salida de vehículos institucionales, la implementación de este modelo posibilita la visualización, mediante una interfaz amigable para los usuarios, de todas las barreras de prevención adoptadas institucionalmente y su estado, en cuanto a su permeabilidad en tiempo real, permitiendo establecer alertas y notificaciones mediante correos electrónicos, lo que contribuye a la toma de decisiones estandarizadas y alineadas con la normativa legal.

Los resultados alcanzados mediante el uso del *software* piloto puesto en funcionamiento coinciden con la evaluación cuantitativa de los resultados del estudio sobre la implementación de un sistema de iniciativa mixta que respalda los datos integrados en los flujos de trabajo, donde se pone de manifiesto que el uso de *software* dedicado a facilitar la exploración de los datos ofrece resultados significativamente mayores en cuanto a la visualización y la rapidez para completar estas tareas, en comparación con el uso tradicional de programas como Excel (Hu *et al.*, 2018).

Conclusiones

Las unidades militares de la FAE cuentan con procesos complejos para su gestión organizacional; sin embargo, varios carecen de un nivel de automatización compatible con las tecnologías actuales, lo que posibilita la ocurrencia de errores administrativos y vulnerabilidades en la seguridad. Por esta razón es importante plantear soluciones automatizadas e integradas que contribuyan a optimizar el análisis y el intercambio de datos, así como a prevenir inobservancias a las normas legales, responsabilidades administrativas y afectaciones que comprometan los recursos humanos y materiales de la institución.

Se evidenció que las debilidades identificadas en los procesos tomados como muestra tienen su origen

en la elevada cantidad de procedimientos manuales, los cuales generan tiempos que no aportan a la ejecución de las tareas, produciendo “cuellos de botella” y colas, de acuerdo a los resultados de la simulación. A estas afectaciones se suma la alta rotación del personal involucrado en las tareas; condiciones que son favorables para la toma de decisiones subjetivas y el cometimiento de errores o inobservancias a las normas institucionales.

La aplicación de un modelo SIG, combinando el rediseño de la gestión por procesos, la gestión de riesgos y la automatización en un entorno de base de datos integrada como el aplicado en esta investigación a través del *software* piloto implementado en el ala de combate n.º 21, redujeron significativamente los tiempos de ejecución y el uso de recursos humanos y materiales en los subprocesos considerados como muestra, aun cuando se introdujo el modelo del queso suizo para la prevención de riesgos, lo que contribuyó, además, al intercambio de información con otros departamentos de la unidad militar, dando como resultado procesos administrativos y de seguridad más robustos, optimizados y modernizados.

Los subprocesos considerados como muestra para la aplicación de este modelo fueron seleccionados por su elevada complejidad y las vulnerabilidades que presentan; sin embargo esta metodología es aplicable a toda la gestión por procesos, constituyéndose como una herramienta que guía el diseño e implementación de soluciones informáticas a través de la evaluación de sus IDC para garantizar la optimización en el rendimiento de los procesos administrativos y de seguridad de las unidades militares de forma integral.

Declaración de conflicto de interés: El autor no manifiesta conflictos de interés institucionales ni personales.

Referencias

- Amaechi, J., Agbasonu, V., & Nwawudu, S. (2018). Design and Implementation of a Hospital Database Management System (HDMS) for Medical Doctors. *International Journal of Computer Theory and Engineering*, 10(1), 1-6. <https://doi.org/g2tp>
- Akuh, R., & Atombo, C. (2019). Road transport accident analysis from a system-based accident analysis approach using Swiss cheese model. *International Journal of Engineering Education*, 1(2), 99-105. <https://doi.org/g2t9>
- Askari, G., Asghri, N., Gordji, M. E., Asgari, H., Filipe, J. A., & Azar, A. (2020). The impact of teamwork on an organization's performance: A cooperative game's approach. *Mathematics*, 8(10), 1-15. <https://doi.org/g2tq>
- Benítez, G. (2013). *Propuesta de diseño e implementación de un sistema de información gerencial aplicado a las operaciones aéreas y evaluación de pilotos, para el Escuadrón de Combate n.º 2.313 de la Fuerza Aérea Ecuatoriana* [Trabajo de grado, Escuela Politécnica del Ejército]. Repositorio institucional de la Escuela Politécnica del Ejército. <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/1058/browse?value=Gonzalo+Benítez%2C+Lloré&type=author>
- Brooks, D. J., Coole, M., & Haskell-Dowland, P. (2020). Intelligent building systems: Security and facility professionals' understanding of system threats, vulnerabilities and mitigation practice. *Security Journal*, 33(2), 244-265. <https://doi.org/g2tr>
- Ciancio, S. (2018). The prevalence of service excellence and the use of business process improvement methodologies in Australian universities. *Journal of Higher Education Policy and Management*, 40(2), 121-139. <https://doi.org/g2ts>
- Dirección de planificación y gestión estratégica de la Fuerza Aérea Ecuatoriana. (2018). *Manual de procesos de la dirección de recursos humanos de la Fuerza Aérea Ecuatoriana (1.0)*. Fuerza Aérea Colombiana.
- Evans, M., He, Y., Maglaras, L., & Janicke, H. (2019). HEART-IS: A novel technique for evaluating human error-related information security incidents. *Computers and Security*, 80, 74-89. <https://doi.org/g2tt>
- Figuroa-García, J. C., López-Santana, E. R., Villa-Ramírez, J. L., & Ferro-Escobar, R. (2017). Automation of a Business Process Using Robotic Process Automation (RPA): A Case Study. En *Applied computer sciences in engineering: 4th workshop on engineering applications, WEA 2017, 27-29, 2017, proceedings. Communications in Computer and Information Science*. <https://doi.org/g2tv>
- Heinrich, R., Merkle, P., Henss, J., & Paech, B. (2017). Integrating business process simulation and information system simulation for performance prediction. *Software and Systems Modeling*, 16(1), 257-277. <https://doi.org/f9wkn3>

- Hu, K., Orghian, D., & Hidalgo, C. (2018). DIVE: A mixed-initiative system supporting integrated data exploration workflows. *HILDA' 2018: Proceedings of the Workshop on Human-In-the-Loop Data Analytics*, 1-7. <https://doi.org/gfw9mw>
- Jamil, F., Ahmad, S., Iqbal, N., & Kim, D. H. (2020). Towards a remote monitoring of patient vital signs based on IoT-based blockchain integrity management platforms in smart hospitals. *Sensors*, 20(8), 2195. <https://doi.org/ggvh7m>
- Laguna, M., & Marklund, J. (2018). *Business Process Modeling, Simulation and Design* (3.^a ed.). CRC Press. <https://doi.org/g2tx>
- Larouzee, J., & Le Coze, J. C. (2020). Good and bad reasons: The Swiss cheese model and its critics. *Safety Science*, 126, 104660. <https://doi.org/gjm6g2>
- Lyon, B. K., & Popov, G. (2020). Managing Risk Through Layers of Control. *Professional Safety Journal*, 65(4), 25-35. <https://www.proquest.com/scholarly-journals/managing-risk-through-layers-control/docview/2398591993/se-2?accountid=201395>
- Mat Ghani, M. S., & Zheng Yi, W. (2018). Implementation of Swiss Cheese for UniKL MIAT hangar. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 405(1). <https://doi.org/g2tz>
- Ministerio de Defensa Nacional. (2018a). *Estatuto orgánico de gestión organizacional por procesos de la Fuerza Aérea Ecuatoriana*. Gobierno de Ecuador.
- Ministerio de Defensa Nacional. (2018b). *Política de la defensa nacional del Ecuador "Libro Blanco"*. Gobierno de Ecuador. <https://www.defensa.gob.ec/wp-content/uploads/2019/01/Política-de-Defensa-Nacional-Libro-Blanco-2018-web.pdf>
- Nikolaidou, M., Anagnostopoulos, D., & Tsalgaidou, A. (2001). Business processes modelling and automation in the banking sector: A case study. *International Journal of Simulation: Systems, Science and Technology*, 2(2), 65-76.
- Noh, J. Y., Song, J. Y., Yoon, J. G., Seong, H., Cheong, H. J., & Kim, W. J. (2020). Safe hospital preparedness in the era of COVID-19: The Swiss cheese model. *International Journal of Infectious Diseases*, 98, 294-296. <https://doi.org/g2t2>
- Pérez, J. (2004). *Gestión por Procesos*. ESIC Editorial.
- Prajogo, D., Toy, J., Bhattacharya, A., Oke, A., & Cheng, T. C. E. (2018). The relationships between information management, process management and operational performance: Internal and external contexts. *International Journal of Production Economics*, 199, 95-103. <https://doi.org/gdnzdd>
- ProliS lab2k. (2019). *BPSimulator*. <https://www.bpsimulator.com/>
- Raynus, J. (2011). *Improving Business Process Performance* (1a ed.). Auerbach Publications. <https://doi.org/bpm6cp>
- Reason, J. (1990). *Human Error*. Cambridge University Press.
- Reniers, G., Landucci, G., & Khakzad, N. (2020). What safety models and principles can be adapted and used in security science? *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 64, 104068. <https://doi.org/g2t3>
- Ricardo, C. M. (2009). *Bases de Datos*. McGraw Hill.
- Sehlin, D., Truedsson, M., & Cronemyr, P. (2019). A conceptual cooperative model designed for processes, digitalisation and innovation. *International Journal of Quality and Service Sciences*, 11(4), 504-522. <https://doi.org/gjbjtx>
- Shokouhi, Y., Nassiri, P., Mohammadfam, I., & Azam, K. (2019). Predicting the probability of occupational fall incidents: a Bayesian network model for the oil industry. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 27(3), 654-663. <https://doi.org/g2t4>
- Song, G., Khan, F., & Yang, M. (2018). Security assessment of process facilities – Intrusion modeling. *Process Safety and Environmental Protection*, (117), 639-650. <https://doi.org/g2t5>
- Van Der Aalst, W. M. P., La Rosa, M., & Santoro, F. M. (2016). Business process management. *Business & Information Systems Engineering*, 58(1), 1-6. <https://doi.org/gfxx6r>

El papel de la negociación en la planeación de la estrategia militar

| Fecha de recibido: 2 de junio del 2021 | Fecha de aprobación: 27 de septiembre del 2021 |

**Carlos Alberto
Segura Villarreal**

Máster en Gerencia
y Negociaciones Internacionales

KUMIAY Internacional Co. Ltd
Japón

Rol del investigador: teórico
<https://orcid.org/0000-0002-6730-5584>
✉ csegura@kumiay.com

Cómo citar este artículo: Segura-Villarreal, C. (2021). El papel de la negociación en la planeación de la estrategia militar. *Ciencia y Poder Aéreo*, 16(2), 82-97. <https://doi.org/10.18667/cienciaypoderaereo.735>



El papel de la negociación en la planeación de la estrategia militar

Resumen: Para la planificación de una estrategia efectiva, eficaz y capaz de arrojar los resultados deseados, es necesario que todas las partes que interactúan con el proceso estratégico militar estén conscientes de la importancia de la negociación y de cómo esta sirve de herramienta para llegar a la planeación estratégica deseada. Con esta investigación no experimental de tipo descriptiva con enfoque cualitativo y diseño transversal, se busca dar respuesta a la pregunta: ¿cómo la negociación puede contribuir en la planeación de la estrategia militar? Para ello, primero se analizan los conceptos básicos de estrategia, innovación y negociación. Como segundo punto, se identifica el enfoque primordial o método directo en una negociación exitosa y, en tercer lugar, se expone de qué forma contribuyen las negociaciones en el desarrollo estratégico. Al terminar de leer este artículo, el lector podrá comprender mejor cómo la negociación contribuye a la planeación estratégica militar, también, el cómo poder hacer uso de herramientas básicas para la planeación de una negociación, lo cual le traerá beneficios en su planeación estratégica.

Palabras clave: control estratégico; estrategia; innovación; negociación; planeación.

The Role of Negotiation in Planning a Military Strategy

Abstract: Planning an effective and efficient strategy capable of producing the expected results demands that the parties involved in the military strategic process acknowledge the importance of negotiation, and also serves as a tool to obtain the desired strategic planning. This non-experimental and descriptive research, under a qualitative focus and a cross-sectional design, seeks to answer how negotiation could contribute to the planning of a military strategy. To address this question, we will examine the basic concepts of strategy, innovation, and negotiation. In addition, the main approach or direct method in a successful negotiation will be identified. Moreover, we will expose how negotiation contributes to strategic development. Upon finishing this article, the reader will be able to comprehend how a negotiation contributes to the military strategic planning process and how to deploy basic planning tools for a negotiation, which will bring benefits to their own strategic planning.

Keywords: strategic control; strategy; innovation; negotiation; planning.

O papel da negociação no planejamento da estratégia militar

Resumo: Para o planejamento de uma estratégia eficaz e eficiente, capaz de produzir os resultados desejados, é necessário que todas as partes que interagem com o processo estratégico militar estejam conscientes da importância da negociação e de como ela serve como ferramenta para se chegar ao planejamento estratégico desejado. Com esta pesquisa não experimental, descritiva, com abordagem qualitativa e desenho transversal, busca responder ao questionamento: Como a negociação pode contribuir para o planejamento da estratégia militar? Para isso, primeiro são analisados os conceitos básicos de estratégia, inovação e negociação. Como um segundo ponto, o foco principal ou método direto em uma negociação bem-sucedida é identificado e, em terceiro lugar, é exposto como as negociações contribuem para o desenvolvimento estratégico.

Palavras-chave: controle estratégico; estratégia; inovação; negociação; planejamento.

En la actualidad, la globalización y los desarrollos tecnológicos facilitan los procesos de interacción con diversas culturas. De igual forma, existe extensa información a la mano, con la que cada persona puede formularse diferentes perspectivas acerca de una misma situación o problemática. Al existir tan variados puntos de vista, se incrementan las diferencias o desacuerdos y esto hace que muchas veces los procesos de planeación estratégica sean ineficientes e impidan alcanzar los resultados deseados.

Como si lo anterior fuera poco, se suman, al proceso de planeación estratégica, la mala interpretación de conceptos clave en el proceso como lo son los términos *innovación* y *estrategia*, mismos que son el pilar para poder desarrollar estrategias nuevas y coherentes con los resultados deseados.

En los últimos años, se ha observado la forma en que muchos profesionales, con y sin experiencia en la planeación estratégica, interpretan estos conceptos, demostrando que no tienen una idea clara y concisa al respecto (Cardillo & Szafranski, 2015). Esta situación, aunada a la poca capacidad de los profesionales responsables para llegar a acuerdos de forma efectiva, es precisamente la que interfiere en el éxito o fracaso de una innovación estratégica.

En este punto se debe aclarar que no se habla únicamente de innovaciones estratégicas en las compañías civiles, sino también en las unidades militares. Es importante preocuparse por entender que el presente artículo envuelve los términos correspondientes a *innovación*, *estrategia* y *negociación*, ya que a partir de allí será posible entender la forma en la que el poder innovar el método de negociación trae resultados positivos relacionados a la planeación estratégica.

Desde cualquier punto de vista, en todo lo relacionado con el proceso de negociación para la planificación de la estrategia, es importante tener una idea que busque el ganar-ganar de todas las partes involucradas. En relación al aspecto ganar-ganar, Covey (2003) menciona que:

Ganar-ganar significa que los acuerdos o soluciones son mutuamente benéficos, mutuamente satisfactorios.

Ganar/ganar ve la vida como un escenario cooperativo, no competitivo. La mayoría de las personas tiende a pensar en términos de dicotomías: fuerte o débil, rudo o suave, ganar o perder. Pero este tipo de pensamiento es fundamentalmente defectuoso. Se basa en el poder y la posición y no en principios (p. 129).

Se debe entender que, al desarrollar el proceso de planeación estratégica, interactúan muchas personas y hay que ser capaz de planear de manera efectiva, ya que como bien lo comentan Jones y George (2009): “La planeación es el proceso que usan los gerentes para identificar y seleccionar las metas y actividades apropiadas para una organización” (p. 263). Si no se planea de forma efectiva, será complicado alcanzar los objetivos propuestos.

Los directores de estrategia también se apoyan en la planeación efectiva para visualizar el entorno de una manera más fácil, ya que, cuando se habla de planeación estratégica, siempre es necesario ir un paso adelante de los competidores o enemigos. Con relación a esto último, es claro que quienes tienen la habilidad de observar ampliamente su entorno son mejores para obtener ventaja de las situaciones que acontecen (Mintzberg, 1989).

Este artículo consta de tres etapas: (1) se analizan los conceptos básicos de *estrategia*, *innovación* y *negociación* con la intención de introducir en contexto al lector, facilitándole el entendimiento del contenido de las siguientes etapas; (2) se identifica el enfoque primordial o método directo en una negociación exitosa, para ampliar el entendimiento del lector en el ámbito efectivo de la negociación y (3) se expone la forma en que contribuyen las negociaciones en el desarrollo estratégico.

Al terminar de leer este artículo, el lector podrá comprender la manera en que la negociación contribuye a la planeación estratégica militar; así como la importancia que conlleva el desarrollar estrategias militares innovadoras y el liderazgo estratégico, ya que este último contribuye a una mejor comunicación que, a su vez, permite alcanzar una planeación más efectiva (Jones & George, 2009).

Antecedentes

En la actualidad, el entorno social y profesional es cada vez más exigente y menos tolerante. En el día a día es difícil prestar atención a detalles operativos y ponerse de acuerdo con respecto a diversas situaciones; “muchos profesionales civiles y militares se quejan de las distracciones que sufren mientras ejecutan sus tareas, se sienten agobiados y tratan de ejecutar sus acciones de forma tal que les sea posible cumplir con lo encomendado y lo que es verdaderamente importante” (Y. Castillo & F. Franco, comunicación personal, 9 de marzo del 2021).

Este correr diario distorsiona los conceptos clave y las acciones concretas que se podrían ejecutar para innovar procesos, estableciendo estrategias claras, bien fundamentadas y aceptadas de forma voluntaria por todos los involucrados.

Los oficiales militares deben preocuparse por tener claro qué envuelve a cada concepto y qué herramientas pueden ser utilizadas para la puesta en práctica de estrategias innovadoras que repercutan en una ventaja competitiva en el campo que desarrollen sus actividades.

Hasta el momento, quizás algunos no han visualizado el proceso de innovación en áreas fuera de la tecnología y se han mantenido al margen de esta, viéndola como algo ajeno a su entorno.

Al hablar con los responsables de los procesos estratégicos, varios carecen de la capacidad para visualizar, de forma concreta, los campos de aplicación en los que se pueden ejecutar procesos de negociación e innovación estratégica dentro de sus unidades militares. Muchos de estos oficiales también faltan de la habilidad para canalizar información que les permita dar solución a una problemática y generar propuestas para estrategias más efectivas a partir metodologías como la Mejor Alternativa a un Acuerdo Negociado (MAAN) o la *Best Alternative to a Negotiated Agreement* (BATNA), en inglés.

Por esta razón, es necesario contribuir a la ciencia con artículos que permitan aclarar de mejor manera la importancia de la negociación y el papel que esta juega en el proceso de planeación estratégica, aportando

información valiosa que contribuya a una estructuración estratégica más amigable con los procesos de mejora continua.

Metodología

Para el caso específico de esta investigación no experimental de diseño transversal, Hernández *et al.* (2014), mencionan que los “diseños de investigación transeccional o transversal recolectan datos en un solo momento, en un tiempo único” (p. 154), en este caso, hace referencia al de esta investigación.

De forma concreta, para este estudio se aplica el enfoque cualitativo y de tipo descriptivo, por lo que se pretende describir, en todos sus componentes principales, la manera en la que la negociación contribuye en la planeación de la estrategia militar.

El proceso comienza con la revisión y el respectivo análisis de un máximo de 30 fuentes bibliográficas seleccionadas al azar y que están relacionadas con la estrategia, la innovación, la planeación estratégica y la negociación. El total de las fuentes consultadas no están estrictamente relacionadas al ámbito militar, dada la naturaleza de este artículo y la idea que el autor desea transmitir al lector.

Para el caso específico del tema *negociación*, se presta una mayor atención y valor a la literatura desarrollada por Fisher y Ury (1985), dada la importancia, el impacto, el valor y el prestigio que estos autores ostentan, así como por la naturaleza de la materia que, a pesar de los años, no se altera como ocurre con la información referente a tecnología u otras de evolución científica constante.

Para el caso de las entrevistas, se procedió con un muestreo no probabilístico al azar. Se realizaron cuatro a miembros del ejército de los Estados Unidos de América, ubicados en las bases de Okinawa, Japón. Para la elección de la muestra, los factores tomados en consideración fueron que, por un lado, los oficiales militares contaran con conocimiento y experiencia en la temática de este artículo y, por el otro, que fueran cercanos y de fácil acceso para las entrevistas.

Es a partir del análisis de esta literatura y de las entrevistas que es posible desarrollar las herramientas que se exponen en el presente trabajo, así como dar respuesta a la pregunta de investigación: ¿cómo la negociación puede contribuir a la planeación de la estrategia militar?

El contexto de la estrategia y la innovación

La estrategia

Schmitt *et al.* (2016) mencionan que, sin lugar a dudas, el tema referente a *estrategia* ha experimentado un creciente volumen de investigaciones, lo que ha contribuido, paradójicamente, a una mayor divergencia entre las perspectivas conceptuales y los ámbitos empíricos, así como a los consensos de lo que es la estrategia como tal. Se debe tener claro que muchas veces “hablar de estrategia se puede convertir en una torre de babel en la que muchos expresan ideas y quieren hacerlas valer, pero que nadie entiende a nadie” (Contreras, 2013, p. 155). Por lo anterior, es importante hacerse una idea clara de lo que es en sí la estrategia.

Para empezar, Mintzberg (1989) menciona que las estrategias son “planes para el futuro y patrones del pasado” (p. 30). En otras palabras, aprender de las experiencias pasadas para planear el nuevo accionar en el futuro. Lo que se puede rescatar de esto es que aprender de las experiencias ayuda positivamente en el desarrollo del entorno, incluyendo, por supuesto, las acciones militares. Relacionado con esto último, Chandler (1962) comenta que “el crecimiento estratégico resultó de una conciencia de las oportunidades y necesidades, creadas por el cambio de población, ingresos y tecnología, para emplear los recursos existentes o en expansión de manera más rentable” (p. 15).

Por otro lado, Kenichi (1982) explica que la estrategia “es lograr las condiciones más favorables para uno mismo, juzgando precisamente el momento adecuado para atacar o retirarse y siempre evaluando los

límites del compromiso correctamente” (p. 13). Lo anterior se puede interpretar como la capacidad o habilidad de analizar muy bien los factores internos y externos de la unidad militar para, mediante el elemento sorpresa, atacar a los enemigos, logrando así una ventaja competitiva en la zona de guerra.

Analizadas estas definiciones y, después de realizar las entrevistas a oficiales militares, podemos decir que estrategia es la habilidad para analizar los factores internos y externos de la fuerza militar con la intención de dirigir acciones concretas que busquen alcanzar una meta claramente establecida. Lo anterior, a través del elemento sorpresa en contra de la competencia, logrando así, una ventaja competitiva en la zona de guerra en que se desempeña.

En resumen, “estrategia es la acción de sorprender, confundir o engañar a nuestros competidores con ayuda de la información de la cual disponemos, esto, con la intención de alcanzar una meta” (Segura, 2020, p. 24).

La innovación

En la última década, algunos investigadores se han interesado enormemente en las innovaciones militares que algunos de los principales ejércitos han desarrollado para optimizar sus operaciones y habilidades. Al respecto, Fernández-Osorio *et al.* (2019) creen que:

Este interés ha generado un gran volumen de estudios publicados que tienden a comprender las transformaciones militares como un proceso de innovación, que busca preparar una fuerza militar adecuada y apta para enfrentar las amenazas y desafíos de un mundo globalizado (p. 75).

Cuando se habla de innovación, generalmente se asocia a la del producto tecnológico, olvidando que no es solo esto. Según la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) y la Oficina Europea de Estadística (EUROSTAT), los tipos de innovaciones que se pueden identificar son: “Innovaciones de producto, innovaciones de proceso, innovaciones organizativas e innovaciones de mercadotecnia” (OCDE & EUROSTAT, 2005, p. 23).

La innovación no puede ser únicamente enfocada en términos de tecnología del producto o como un tema aislado de las compañías civiles. Por el contrario, también debe tenerse presente que las operaciones militares pueden y deben estar sujetas a esta.

Es indispensable el destinar recursos para las innovaciones en términos de operaciones militares (proceso, organización y mercadotecnia), ya que por sí solas “no constituyen solamente un factor de apoyo para la innovación de producto y proceso; ellas mismas pueden influir considerablemente en los resultados” (OCDE & EUROSTAT, 2005, p. 18).

Por otra parte, en la actualidad se observa que la globalización, impulsada por los desarrollos tecnológicos, ha generado un mayor y fácil acceso a la información, lo que fomenta una competitividad internacional y nuevas formas de administración. De esto se puede visualizar que el conocimiento y el acceso a la información se consideran cada vez más un impulsor del crecimiento económico y de la innovación (OCDE & EUROSTAT, 2005).

La globalización ha provocado que los actores del entorno económico tengan mayores facilidades para apreciar las diferencias en las cualidades de productos y servicios, no solo en el ámbito local, sino también en el internacional, lo que ha obligado a las compañías a innovar cada día, de una manera más eficiente.

Dicho lo anterior, se tiene un panorama más claro de la situación en muchas unidades militares. La competitividad que a diario se incrementa entre estas, impulsa la necesidad de innovar en diferentes vertientes, las cuales, directa o indirectamente, también vienen a repercutir en los procesos o métodos militares utilizados en la actualidad. Al existir avance tecnológico, los procesos o métodos de trabajo y de estrategia se ven en la necesidad de innovar también.

La acción de innovar no es solo para hacer cosas diferentes y mejores. También es necesario saber visualizar que “la expansión de la actividad innovadora en las economías incide cada vez más en la distribución regional del ingreso” (Organización Mundial de la Propiedad Intelectual [OMPI], 2019, p. 5). La actividad militar debe ser vista como un instrumento que tiene la capacidad de alterar el orden económico de una región.

Al igual que las compañías civiles, las fuerzas militares de hoy deben poder innovar para lograr diferenciarse, recordando que “diferenciación significa recorrer el camino hacia la exclusividad absoluta construyendo dimensiones únicas en el sector industrial” (Pulgarín & Rivera, 2012, p. 97).

El cambio debe ser ágil y rápido, ya que “solo para mantener su posición relativa, una compañía debe avanzar a través de un crecimiento y cambio continuos. Para mejorar su posición, debe crecer y cambiar al menos dos veces más rápido que eso” (Ansoff, 1957, p. 113), lo que impulsará la búsqueda de la excelencia en las actividades que se ejecutan y, directa o indirectamente, guiará hacia la innovación continua.

En concordancia con lo que menciona Serna (2008), en todo este proceso se necesitan líderes militares que no tengan temor al cambio y que sepan motivar a los miembros su equipo para alcanzar los objetivos estratégicos establecidos, siempre manteniendo una dirección clara.

Bien sean colaboradores militares o la fuerza militar como tal, se debe estar en la búsqueda constante de la ventaja competitiva por medio de la innovación, ya que como bien lo menciona Segura (2020), la “ventaja competitiva es aquella que, por una u otra razón, nos hace únicos en el mercado, con características que no son tan fáciles de igualar por nuestros competidores” (p. 50). Entendiendo al “mercado” como al espacio militar donde se desarrollan las actividades y a los “competidores” como a los adversarios o enemigos. Vale la pena resaltar que “la renovación estratégica es igualmente importante para permitir la innovación y la evolución” (Schmitt *et al.*, 2016, p. 14).

Así las cosas: ¿en qué aspectos podrían innovar las Fuerzas Militares? En la Biblioteca Virtual Universal (2003), es posible encontrarse con Sun Tzu y su libro *El arte de la guerra*, en el cual se menciona que existen cinco factores fundamentales para valorar en la guerra: la doctrina, el tiempo, el terreno, el mando y la disciplina. Segura (2021) comenta que “cada uno de estos cinco elementos está sujeto a la innovación estratégica por la simple y llana razón de que existen procesos, herramientas o equipos tecnológicos que podrían ser mejorados” (p. 18).

Así, se podría innovar en los incentivos motivacionales para que permitan adoctrinar (la doctrina) de mejor manera a las tropas; innovar en los equipos, maquinaria u otras herramientas utilizadas en terrenos (el terreno) complejos, facilitando las estrategias de ataque; innovar en las estrategias que ayuden a ejecutar operaciones militares en condiciones climáticas (el tiempo) adversas para los enemigos pero beneficiosas para su propia unidad, dada la innovación realizada en el proceso, la herramienta, el equipo, entre otros casos.

A través de los conceptos de *estrategia e innovación* se puede visualizar que en el desarrollo de estrategias o procesos de innovación es necesario para interactuar con otros individuos, ya sean parte del equipo de trabajo, o no, lo que da una idea de cómo la negociación contribuye en el proceso de la planificación de la innovación estratégica.

¿Qué son las negociaciones?

No está de más el tener presente que varios líderes militares han sido capaces de entender y alcanzar con éxito el ámbito de las negociaciones mientras que a otros no les ha sido posible (Cronin, 2015), por lo que es necesario exponer, en este apartado, la teoría referente al tema de las negociaciones. Así el lector podrá asociar o vincular más fácilmente la negociación con la planeación estratégica, dando respuesta a la pregunta de investigación.

Para Fernández-Osorio *et al.* (2019), “existe una percepción común en la literatura de que una transformación militar puede ser desfavorable si los líderes carecen de las habilidades necesarias para asegurar su cumplimiento y continuidad” (p. 76). Como podrá verse a continuación, para poder asegurar ese cumplimiento y su respectiva continuidad, es necesario negociar.

Un tema que se encuentra muy relacionado con las negociaciones es la inteligencia emocional, la cual “es la capacidad de entender y manejar las emociones y los estados de ánimo propios y de los demás” (Jones & George, 2009, p. 90); de lo que se infiere que, si no se saben controlar de forma correcta emociones o

sentimientos como la furia, la tristeza, la duda, entre otros, se puede dar lugar a la falta de capacidad para dirigir la negociación en la cual se esté involucrado, perdiendo así, muchas oportunidades para llegar a un acuerdo satisfactorio.

Es fundamental entender y recordar que cada persona, a partir de sus creencias o experiencias, interpreta una situación de diversas maneras y que, también, cualquier individuo, al igual que su contraparte, tiene muchos problemas girándole en la cabeza. Estas situaciones podrían desembocar en la incapacidad de llegar a desarrollar acuerdos beneficiosos para ambos. En todo esto, es indispensable tener la capacidad de comunicarse de manera efectiva (Fisher & Ury, 1985).

Hay que ser precavido para no encerrarse en percepciones, entendiendo, también, a la contraparte. Los sentimientos se generan porque alguna situación especial los ocasiona (son el efecto de una causa), por lo que Covey (2003) indica que la “gente se siente cada vez más impotente y privada de su autocontrol, alejada de su vida y de su destino. Culpa a fuerzas externas —a otras personas, a las circunstancias, incluso a los astros— de su propia situación” (p. 48). Por esta razón es importante saber identificar las causas que provocan los sentimientos, para, asimismo, manejarlos de forma efectiva para el beneficio de todos.

En línea con la idea anterior, Harvard University (2020) indica además que “como negociador experimentado, sabe que debe prepararse para las conversaciones, evaluando los intereses de cada parte y las opciones de no negociar, imaginando posibles acuerdos, teniendo en cuenta la personalidad y la cultura” (p. 8).

Es indispensable estudiar a la persona con quien se negociará, ya que, dependiendo del *perfil del negociador* que se confeccione, se podrá tener un panorama más claro de muchos sentimientos o situaciones que podrían salir a flote mientras se lleva a cabo el proceso.

El poder entender los sentimientos de otras personas, sus culturas y sus personalidades amplifica la creatividad y ayuda a crear propuestas que vayan más acorde con los ideales de su contexto, incrementando las posibilidades de acuerdos efectivos que permitan alcanzar los objetivos propuestos en el plan estratégico.

El manejo de las emociones es fundamental para garantizar el control de una situación, es decir, que si se pueden controlar, entendiendo a las de la contraparte, será más fácil elaborar propuestas efectivas y, por supuesto, se establecerán procesos estratégicos aceptados de forma voluntaria y colectiva.

Con la intención de explicar mejor la manera en la que las negociaciones desempeñan un papel importante en la estrategia, se presenta la siguiente información:

Se puede mencionar que el análisis de una situación, el juicio y la negociación son aspectos fundamentales que los responsables estratégicos pueden utilizar para la efectiva toma de decisiones (Mintzberg, 1989).

Para realizar el proceso de planeación estratégica, el cual está estrictamente relacionado con la capacidad de planear, de forma tal que sea posible llegar a los resultados de forma efectiva, previendo imprevistos que puedan alterar o neutralizar la estrategia (Villacis, 2014), se requiere del análisis de la información interna y externa de la unidad militar, la cual, una vez formulada hará uso de procesos de negociación, esto con la intención de acordar cuál o cuáles estrategias serán lideradas por la gerencia estratégica (líder militar a cargo de la ejecución estratégica). De la misma forma, la gerencia estratégica necesitará, con la intención de desempeñar un liderazgo eficiente, negociar con varios actores involucrados durante el proceso de asignación de recursos en su camino por alcanzar los resultados deseados.

Para continuar, es fundamental que se entienda qué es negociación, así como los principales elementos que envuelven su definición.

Cambridge University (s. f.) la define como “el proceso de discutir algo con alguien para llegar a un acuerdo”; mientras que la Real Academia Española (2019) se refiere a las acciones que se ejecutan para dar por concluido un acuerdo entre las partes.

Al analizar más definiciones de *negociación*, Shonk (2019) menciona que es la acción necesaria para ponerse de acuerdo con la contraparte acerca de una situación específica que no puede ser resuelta de forma independiente, y que, de igual manera, en caso de disponer de intereses o posiciones opuestas respecto de una misma situación, también es necesario negociar para poder llegar a un acuerdo.

Se concluye entonces que la negociación es el proceso mediante el cual dos o más personas, a través de ideas bien fundamentadas o sin fundamentar, interactúan entre sí con la intención de llegar a un acuerdo que sea aceptable para las partes que desean alcanzar un resultado dentro de un contexto específico.

En muchísimas ocasiones es necesario negociar. En la actualidad, las interrelaciones culturales que se experimentan traen consigo conflictos que es necesario solucionar a través de negociaciones. Por lo general, las personas quieren que se ejecuten las propuestas que ellos exponen y para poder persuadir, no queda más que desarrollar negociaciones efectivas (Fisher & Ury, 1985). Prácticamente, todo lo referente a los conflictos o diferencias que existan en un entorno, al igual que la toma de decisiones, entre más de dos personas, necesitan hacer uso de la negociación.

El proceso de negociación es indispensable en la vida diaria, pues ayuda a dirimir, desde negociaciones personales simples, hasta decisiones de alto impacto para organizaciones o estados. Como bien lo comentan Fernández-Osorio *et al.* (2019), unos de los factores que contribuyen a potenciar el desarrollo de la unidad militar son las alianzas estratégicas, locales o internacionales, y su efectiva vinculación con otras organizaciones, además de las correctas políticas de operación. Para ser capaces de lograr lo anterior, es indispensable una negociación efectiva que contribuya al desarrollo de las actividades necesarias para alcanzar un plan estratégico funcional.

Una negociación exitosa puede significar un gran beneficio para diferentes participantes; prueba de ello, Abello (2006) nos menciona que:

Las negociaciones futuras van a girar en torno a las inversiones, pero, fundamentalmente, el tratamiento a la inversión extranjera directa (IED) en los países en desarrollo es también objeto de preocupación en la OMC, en el entendido de que esta IED es concebida como un medio para el progreso tecnológico, el acceso a los mercados y el desarrollo (p. 450).

Como se puede apreciar en este caso, las negociaciones relacionadas con la atracción de Inversión

Extranjera Directa (IED), que pueden desarrollar diferentes países, repercutirá de manera directa en su población. Si no se ejecutan negociaciones coherentes y alineadas con la estrategia que se haya formulado, los resultados pueden ser negativos para sus habitantes debido a que estarán saliéndose de lo que, en teoría, fue planificado, generando descontrol e imprevistos en las operaciones.

Por otra parte, no se puede pasar por alto que cada persona perfila criterios bajo sus propias creencias, lo que hace que una misma situación sea vista o interpretada de muchas maneras, y a su vez, provoca diversos tipos de conflictos. Con respecto a este último punto, Jones y George (2009) comentan que un conflicto es una discrepancia o disputa que sale a flote cuando los objetivos, valores o principios de los grupos o equipos no están alineados.

Lo anterior no es una situación ajena al proceso estratégico, ya que al igual que en cualquier otro tipo de operación, está expuesto a situaciones de conflicto entre sus participantes. Estas diferencias pueden convertirse en *posiciones*, es decir, que cada uno de los participantes tome una idea o percepción y la considere como la única opción viable para un posible acuerdo, haciendo todo más difícil y, por ende, dificultando el proceso para la planeación estratégica.

Es importante enfocarse en cuáles son los verdaderos intereses de las partes involucradas, para así llegar a una solución o acuerdo eficiente.

Todo lo referente a la industria de *posiciones* es un tema complejo, pues “cuanta mayor atención se presta a las posiciones, menor atención se dedica a satisfacer los intereses y preocupaciones subyacentes de las partes” (Fisher & Ury, 1985, p. 13).

En la actualidad se dispone de dos tipos de negociaciones que, según Jones y George (2009), son:

Distributiva e integradora. [...] En la negociación distributiva las dos partes piensan que existe un “pastel” de recursos que tienen que dividirse. [...] En la negociación integradora, las partes piensan que pueden agrandar el pastel si conciben una solución creativa para el conflicto (p. 613).

Como se aprecia, hay dos tipos de negociación, la negociación distributiva o basada en posiciones dispone de dos enfoques que el negociador puede elegir, como lo son las “versiones dura y suave de la negociación basada en posiciones” (Fisher & Ury, 1985, p. 16). Enfoques que según los mismos Fisher y Ury (1985) no ofrecen los resultados eficaces que la negociación integradora, también denominada *negociación según principios o negociación con base en los méritos*. Hay que tener en cuenta que, en algunos artículos o literatura, se conoce también como *método de negociación de Harvard*.

Dado lo anterior, se quiso plasmar por medio de las figuras 1 y 2 una idea gráfica de lo correspondiente a cada tipo de negociación.

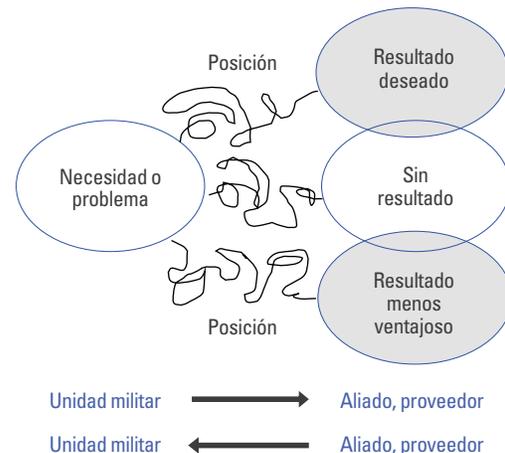


Figura 1. Negociación con beneficio unilateral
Fuente: elaboración propia.

En la imagen anterior se aprecia el proceso de negociar con base en posiciones, de manera distributiva o bien, con beneficio unilateral. Las líneas enredadas representan que, cuando se negocia con base en este tipo de negociación, es muy difícil llegar a un resultado satisfactorio de manera rápida. Por lo general, el desgaste de los negociadores o partes involucradas es mayor que en el otro tipo de negociación.

Si se enfoca en posiciones, se caerá en la redundancia, desgastándose más de lo necesario, lo cual, según la imagen anterior, puede conducir la negociación por tres caminos:

- Podría llegarse al resultado deseado, pero de una manera muy desgastante y sin la garantía de una buena relación con la contraparte a futuro.
- Después de invertir mucho esfuerzo, es posible no lograr ningún resultado o acuerdo.
- Se podría llegar a un resultado o acuerdo menos ventajoso del que se pudiera haber llegado por medio del otro tipo de negociación.

En la negociación de beneficio unilateral, o como realmente se conoce, negociación distributiva o con base en posiciones, generalmente, las partes involucradas buscan el juego de suma cero: yo gano y usted pierde. Eso explica las flechas de un solo sentido en la parte de abajo de la imagen.

Con relación a este tipo de negociación, Covey (2003) indica que “las personas del tipo gano-pierdes son proclives a utilizar la posición, el poder, los títulos, las posesiones o la personalidad para lograr lo que persiguen” (p. 129). En otras palabras, es la que más se aprecia en la gente ubicada en cargos superiores para con sus subordinados o en las personas con personalidad de superioridad.

Este tipo de negociación también se conoce algunas veces como regateo, lo cual hace que los miembros involucrados se comprometan más con sus posiciones o puntos de vista, generando el sentimiento de estar a la defensiva y de querer contraatacar al más mínimo gesto o acción que le haga pensar que su contraparte quiera tirarle abajo su posición. Reafirmando lo anterior, Fisher y Ury (1985) nos comentan que “cuando se regatea con base en las posiciones, los negociadores tienden a encerrarse dentro de ellas. El negociador, mientras más aclara su posición y más la defiende contra los ataques, más se compromete con ella” (p. 13), lo que desencadena en que las relaciones de los negociadores se deterioren o que hasta se rompan. Con relación a esto último, Harvard University (2020) informa que:

En las negociaciones puntuales en las que no espera volver a cruzarse con su contraparte negociadora, puede importar poco si no le gustan. Pero la mayoría de las negociaciones, por supuesto, conllevan al

menos la posibilidad de futuras interacciones. Si está satisfecho con su experiencia en la negociación de un auto nuevo, por ejemplo, puede recomendar el concesionario a sus amigos o elegir regresar cuando llegue el momento de comprar su próximo auto (p. 6).

Si en las organizaciones militares se desea formular estrategias que tengan un impacto a futuro, es necesario desarrollar negocios que generen buenas relaciones entre todas las partes, ya que no se gana nada con usar la negociación distributiva con un proveedor el día de hoy para obtener un precio más bajo en comparación a otros proveedores si, dentro de dos años, este, por ceder a la primera, sacrificó calidad o desapareció por la poca utilidad que generaba dicha relación comercial.

Si generar buenas relaciones en una negociación, no se podrá pretender tener la seguridad de continuar bajo la misma línea en un futuro. Sin buenas relaciones no hay futuras negociaciones y, evidentemente, esto afectará la planeación estratégica.

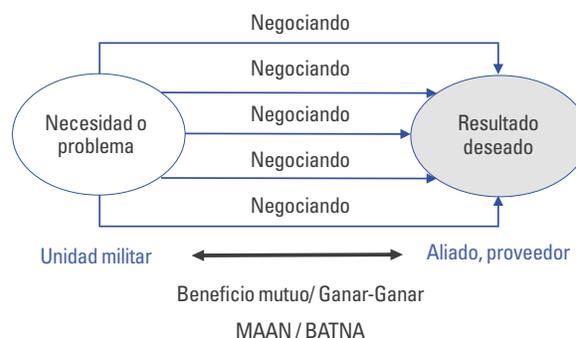


Figura 2. Negociación con beneficio multilateral
Fuente: elaboración propia.

En esta imagen se pueden apreciar grandes diferencias con respecto a la figura 1. Hay que notar, primero, las líneas rectas que conectan directamente la situación (necesidad o problema) con el resultado deseado. Esto indica que, si se enfoca en negociar haciendo uso del método de negociación de Harvard, el proceso será más directo, rápido y menos agotador que con el método de negociación distributiva. De igual manera, al hacer uso del segundo método, se

tendrán muchas más posibilidades de estar en una negociación ganar-ganar, en la cual, todas las partes involucradas obtienen más de lo que hubieran podido haber imaginado. De ahí la presencia de esa flecha en ambos sentidos, ya que la unidad militar puede ganar igual que el aliado o el proveedor. Al respecto del punto de vista ganar-ganar, Covey (2003) menciona que:

Ganar/ganar significa que los acuerdos o soluciones son mutuamente benéficos, mutuamente satisfactorios. Ganar/ganar ve la vida como un escenario cooperativo, no competitivo (p. 129).

Aportando más sobre este aspecto, Fisher y Ury (1985) mencionan que se negocia:

Con la intención de conseguir algo que no se podría conseguir de otra manera. Y por supuesto, para poder ser conscientes de que se puede aceptar y que no aceptar en una propuesta. El conocer objetivamente hasta donde se puede ceder y que se puede solicitar que ceda la contraparte, ayudara a obtener un mayor beneficio para las partes (p. 85) .

En ese sentido, el MAAN o BATNA podría interpretarse como la herramienta que permite, de manera planificada y objetiva, determinar si una propuesta puede ser aceptada o rechazada; además de que prevé lo que podría hacerse de no llegar a un acuerdo.

Luego del análisis de la literatura referente a negociación, en la figura 3, que se muestra a continuación, se presenta el proceso que se debería seguir para lograr elaborar el MAAN o BATNA deseado, en una negociación.

Dicho diagrama también puede considerarse como un proceso de planeación, asociándose al sentido que viene a tener el plan estratégico. En otras palabras, esta metodología sirve de soporte para varias actividades vinculadas al plan estratégico, ya que como se pudo ver, para el desarrollo de la planeación estratégica se necesita negociar, llegando a acuerdos entre las partes responsables de ejecutar las actividades vinculadas a la estrategia.

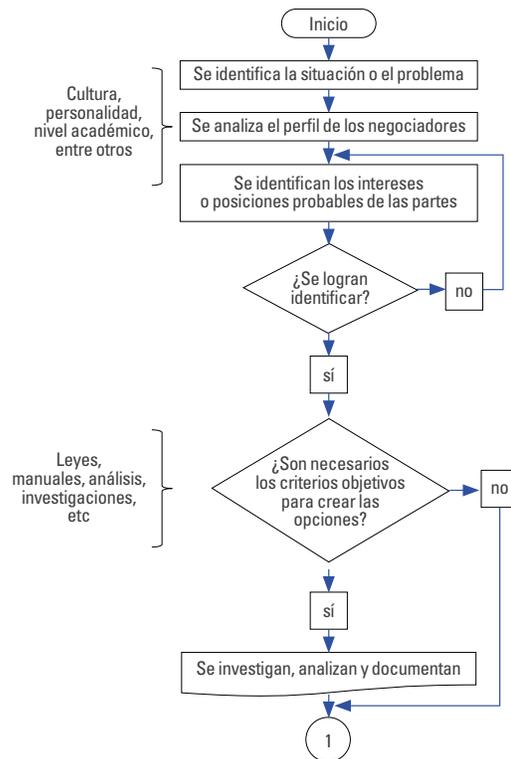


Figura 3. Preparación del MAAN o BATNA

Fuente: elaboración propia.

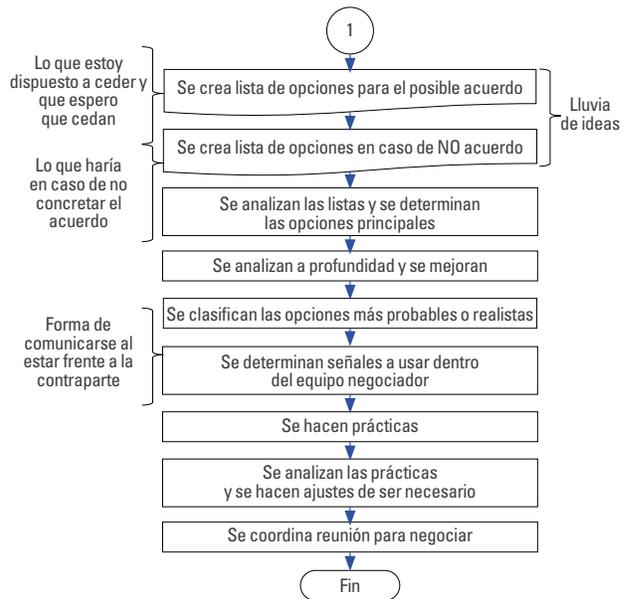


Figura 4. Preparación del MAAN o BATNA (Continuación)

Fuente: elaboración propia.

Como se mencionó, el diagrama anterior es una forma de planeación estratégica y se usa para formular el MAAN o BATNA para ser puesto en ejecución cuando se esté frente a la contraparte, buscando los resultados estratégicos deseados o la Mejor Alternativa al Acuerdo Negociado (MAAN), en ese momento.

Por otra parte, es necesario tener presente que “es importante buscar formas de equilibrar su deseo de alcanzar un objetivo elevado con la necesidad de construir una buena relación” (Harvard University, 2020, p. 6), pues las buenas relaciones podrán permitir un mejor rendimiento en el desarrollo del proceso estratégico.

Enfoque primordial o método directo en una negociación exitosa

En muchos aspectos o procesos de la ciencia se debe tener una metodología clara y concisa que garantice el éxito de una acción, actividad, proceso o procedimiento: lo mismo sucede al momento de negociar.

Solo para darse una idea, con el diseño de un servicio o producto, se hace posible la interacción de diversos profesionales, trayendo consigo un rico intercambio de ideas y conocimientos, así como de conflictos. Al respecto Chase *et al.* (2009) indican que:

Diseñar un producto que complazca al cliente es todo un arte. Fabricar el producto es una ciencia. Llevar el producto desde el diseño hasta el cliente es administración. Los fabricantes de clase mundial son excelentes para lograr una integración expedita y flexible de estos procesos. Una llave para hacerlo es el trabajo en equipo, no solo de parte de *marketing*, desarrollo de productos, producción y distribución, sino también de parte del proveedor y el cliente (p. 213).

Todo lo que involucra el proceso de desarrollo y entrega de un producto o servicio conlleva negociación, lo que obliga a conocer más sobre el enfoque principal o método directo que se debe tener o aplicar a la hora de negociar un acuerdo con los proveedores, colaboradores, aliados u otros.

Dicho lo anterior, existen varios métodos de negociación; sin embargo, es necesario que como estrategia se reconozca aquel que busque el beneficio real y eficiente de las partes involucradas. Al respecto, el método de negociación integrativo o de negociación de Harvard puede ser la mejor alternativa. Este es muy eficiente debido a que sus pilares permiten alinearse fielmente a principios que guían durante una negociación, haciendo más fácil y eficiente el proceso.

Algunos autores, como Paz (2004); Sarkis y Ocampo (2015); Ogliastrì (2001) o Shonk (2019), mencionan elementos que sirven como herramientas para mejorar el proceso de negociación. Estos se resumen en los cuatro puntos de la siguiente figura:

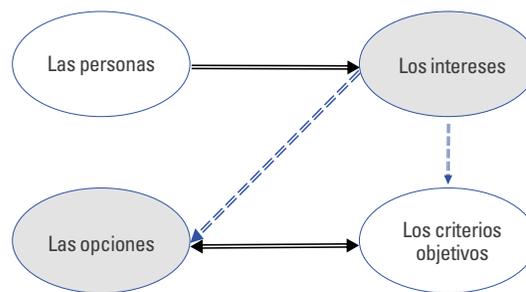


Figura 5. Elementos que definen un método directo de negociación
Fuente: elaboración propia a partir de datos de Paz (2004, p. 91) y Fisher y Ury (1985, p. 17).

Antes de describir cada uno de los elementos de esta imagen se puede decir que, para iniciar el proceso de la negociación se debe analizar muy bien a las personas que estarán involucradas e identificar y confirmar los intereses, lo que permitirá desarrollar ideas de propuestas (opciones). De las ideas que se generen, se debe verificar si existen criterios objetivos que las respalden, para poder fundamentarlas. También, de los intereses, se puede saltar al los criterios objetivos para analizar la información disponible y diseñar las propuestas (opciones). Por esta razón existen las flechas punteadas y la flecha de doble sentido entre estos elementos. En otras palabras, primero se crean las opciones de propuesta y se respaldan con los criterios objetivos. Primero se recopilan los criterios objetivos y, a partir de acá, se crean las propuestas.

A continuación, se detallan cada uno de los elementos para el método directo de negociación, que permitirán tener una perspectiva más clara de los componentes críticos a considerar, buscando alcanzar los resultados deseados en el proceso de la planeación estratégica.

Las personas

En toda negociación se deben separar a las personas del tema que se está tratando: una cosa es el negociador y otra el problema que se tiene en frente. Es importante hacerle ver a la contraparte que se le respeta como ser humano. También, se debe tener en cuenta que “cuando la confianza es mutua, las prácticas tienden a ser transparentes y así se logra generar valor para beneficio de las partes” (Sarkis & Ocampo, 2015, p. 145). De igual manera, las partes que interactúan en el proceso deben verse a sí mismos como equipo que ataca un problema y no como competidores que buscan un ganador independiente, debe existir tolerancia entre los participantes que desarrollan una negociación (Paz, 2004, p. 92).

Los intereses

Es necesario conocer a profundidad el interés de la contraparte, identificando lo que son las posiciones para buscar mejores alternativas para el cierre del acuerdo. Como comenta Bermúdez *et al.* (2019), de acuerdo con los intereses del responsable de la toma de decisiones en el proceso de negociación, se podrían ver socavados los objetivos de las estrategias y políticas de Estado, provocando que los militares experimenten un ambiente indeciso y confuso frente a las acciones que deberían haber ejecutado en las negociaciones u otras relacionadas con la planeación estratégica. Si no existe claridad en los intereses de una negociación, será difícil llegar a desarrollar acuerdos eficientes, lo que podría afectar el proceso de planeación estratégica.

Las opciones

Es importante pensar en múltiples opciones para llegar al acuerdo, no importa que parezca una propuesta

poco atractiva, si no afecta en ningún aspecto los intereses propios, se debería mencionar y así quizás se logre algo, o bien, surja una nueva idea.

Como bien lo mencionan Sarkis y Ocampo (2015), es posible llegar a generar opciones importantes cuando existe un amplio interés de las partes en el cierre del acuerdo y disponen de una mentalidad abierta, por lo que es indispensable preparar la negociación antes del encuentro. En otras palabras, preparar el MAAN o BATNA es una parte fundamental de la estrategia.

Los criterios objetivos

En cada palabra que se mencione o idea que se proponga se deben establecer bases objetivas. Todo debe estar bien respaldado para evitar salidas inesperadas y poco fundamentadas de la contraparte: no se debe hablar por hablar. En relación con esto, Paz (2004) comenta que “mediante los [criterios objetivos] se define si los intereses que proclaman ambas partes son justos, en comparación con un patrón de referencia externo e imparcial” (p. 93). Iniciar la búsqueda de criterios objetivos, en algunos casos, podría generar ansiedad por llegar a datos que sean relevantes en la negociación que se está desarrollando, lo que nublaría la mente y haría caer en error a quien esté negociando. Al respecto, Harvard University (2020) menciona que “la ansiedad es la emoción más comúnmente experimentada antes de una negociación, más que la emoción, la tristeza, la calma o la ira” (p. 15). Esta situación podría generar que los responsables tomen decisiones incorrectas que puedan afectar el desempeño de los resultados deseados. Una buena negociación incrementa la posibilidad de desarrollar estrategias efectivas y con gran proyección de éxito a largo plazo.

¿De qué forma sirven las negociaciones en el desarrollo estratégico?

Para experimentar un desarrollo efectivo en cualquier ámbito, las personas deben saber trabajar en equipo, tener una comunicación efectiva y ser capaces de llegar a acuerdos fundamentados en el ganar-ganar, ya que esta será la única forma en la que el equipo se

mantendrá unido y luchará por alcanzar los resultados deseados en común.

Si los estrategas no son capaces de negociar acuerdos efectivos que sean para beneficio de todas las partes involucradas en el proceso estratégico, los actores de este podrían visualizar un resultado ganar-perder que los pondría a la defensiva y haría que el ambiente se torne tenso y que, por ende, se deterioren las relaciones del equipo de trabajo. Con relación a lo anterior, nuevamente Covey (2003) recalca que:

Ganar-ganar, en cambio, se basa en el paradigma de que hay mucho para todos, de que el éxito de una persona no se logra a expensas o excluyendo el éxito de los otros. Ganar-ganar se basa en la creencia de que existe una tercera alternativa. No se trata de tu éxito o el mío, sino de un éxito mejor de un camino superior (p. 129).

El estratega negociador debe tener la habilidad de poder persuadir a las partes involucradas en el proceso estratégico, como lo pueden ser aliados, proveedores, colaboradores u otros, logrando acuerdos que le permitan a la organización militar alcanzar sus metas y desarrollar de forma armoniosa su proceso de planeación estratégica.

De lo expuesto anteriormente por Covey (2003), también se puede inferir un tono motivacional, entendiendo así que la “motivación puede definirse como las fuerzas psicológicas que determinan la dirección del comportamiento de una persona en una organización, su nivel de esfuerzo y su nivel de persistencia ante los obstáculos” (Jones & George, 2009, p. 463). Tener la habilidad de motivar efectivamente a su gente para alcanzar resultados estratégicos también es parte del negociador. Si no se cuenta con colaboradores motivados, posiblemente sus mentes estén más cerradas a posibles soluciones o a acuerdos que puedan traer beneficio para todos.

De lo discutido hasta el momento en este artículo, y con el objetivo de dar respuesta a la pregunta de investigación, se puede indicar que la negociación contribuye en la planeación estratégica mediante la búsqueda incansable de soluciones efectivas a los

problemas que se presenten durante todo el proceso estratégico. Si a los conflictos o diferencias presentes en el proceso de planeación de la estrategia militar no se les busca una solución efectiva, es imposible pretender que se alcancen los resultados estratégicos deseados.

Conclusión

Con el estudio de este trabajo pretendemos disponer de una perspectiva diferente del papel que juega la negociación en la estrategia. Ha sido posible identificar los tipos de negociación que existen y entre estos, la mejor opción para aplicar.

En muchas situaciones, algunos profesionales consideran que son pésimos negociadores o que no tienen la habilidad necesaria para llegar a buenos acuerdos; sin embargo, para Shonk (2019) existen esperanzas para las personas que no son negociadores natos, ya que puede decirse que las investigaciones realizadas muestran consistentemente que la mayoría de las personas pueden mejorar significativamente sus capacidades o habilidades de negociación por medio de herramientas como la educación, la preparación (entendiéndose bajo un contexto de planeación) y la práctica.

Por otra parte, hay que tener en cuenta que la comunicación es uno de los principales componentes de la vida y, por supuesto, de la negociación. Nunca se podrá llegar a ningún lugar si no se es posible expresar o comunicar bien los intereses. La comunicación abre o cierra puertas, e igualmente, da acuerdos exitosos o fracasos. Siempre es importante escuchar a la contraparte para saber bien qué quiere dar a entender. Así mismo, es bueno repetir lo que dice para confirmar que lo que se entendió es lo que se quería transmitir.

Cuando se sabe escuchar bien a la contraparte, es esta la que da las respuestas que se querían encontrar para llegar a un acuerdo exitoso.

Por último, para dar respuesta a nuestra pregunta de investigación, se puede decir que esta lo hará dado que siempre existirá la necesidad de negociar

con los participantes del proceso de planeación, por ejemplo colaboradores, proveedores, gobierno, aliados, entre otros.

Como bien lo menciona Bermúdez *et al.* (2019), “en las negociaciones, la participación de las Fuerzas Militares no solo fue determinante, sino garante del mismo proceso, lo cual se constituye en un modelo y quizá doctrina o experiencias novedosas para futuros procesos de negociación a nivel global” (p. 12).

Es a través de la negociación que será posible llegar a acuerdos entre las partes involucradas en el proceso del desarrollo de la estrategia militar, permitiendo ejecutar estrategias más innovadoras, conocidas y aceptadas por todos los actores involucrados en el proceso. Siempre se debe pensar en negociar bien; con buena comunicación; buen trato a las personas; con base en intereses y no en posiciones; con el aporte de propuestas objetivas y pensando en una relación para beneficio mutuo y a largo plazo.

Declaración de conflicto de interés: El autor no manifiesta conflictos de interés institucionales ni personales.

Referencias

- Ansoff, H. I. (1957). Strategies for diversification. *Harvard Business Review*, 35(5), 113-124.
- Biblioteca Virtual Universal. (2003). *Tzu Sun: el arte de la Guerra*. <https://biblioteca.org.ar/libros/656228.pdf>
- Chandler, A. (1962). *Strategy and Structure: Chapters in the History of the Industrial Enterprise*. Massachusetts Institute of Technology Press.
- Covey, S. (2003). *Los 7 hábitos de la gente altamente efectiva: la revolución ética en la vida cotidiana y en la empresa*. Paidós Plural.
- Chase, R., Jacobs, F., & Aquilano, N. (2009). *Administración de operaciones: producción y cadena de suministros* (12.ª ed.). McGraw Hill.
- Contreras, E. (2013). El concepto de estrategia como fundamento de la planeación estratégica. *Pensamiento & Gestión*, (35), 152-181. <https://www.redalyc.org/pdf/646/64629832007.pdf>
- Cardillo, R., & Szafranski, R. (2015). Tiro directo: ¿Ha muerto la estrategia? *Air & Space Power Journal*, 27(4), 81-86. https://www.airuniversity.af.edu/Portals/10/ASPJ_Spanish/Journals/Volume-27_Issue-4/2015_4_11_cardillo_s.pdf
- Cronin, T. (2015). Aprender y pensar sobre liderazgo. *Air & Space Power Journal*, 27(3), 36-50. https://www.airuniversity.af.edu/Portals/10/ASPJ_Spanish/Journals/Volume-27_Issue-3/2015_3_06_cronin_s.pdf
- Cambridge University. (s. f.). Negociación. En *Cambridge Dictionary*. <https://dictionary.cambridge.org/es/diccionario/ingles-espanol/negotiation>
- Fisher, R., & Ury, W. (1985). *¡Sí, de acuerdo! Cómo negociar sin ceder*. Editorial Norma.
- Fernández-Osorio, A. E., Cufiño-Gutiérrez, F. N., Gómez-Díaz, C. A., & Tovar-Cabrera, G. A. (2019). Dynamics of State Modernization in Colombia: The Virtuous Cycle of Military Transformation. *Democracy and Security*, 15(1), 75-104. https://www.academia.edu/44311150/Dynamics_of_State_Modernization_in_Colombia_The_Virtuous_Cycle_of_Military_Transformation
- Galvis, R. A. (2006). *Derecho Internacional Contemporáneo. Lo público, lo privado, los derechos humanos*. Universidad del Rosario.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2014). *Metodología de la investigación*. McGraw Hill.
- Harvard University. (2020). *Negotiation Skills: Negotiation Strategies and Negotiation Techniques to help you become a better negotiator*. https://professional.dce.harvard.edu/negotiation-programs/?gclid=CjwKCAjw8KmLBhB8EiwAQbqNoAGqvy9dL0uY9Dvane0R7ESAmWG84xFIM4D5CahS-BJ7bJIIWsp6ahoCMm4QAvD_BwE
- Jones, G., & George, J. (2009). *Administración contemporánea* (6.ª ed.). McGraw Hill.
- Kenichi, O. (1982). *The Mind of Strategist*. McGraw Hill.
- Mintzberg, H. (1989). *Mintzberg y la dirección*. Ediciones Díaz de Santos.
- Ogliastri, E. (2001). *¿Cómo negocian los colombianos?* Alfaomega Cambio.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico & Oficina Europea de Estadística. (2005). *Manual de Oslo: guía para la recogida e interpretación de datos sobre innovación*. (3.ª ed.). OCDE; Eurostat. <http://www.itq.edu.mx/convocatorias/manualdeoslo.pdf>
- Organización Mundial de la Propiedad Intelectual [OMPI]. (2019). *La geografía de la innovación: núcleos locales, redes mundiales: informe mundial sobre la propiedad intelectual 2019*. https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/es/wipo_pub_944_2019.pdf

- Paz, J. (2004). Negociación: competencia gerencial por autonomía. *Revista EIA*, (1), 81-98. <https://www.redalyc.org/pdf/1492/149217763008.pdf>
- Pulgarín, S., & Rivera, H. (2012). Las herramientas estratégicas: un apoyo al proceso de toma de decisiones gerenciales. *Criterio Libre*, 10(16), 89-114. https://www.researchgate.net/publication/241754492_Las_herramientas_estrategicas_un_apoyo_al_proceso_de_toma_de_decisiones_gerenciales
- Peña Chivatá, C., & Díaz, D. (2019). *El poder y la estrategia militar para la negociación e implementación de los acuerdos de paz en Colombia*. Escuela Superior de Guerra. <https://esdeguelibros.edu.co/index.php/editorial/catalog/view/39/42/681>
- Real Academia Española. (2019). Negociación. En *Diccionario de la lengua española*. <https://dle.rae.es/?w=negociaci%C3%B3n>
- Serna, H. (2008). *Gerencia estratégica: teoría-metodología, alineamiento, implementación y mapas estratégicos, índices de gestión* (10.ª ed.). 3R Editores.
- Sarkis, B., & Ocampo, J. (2015). Negociando con otras culturas: cómo negocian los colombianos según empresarios mexicanos. *Civilizar*, 15(29), 135-148. <http://www.scielo.org.co/pdf/ccso/v15n29/v15n29a09.pdf>
- Schmitt, A., Raisch, S., & Volberda, H. (2016). Strategic Renewal: Past Research, Theoretical Tensions and Future Challenges. *International Journal of Management Reviews*, 20(1), 1-18. https://www.researchgate.net/publication/307922540_Strategic_Renewal_Past_Research_Theoretical_Tensions_and_Future_Challenges_Strategic_Renewal
- Shonk, K. (2019). *What is Negotiation?* Harvard Law School. <https://www.pon.harvard.edu/daily/negotiation-skills-daily/what-is-negotiation/>
- Segura, C. (2020). *El proceso de un estrategia: menos directivos y más estrategias*. KUMIAY Internacional.
- Segura, C. (2021). Innovación de la estrategia militar: innovando con el apoyo de la herramienta moderna: Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas (FODA) + 1. *Journal of the Americas*, 3(2), 13-23. https://www.airuniversity.af.edu/Portals/10/JOTA/Journals/Volume%203%20Issue%202/4-Segura_s.pdf
- Villacis, D. (2014). La planificación estratégica como una herramienta de apoyo para determinar capacidades militares. *Revista Política y Estrategia*, (124), 13-36. <https://www.politicayestrategia.cl/index.php/rpye/article/view/49/164>

Diseño e implementación del plan de mantenimiento preventivo de los equipos de la empresa Granitos y Mármoles Acabados SAS

| Fecha de recibido: 17 de marzo del 2021 | Fecha de aprobación: 27 de septiembre del 2021 |

María Gabriela Mago Ramos

Doctora en Ingeniería

Docente, Universidad Libre
Colombia

Rol de la investigadora: teórico,
experimental y escritura

<https://orcid.org/0000-0001-7250-111X>

✉ mariag.magor@unilibre.edu.co

Sebastián Rocha Pachón

Ingeniero Mecánico

Universidad Libre
Colombia

Rol del investigador: teórico,
experimental y escritura

<https://orcid.org/0000-0002-7142-0796>

✉ Sebastianrocha739@gmail.com

Cómo citar este artículo: Mago-Ramos, M., & Rocha-Pachón, S. (2021). Diseño e implementación del plan de mantenimiento preventivo de los equipos de la empresa Granitos y Mármoles Acabados SAS. *Ciencia y Poder Aéreo*, 16(2), 98-111. <https://doi.org/10.18667/cienciaypoderaereo.703>



Diseño e implementación del plan de mantenimiento preventivo de los equipos de la empresa Granitos y Mármoles Acabados SAS

Design and Implementation of the Preventive Maintenance Plan for the Equipment at Granitos y Mármoles Acabados SAS

Desenho e implementação do Plano de Manutenção Preventiva dos Equipamentos da Granitos y Mármoles Acabados SAS Empresa

Resumen: Esta investigación propone el diseño y la implementación del plan de mantenimiento preventivo en pequeñas industrias que empezaron en forma de proyectos familiares o de manera artesanal, las cuales no tuvieron la posibilidad de adoptar una estrategia de mantenimiento como el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), que permite identificar los equipos más críticos, mediante un análisis de criticidad para el proceso y adoptar estrategias a fin de posibilitar la eliminación de la ocurrencia de fallas. La metodología empleada en esta investigación, que fue aprendida en los cursos de Mantenimiento del programa de Ingeniería Mecánica de la Universidad Libre, permitió generar formatos que facilitaron el manejo de los equipos y la visualización de la información, así como otros documentos para el seguimiento y control de las actividades relacionadas con cada activo. La microempresa, caso de estudio, cuya razón social se denomina Granitos y Mármoles Acabados SAS presta servicios de mantenimiento a todo tipo de piedra natural hace más de 20 años, sin efectuar ninguna estrategia de mantenimiento para sus equipos, por lo que, buscando optimizar métodos productivos contempló la necesidad de implementar la estrategia. El estudio se complementó con un análisis financiero: cálculo de ROI y TIR, que posibilitó la evaluación de la inversión en mantenimiento, no solamente como un gasto. La aplicación de procedimientos teóricos y analíticos permitió verificar que los servicios que presta la empresa tienden a volverse más eficientes, demostrando con cifras la retribución económica que genera un plan de mantenimiento para este sector en específico. El aporte de esta investigación a las investigaciones futuras radica en la elaboración de un plan de mantenimiento en empresas PYME que no han tenido esta cultura técnica u operacional con los equipos, y que a largo plazo les genera un menor lucro cesante y una mayor productividad cuando se invierte en mantenimiento.

Palabras clave: diseño; implementación; plan de mantenimiento preventivo; equipos.

Abstract: This research proposes the design and implementation of a preventive maintenance plan for small industries that began in the form of family businesses, which have not had the chance of adopting a maintenance strategy such as Reliability Centered Maintenance (RCM). The proposal allows identifying the most critical equipment (through a criticality analysis) for the process in order to adopt strategies that eliminate failures. The methodology used in this research, learned in the maintenance courses of the Mechanical Engineering Program at Universidad Libre, allowed generating formats that facilitated the management of equipment and the visualization of information and other documents required for the monitoring and control of the activities related to each asset. The case study company, named Granitos y Mármoles Acabados SAS, is a micro-enterprise in the business of maintenance services to all types of natural stone, which has operated for over 20 years without carrying out any maintenance strategy for its equipment. This company considered the need to implement a maintenance strategy in order to optimize its production methods. The study was complemented with a financial analysis (ROI and IRR calculation) that allowed evaluating the investment in maintenance not only as an expense. By applying theoretical and analytical procedures, it was verified that the services provided by this company tend to become more efficient, proving with figures the economic retribution generated by a maintenance plan. The contribution of this research to future studies lies in the development of a maintenance plan for SMEs that have not implemented this technical or operational culture with their equipment, and that, in the long term, generates a decreased loss of profit and greater productivity.

Keywords: design; implementation; preventive maintenance plan; equipment.

Resumo: Esta pesquisa propõe a concepção e implementação do plano de manutenção preventiva em pequenas indústrias que se iniciaram na forma de projetos familiares ou de forma tradicional, que não tinham a possibilidade de adotar uma estratégia de manutenção como a Manutenção Centrada em Confiabilidade (RCM), que permite identificar os equipamentos mais críticos, através de uma análise de criticidade, para o processo e adotar estratégias que possibilitem a eliminação da ocorrência de falhas. A metodologia utilizada nesta pesquisa, que foi aprendida nos cursos de Manutenção do Programa de Engenharia Mecânica da Universidade Livre, permitiu gerar formatos que facilitam a gestão dos equipamentos e a visualização das informações, bem como outros documentos para o monitoramento e controle das atividades relacionadas a cada ativo. A empresa, caso de estudo, cuja denominação social se denomina "Granitos y Mármoles Acabados SAS" é uma micro-empresa que há mais de 20 anos presta serviços de manutenção a todo o tipo de pedra natural, sem levar a cabo qualquer estratégia de manutenção dos seus equipamentos, por isso para otimizar os métodos de produção, considerou a necessidade de implementá-la. O estudo foi complementado com uma análise financeira: cálculo do ROI e da TIR, que possibilitou avaliar o investimento em manutenção, não apenas como despesa. A aplicação de procedimentos teóricos e analíticos permitiu verificar que os serviços prestados pela empresa tendem a se tornar mais eficientes, demonstrando com números a retribuição econômica gerada por um plano de manutenção para este setor específico. A contribuição desta pesquisa para pesquisas futuras está no desenvolvimento de um plano de manutenção em empresas de pequeno e médio porte que não possuíam essa cultura técnica ou operacional com os equipamentos, e que no longo prazo gera menores lucros cessantes e maior produtividade quando é investido em manutenção.

Palavras-chave: design; implementação; plano de manutenção preventiva; equipes.

El mantenimiento de los equipos es necesario realizar la función para la que son diseñados; es así que desde el inicio de la industrialización se ha concebido el mantenimiento como parte esencial del buen desempeño de las máquinas. Con los avances tecnológicos han surgido distintas maneras de gestionar las actividades destinadas a esto, todas ellas buscan la forma más eficaz y eficiente de asegurar que realicen una función deseada dentro de los parámetros establecidos, mediante la implementación de herramientas y estrategias que faciliten el análisis y la toma de decisiones. El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) es una de estas herramientas, la cual ha tenido gran acogida gracias a que, además de que resulta sencilla de implementar, brinda una manera de organizar los activos conociéndolos en forma más detallada. La implementación de esta estrategia es dinámica y depende del entorno o del contexto operacional (Lucía, 1990). Con este plan se muestra que las industrias que empiezan como proyectos familiares o de manera artesanal, y que no tuvieron la posibilidad de conocer dichas herramientas, pueden adoptar una estrategia de mantenimiento como el RCM, ya que les brinda una forma efectiva de organizar sus activos por medio de un procedimiento que permite conocer cada una de las fallas, y así tomar decisiones para mitigar el efecto. Durante este proceso se generan formatos que facilitan el manejo de los equipos y la visualización de la información, de igual forma sucede con los documentos necesarios para el seguimiento y control de las actividades relacionadas de cada activo.

Este es el caso de Granitos y Mármoles Acabados SAS, una microempresa que presta servicios de distribución, procesamiento y mantenimiento de todo tipo de piedra natural como mármoles o granitos en pisos o fachadas, donde se ha venido trabajando sin implementar ninguna estrategia de mantenimiento, lo que ha repercutido negativamente en el estado de los equipos y en el cumplimiento de metas, por lo que se contempla la necesidad de implementar esta estrategia para optimizar la empresa. El estudio se complementa con un análisis financiero que permite clarificar y evaluar que la inversión en mantenimiento no es solamente gasto. Además de determinar el retorno de

la inversión (ROI), correspondiente al proyecto, se demuestra con cifras la retribución económica que genera un plan de mantenimiento para este sector.

La empresa y sus procesos

Granitos y Mármoles Acabados SAS es una microempresa del sector de construcción, creada en 1995; ha crecido a medida que el sector se ha desarrollado en Colombia, lo que le ha permitido adquirir experiencia y adaptarse a las nuevas tecnologías para prestar de manera eficaz y eficiente sus servicios. Cuenta con 10 empleados y 12 equipos; sus procesos han sido desarrollados de manera empírica y modificados a través de la experiencia propia, buscando optimizar los recursos. Esta empresa nunca ha tenido la oportunidad de aplicar estrategias o planes de mantenimiento, pero con motivo de esta investigación, se convertirá en pionera de su sector y así servirá como piloto para aplicaciones a empresas similares.

A continuación, en la figura 1 se muestra el diagrama de flujo para el proceso de pulido de áreas en piedra natural o mármol donde se evidencia el uso que se les da a los equipos susceptibles de mantenimiento, cuyas actividades son: destronque y pulido, acabado y brillado.

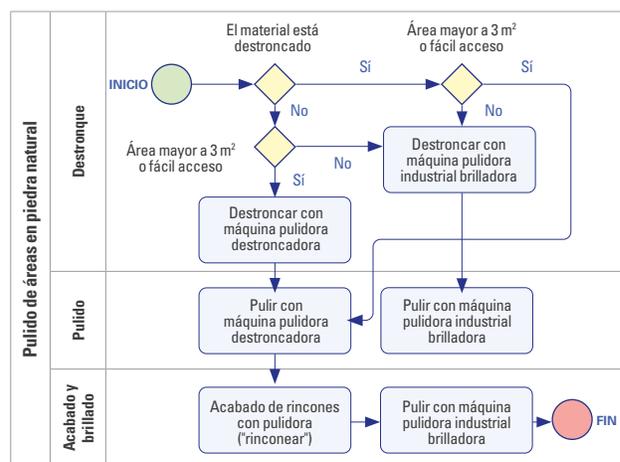


Figura 1. Flujograma del proceso empresa Granitos y Mármoles Acabados SAS

Fuente: elaboración propia.

Destronque y pulido: desbaste hasta conseguir una superficie uniforme; esto se consigue utilizando una máquina pulidora-destroncadora la cual utiliza discos con incrustaciones de diamante industrial de granulometría n.º 24-60-120; con la superficie uniforme se cambia a los discos de pulido, los cuales tienen una granulometría n.º 220-400-600-800; en ocasiones estos procesos se deben realizar con una máquina pulidora industrial brilladora debido a que no todas las superficies son de fácil acceso.

Acabado y brillo: se aprovecha una reacción química entre el carbonato de calcio presente en el mármol y un cristalizante que satura la superficie y logra dar un brillo natural. La máquina pulidora industrial también es usada para esta tarea cambiando los discos de pulir por unos paños a los cuales se les pone lana de acero para, después, aplicar los cristalizantes uniformemente sobre la superficie.

Descripción del problema de investigación

En la industria hay empresas que tienen equipos susceptibles de mantenimiento, los cuales deben estar dentro de ciertos parámetros mínimos de operación, productividad y eficiencia; adicionalmente, deben cumplir con toda la normatividad de seguridad industrial exigida por algunas compañías, como manuales, fichas técnicas, procedimientos, planes de mantenimiento, certificados de reparación, entre otros. Existen micro o medianas empresas que no tienen implementada ninguna estrategia o metodología de mantenimiento, bien sea por su desconocimiento o porque desarrollan sus actividades de manera artesanal; debido a esto, se creó la necesidad de implementar planes de mantenimiento para dichos equipos con el fin de que estas empresas tengan un mejor control de los activos, optimizando los recursos y el tiempo para que se puedan ajustar a los lineamientos exigidos.

La implementación de un plan de mantenimiento busca principalmente los siguientes objetivos: mejorar la disponibilidad del equipo, disminuir los costos

de mantenimiento y optimizar los recursos humanos (Gómez 2006; Mora, 2019). Hay diferentes estrategias que sirven como herramienta para el análisis de la información y su correcta implementación, la cual se debe seleccionar teniendo en cuenta el modo de operación, como también los procesos, activos, recursos financieros, personal calificado y tiempo de servicio. Con esto se establecerán estrategias que permitan el desarrollo de actividades enmarcadas hacia el logro de objetivos estratégicos operacionales y financieros. Los planes y programas de mantenimiento en sectores productivos traen ventajas a la operación y la calidad mediante el control de actividades y gestión de los recursos, lo cual permite establecer indicadores de fiabilidad que garanticen la disponibilidad de los activos. Esta premisa puede aplicarse también a las PYME que hacen parte de estos sectores, y más aún, cuando no tienen en sus procesos planes de mantenimiento, lo cual puede dar origen a varios interrogantes: ¿Cómo los planes de mantenimiento pueden mejorar la respuesta en los tiempos de servicio, favoreciendo costos operacionales y atención a los clientes?, y otra no menos importante (Villareal, 2017), ¿cómo se hacen más competitivas y con mayores oportunidades de negocio estas PYME, mediante la aplicación de buenas prácticas de mantenimiento?

Justificación de la investigación

Granitos y Mármoles Acabados SAS empezó como un proyecto familiar, que viene prestando sus servicios de mantenimiento de pisos y fachadas de una manera empírica, donde no hay una taxonomía definida para: los equipos, fichas técnicas, hojas de vida, procedimientos, listado de repuestos, plan de mantenimiento o registro; debido a esto, no se logra la premisa principal de un plan de mantenimiento ni se cumplen con los requisitos exigidos por compañías que implementan sistemas integrados de gestión, estas compañías exigen en sus procesos de selección que los equipos cumplan con las normas de seguridad industrial establecidas para celebrar contratos con ellas. En esta

investigación se realizó un análisis del estado de los equipos de la empresa utilizando técnicas de recolección de información, con los indicadores necesarios para diseñar un plan de mantenimiento enfocado en la integridad de los activos, en pro de reducir costos y ser más competitivos en el mercado (Monsalve & Tena, 2018).

Metodología

Esta investigación tiene un enfoque cualitativo, ya que para lograr su objetivo recolectó información basada en la observación y en principios no cuantificables (Da Costa *et al.*, 2010). El proyecto fue estructurado en una serie de fases metodológicas que se muestran en la figura 2.

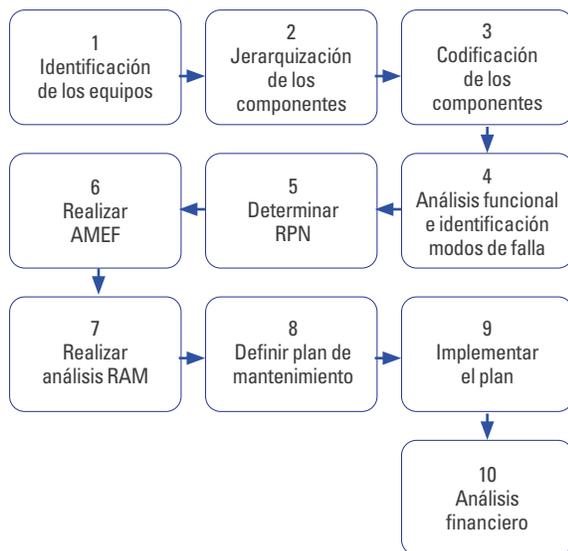


Figura 2. Metodología del proyecto
Fuente: elaboración propia.

Identificación de equipos

Se realizó un análisis de criticidad con el cual se priorizaron los equipos incluidos en el listado de equipos mantenibles, identificándolos mediante formatos de fichas de equipos, y en la creación de las hojas de vida.

Jerarquización de los componentes

Cada equipo se desglosó en sus sistemas y subsistemas hasta llegar a los componentes identificando las partes mantenibles, todo esto en un orden jerárquico.

Codificación de los componentes

Se creó un código único con el fin de facilitar la identificación, localización y manejo de los activos y sus componentes asociados.

Análisis funcional e identificación modos de falla

Para conocer e identificar los modos de falla se hizo un análisis funcional donde fue considerada cada función revelando las fallas funcionales; de esta manera, se identificaron los modos, así como el mecanismo de falla.

Determinar RPN

Se calculó el número ponderado de riesgo (RPN) según el nivel de severidad, ocurrencia y detección.

Realizar AMEF

En este formato se consigna de forma ordenada la información de los modos de falla, lo que facilita su interpretación y permite definir acciones correctivas para cada uno de los modos.

Definir plan de mantenimiento

Con dichas acciones se procedió a planificar el mantenimiento por medio de formatos de rutas de trabajo, las cuales organizaron eficientemente los recursos técnicos, humanos y financieros.

Implementar el plan

Las rutas fueron implementadas mediante un formato de órdenes de trabajo donde se incluyeron especificaciones claras de las tareas al operario, así mismo, con

este documento se puede obtener un mejor control sobre la ejecución del plan.

Análisis financiero

Finalmente, se efectuó un análisis financiero con el fin de conocer los costos que se requerían para la implementación del plan, se evaluó la viabilidad del proyecto con el cálculo del ROI.

Resultados

En el diagrama de flujo del proceso que se presenta en la figura 1 para la sección de pulido en áreas de piedra natural se evidencia que se utilizan básicamente tres tipos de máquinas susceptibles de mantenimiento: máquina destroncadora-pulidora, máquina pulidora industrial brilladora y pulidoras, las cuales son utilizadas simultáneamente, pues la empresa cuenta con siete equipos en total; estos dos primeros son los equipos más antiguos, los cuales han sido reparados por los operarios de forma artesanal, debido a esto, la frecuencia de falla es alta-media, además las fallas de presentadas tienen un gran impacto en la producción (Salguero, 2010; Páramo, 2016). A continuación, se muestra en la tabla 1 la lista de equipos de mayor importancia para el proceso que también fueron evaluadas mediante un análisis de criticidad tal y como se muestra posteriormente en la tabla 2.

Tabla 1
Lista de equipos

Lista de equipos					
Empresa:	Granitos y Mármoles Acabados SAS	Fecha	02	09	2018
Área	Equipo	Sistema			
		ELE	MEC	HID	
Destronque	Máquina destroncadora-pulidora 1	x	x	x	
	Máquina destroncadora-pulidora 2	x	x	x	
	Máquina destroncadora-pulidora 3	x	x	x	
Pulido	Máquina pulidora industrial brilladora 1	x	x	x	
Brillado y acabado	Máquina pulidora industrial brilladora 2	x	x		

Fuente: elaboración propia.

Tabla 2
Análisis de criticidad

Activo	Impacto					Frecuencia	Criticidad
	IPR	IP	IA	IO	Total		
Máquina destroncadora-pulidora 1	4	2	1	3	10	4	40
Máquina destroncadora-pulidora 2	4	2	1	3	10	4	40
Máquina destroncadora-pulidora 3	2	2	1	3	8	4	32
Máquina industrial brilladora 1	3	1	1	2	7	3	21
Máquina industrial brilladora 2	3	1	1	2	7	3	21
Pulidora manual	1	1	1	1	4	2	8

Matriz de criticidad

		Consecuencia															
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		
Frecuencia	4	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	64		
	3	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48		
	2	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32		
	1	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		
alta (crítico)							29 ≤ Criticidad ≤ 64										
media (vital)							15 ≤ Criticidad ≤ 28										
Baja (secundario)							29 ≤ Criticidad ≤ 14										

Fuente: elaboración propia.

Identificar y jerarquizar los activos

Se cuenta con sistemas, subsistemas, componentes y partes mantenibles de los activos. A continuación, se muestra en la siguiente sección el análisis de esta parte de los equipos.

Máquina pulidora-destroncadora 1

Tiene un motor trifásico el cual es controlado por un *switch* reversible que le permite cambiar el sentido de giro del motor; la potencia se transmite a través de un sistema de poleas que reducen las revoluciones y hacen girar el cabezal de pulido donde se pone el resorte de amortiguación y los discos de pulido. El cabezal tiene unos ductos que permiten el paso del agua del tanque hacia los discos de pulido por medio de una llave. Este equipo es el más antiguo de todos por lo que ha sido modificado para aumentar su potencia y poder pulir superficies muy exigentes.

Tabla 3
Jerarquización de equipos

Formato identificación de equipo					
Activo	Sistema	Subsistema	Componente	Parte mantenible	
Destroncadora pulidora	Eléctrico	Alimentación	Motor trifásico	– Inducido – Bobinas de campo	
			Control	Switch reversible – Platinas de contacto – Perilla	
		Mecánico	Transmisión	Polea conductora	– Polea de 3"
				Polea conducida	– Polea de 8"
	Correas			– Correa en V ref.: A-62	
	Ejes	Eje conductor	– Eje en acero rápido de 1 ½"		
		Eje conducido	– Eje en acero rápido de 1 ½" – Tuerca de sujeción		
	Cabezal de pulido	Eje transmisión		– N/A	
			Rodamientos	– Ref. 47679	
	Amortiguación	Resorte amortiguador		– Resorte de acero RS-2021	
	Hidráulico	Tanque de agua	Llave dispensadora de agua	– Embolo de salida	

Fuente: elaboración propia.

Formato de ficha técnica utilizada para los equipos

En la tabla 4 se muestra el formato de ficha técnica diseñado para los activos del proceso y en la tabla 5 la identificación del equipo que da cuenta de las partes mantenibles, cuyo stock de repuestos se requiere para las actividades de mantenimiento que serán desarrolladas en el *planning* que se propone en esta investigación.

Análisis funcional

En el RCM se hace énfasis en mantener la función deseada por lo que se debe conocer dicha función; una vez se conoce, se pueden inferir las fallas funcionales; es de aclarar que no todas las fallas que ocurren afectan la función (de tipo primaria); también se pueden presentar varias fallas que afecten una misma función (de tipo secundaria), como se muestra en la tabla 6.

Tabla 4
Ficha técnica de los equipos

Formato ficha técnica del equipo		
Identificación	Nombre	Destroncadora pulidora
	Localización	Bodega Granitos y Mármoles Acabados SAS
	Fecha adquisición	1995
Diseño	Datos del fabricante	Desconocido
	Características de diseño	Potencia motor: 5HP Voltaje: 370/440 V Número de fases: 3 Velocidad motor: 1800 rpm Velocidad cabezal: 680 rpm Capacidad tanque: 50 lts Polea conductora: 3" Polea conducida: 8" Medidas (LXAXP): 110 cm x 70 cm x 60 cm Peso: 90 kg Tipo polea: en V REF.: A-62
Aplicación	Operación	Opera en dos turnos diarios de 4 horas, el motor trifásico es autorreversible y opera alternativamente en las dos direcciones, el tanque de agua se mantiene lleno; las correas de transmisión deben estar templadas
	Factores ambientales	No se puede operar bajo la lluvia debido a que los sistemas de control están a la intemperie
Comentarios	Información adicional	Es capaz de destroncar y pulir concreto o cualquier piedra con los discos de diamante industrial

Fotografías



Fuente: elaboración propia.

Tabla 5
Formato de Identificación del Equipo

Formato identificación de equipo					
Activo	Sistema	Subsistema	Componente	Parte mantenible	
Destroncadora pulidora	Eléctrico	Alimentación	Motor trifásico	– Inducido – Bobinas de campo	
			Control	Switch reversible – Platinas de contacto – Perilla	
		Mecánico	Transmisión	Polea conductora	– Polea de 3"
				Polea conducida	– Polea de 8"
	Correas			– Correa en V ref.: A-62	
	Ejes		Eje conductor	– Eje en acero rápido de 1 ½"	
			Eje conducido	– Eje en acero rápido de 1 ½" – Tuerca de sujeción	
	Cabezal de pulido		Eje transmisión		– N/A
		Rodamientos		– Ref. 47679	
	Amortiguación	Resorte amortiguador		– Resorte de acero RS-2021	
	Hidráulico	Tanque de agua	Llave dispensadora de agua	– Embolo de salida	

Fuente: elaboración propia.

Tabla 6
Análisis funcional

Equipo	Función		Falla funcional		
	ítem	Descripción	Descripción	P	S
DES-1 DES-2 DES-3	1	Destroncar 50 m ² /día de superficie desbastando la unión que sobresale	1.1 Destronque incompleto 1.2 Falla en caja de transmisión, cabezal no gira 1.3 Falla en motor trifásico	x x	 x
DES-2 DES-3	2	Pulir 40 m ² /día de pisos de mármol dando diferentes acabados	2.1 Pulido incompleto no uniforme 2.2 Falla en caja de transmisión, cabezal no gira 2.3 Falla en motor trifásico	x x	 x
BRI-1 BRI-2	3	Brillar 60 m ² /día de pisos de mármol dando acabado final	3.1 Brillado no uniforme 3.2 Falla en platinas de contacto 3.3 Falla en motor trifásico	x x	 x

Fuente: elaboración propia.

Modos de fallas

Se identificaron las fallas presentadas, cómo ocurrieron y las afectaciones que tuvieron; para esto se debe determinar el mecanismo y el modo de falla observado, como se muestra en la tabla 7.

Tabla 8
AMEF

Análisis de modo y efectos de falla									
Falla funcional	Modo de falla	Efecto de falla potencial	S	Causas de la falla	O	Controles actuales	D	RPN	Acciones recomendadas
Destronque o pulido mal realizado incompleto	Falla en <i>switch</i> reversible	Pérdida total de la función; afectación a la producción, tiempos operacionales y tiempo de entrega	0,8	- Desgaste en las platinas de contacto - Rotura de la perilla	3	- Revisar integridad física del activo	1	2,4	- Realizar pruebas pre operacionales - Cambio periódico del <i>switch</i> - Inspección visual
	Embolo dispensador de agua tapado	Proceso no deseado causando reproceso; retraso en tiempos de entrega, pérdida de confianza	0,4	- Suciedad en el tanque	2	- Limpiar el tanque periódicamente - Filtrar agua que se usa	2	1,6	- Limpieza mensual del tanque
	Falla en resorte suspensión	Proceso no deseado causando reproceso; retraso en tiempos de entrega, pérdida de confianza	0,9	- Resorte mal ubicado - Fatiga en el resorte - Disco de pulido mal puesto	3	- Revisar integridad física - Inspección visual antes de arrancar	1	2,7	- Inspección visual y pruebas periódicas al resorte - Entrenar al personal en el uso correcto del equipo
Falla en caja de transmisión, cabezal no gira	Correas sueltas	Reducción del torque, pérdida gradual de la función; retraso en tiempos de entrega, pérdida de confianza	0,65	- Vibraciones desajustan las poleas - Fuga de agua que hace perder fricción en las poleas	4	- Ajuste periódico de las correas - Inspección visual del tanque en busca de fugas	2	5,2	- Ajuste semanal de las correas - Entrenar al personal - Cambio periódico de las correas - Inspección visual del tanque en busca de fugas
	Correas rotas	Pérdida total de la función; afectación a la producción, tiempos operacionales y tiempos de entrega	0,6	- Demasiada templada las poleas - Mal uso de la máquina	2	- Cambio de correas cuando fallan	1	1,2	- Ajuste semanal de las correas - Entrenar al personal - Cambio periódico de las correas
	Rodamientos desgastados	No se puede dar inicio a las labores	0,95	- Fuga de agua hacia caja de rodamientos	2	- Inspección visual del tanque en busca de fugas	3	5,7	- Lubricación periódica de la caja de rodamientos

Fuente: elaboración propia.

Tabla 7
Modos de falla

Falla funcional	Modo de falla	Mecanismo de falla	Código
1.1 Destronque mal realizado incompleto	Falla en <i>switch</i> reversible	Hay energía pero no enciende	DES-E-CON-B
	Embolo dispensador de agua tapado	No cae agua sobre el cabezal de pulido	DES-H-TAN-K-14
	Falla en resorte suspensión	No hay amortiguación	DES-M-AMO-J-13
1.2 Falla en caja de transmisión, cabezal no gira	Correas sueltas	Baja velocidad en el cabezal de pulido	DES-M-TRA-E
	Correas rotas	Motor arranca pero no gira cabezal	DES-M-TRA-E-7
	Rodamientos desgastados	Fuerte sonido al arrancar	DES-M-CAB-I-12

Fuente: elaboración propia.

Análisis de modos y efectos de fallas (AMEF)

Se presentaron los datos de tal manera que fuera posible evidenciar el impacto que tiene cada uno; planteando tareas para mitigarlos mediante el análisis de modos y efectos de fallas, en el cual se incluye el cálculo del RPN de acuerdo con el nivel de severidad, ocurrencia y detección, además, permite establecer las tareas de mantenimiento preventivo que requieren los equipos, como se muestra en la tabla 8.

Análisis RAM

Este análisis brinda información acerca de la confiabilidad (R), la mantenibilidad (M) y la disponibilidad (A) de los equipos, lo que permite presentar un criterio para la toma de decisiones. Hay diferentes tipos de máquinas que se dividen en dos modelos, con el fin de relacionar los tiempos de intervenciones obtenidos en las fallas ocurridas en el 2018 y algunos registros que se tienen de fallas del 2017, de las cuales se calculó el tiempo entre paradas como de ocho horas de operación diaria, por 22 días al mes, por el número de meses entre cada falla; con dicha información se estimaron los tiempos promedio de falla (MTBF), tiempos medios de reparación (MTTR) y demás indicadores que son utilizados para definir las frecuencias de intervención. Estos resultados se muestran en la tabla 9.

Tabla 9.
Resultado del análisis RAM

Modelo	MTTR	MTBF	Tiempo prom. operación	Tiempo prom. reparación	β	R(t)	A(t)	M(t)
DES	2	838,58	1.500	2	1	0,17	0,99	0,61
BRI	2	681,66	1.000	2,2	1	0,23	0,99	0,66

Fuente: autor del proyecto.

Diseño del plan de mantenimiento

Con las acciones recomendadas, definidas anteriormente, se realizó una planificación de mantenimiento en la que se tuvieron en cuenta los recursos humanos, materiales y disposición de tiempos; este último fue de vital importancia para optimizar los recursos. Se estimaron los tiempos de intervención considerando la historia técnica y las experiencias registradas, para los equipos caso de estudio no se disponían de los antecedentes operativos ni de mantenimiento, por lo que se recurrió a la información que existe de equipos similares y a la opinión de operarios y expertos (Sierra, 2004; López, 2017), como se muestra en la tabla 10.

Tabla 10
Plan de mantenimiento preventivo

Activo	Descripción	Recursos			Frecuencia	Ejecutado por	Modo de falla asociado
		H	M	Tipo			
DES-1	Cambio periódico del <i>switch</i>	X	X	Herramienta <i>switch</i> reversible	Anual	Operario	DES-E-CON-B
DES-1	Inspección visual del <i>switch</i>	X		E. P. P. adecuados	Semanal	Operario	DES-E-CON-B
DES-1	Limpieza del tanque	X	X	Grata cepillos	Mensual	Operario	DES-H-TAN-K-14
DES-1	Realizar pruebas de carga al resorte	X	X	Pesos de prueba y calibrador	Mensual	Operario	DES-M-AMO-J-13
DES-1	Ajuste de correas	X	X	Herramienta	Semanal	Operario	DES-M-TRA-E-7
DES-1	Cambio periódico correas	X	X	Herramienta Correa A-62	Anual	Operario	DES-M-TRA-E-7
DES-1	Lubricación caja de rodamientos	X	X	Herramienta Grasa de litio	Semestral	Operario	DES-M-CAB-I-12

Fuente: elaboración propia.

Programar las actividades de mantenimiento preventivo

Se crearon rutas de mantenimiento donde se especificaban las tareas que deben realizarse semanal, mensual, semestral o anualmente mediante un formato de ruta de mantenimiento, como se muestra en la tabla 11.

Tabla 11
Formato de ruta de trabajo para mantenimiento preventivo

Formato de trabajo					
Granitos y Mármoles Acabados SAS (Información general)					
Operario:					Ruta no.
Frecuencia:	Semanal		Fecha ejecución:		
Hora inicio:	Hora final:	Tiempo total:		Tiempo estimado:	2h
Recursos necesarios					
<ul style="list-style-type: none"> - Juego de llaves - Guantes - Botas punta de acero - Hombre solo - Tapa oídos - Gafas de protección 					
Riesgo asociado y medidas preventivas					
<ul style="list-style-type: none"> - Usar gafas de protección - Riesgo eléctrico en los <i>switch</i>; aislar; no tocar cables sueltos o pelados - Riesgo mecánico; usar botas punta de acero evitar realizar demontajes solo 					
Actividades a realizar					
Equipo	Descripción	Rango operación	Resultado		
DES-1	Inspección visual del <i>switch</i>				
DES-1	Ajuste de correas				
DES-1	Inspección visual del tanque				
DES-2	Inspección visual del <i>switch</i>				
DES-2	Ajuste de correas				
DES-2	Inspección visual del tanque				
DES-3	Inspección visual del <i>switch</i>				
DES-3	Ajuste de correas				
DES-3	Inspección visual del tanque				

Fuente: elaboración propia.

Planificación de paradas (implementación)

Con los aportes brindados por los colaboradores y las personas que manejan los equipos, se estableció el mejor momento para ejecutar las rutas, teniendo en cuenta que siempre se debe fijar un responsable para su ejecución, así como asegurarse que el operario no tiene más tareas por realizar en el momento, de acuerdo con lo siguiente:

Las *rutas semanales* consisten en actividades de inspección y ajuste que no necesitan mucho tiempo, por lo que pueden ser ejecutadas por cualquier operario. Deben ser realizadas al inicio de la semana, reprogramándolas (de ser necesario, el operario que esté programado ese día es quien la realiza).

Las *rutas mensuales* tienen actividades un poco más complejas de realizar porque necesitan el desmonte del tanque, por lo que, para garantizar la disponibilidad de los equipos, se programó la ejecución de estas en el transcurso de una semana y deben ser llevadas a cabo por el mismo operario quien interviene

un equipo por día; en el *planning* de mantenimiento se indican con la letra M en la semana donde se debe cumplir.

Las *rutas semestrales* se programaron para los meses de febrero y agosto debido a que son las épocas cuando baja el flujo de trabajo, esto da dos semanas de tiempo, de forma tal que se cruzan con una ruta mensual para aprovechar el desmonte realizado; esta requiere al operario y al ayudante para hacer más eficaz y seguro el desarrollo de las actividades. Se muestran en el *planning* con una letra S en las semanas donde se ha planeado.

Las *rutas anuales* se proyectaron para agosto; son intervenciones a los dispositivos de control y las realizadas por terceros, por lo tanto, no se cuenta con ellos por un día cada uno y se deben desplazar al taller; se le dio un mes para la ejecución y cierre de la ruta. A continuación, se muestra el *planning* de mantenimiento desde el inicio de la implementación del plan y para el 2019 (González, 2016; Hernández, 2006), como se muestra en la tabla 12.

Tabla 12
Planning de mantenimiento

Descripción	Mes	Enero				Febrero				Marzo				Abril				Mayo				Junio					
		Estado	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
Destroncadora 1	Ejecutado			X			X	X				X				X											
	Planeado			M			S	M				M				M										M	
Destroncadora 2	Ejecutado			X			X				X				X												
	Planeado			M				M/S				M			M											M	
Destroncadora 3	Ejecutado			X			X	X			X				X												
	Planeado			M			S	M				M			M											M	
Pulidora brilladora industrial 1	Ejecutado			X			X				X				X												
	Planeado			M				M/S				M			M											M	
Pulidora brilladora industrial 1	Ejecutado			X			X	X			X				X												
	Planeado			M			S	M				M			M											M	
Descripción	Mes	Julio				Agosto				Septiembre				Octubre				Noviembre				Diciembre					
		Estado	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
Destroncadora 1	Ejecutado																										
	Planeado			M			A	S	M				M			M										M	
Destroncadora 2	Ejecutado																										
	Planeado			M			A		M/S				M			M										M	
Destroncadora 3	Ejecutado																										
	Planeado			M				S	M	A			M			M										M	
Pulidora brilladora industrial 1	Ejecutado																										
	Planeado			M			A		M/S				M			M										M	
Pulidora brilladora industrial 1	Ejecutado																										
	Planeado			M			S	M	A				M			M										M	

Rutas semanales: se ejecutan los lunes (o martes si es festivo)

Rutas mensuales: se indica con una M en la semana que se ejecutará

Rutas semestrales: se indica con una S en la semana que se ejecutará

Rutas anuales: se ejecutará en agosto; se indica con una A

X: semana en que se ejecutó

Fuente: elaboración propia.

Análisis financiero

Con esta herramienta se analizaron los costos asociados a la producción y al desarrollo de las actividades necesarias para el cumplimiento de las funciones en el transcurso de la implementación del plan, también se tuvo en cuenta el lucro cesante debido a las fallas y la tasa de inversión representativa de la implementación. Para realizar este estudio se evaluaron los eventos transcurridos desde octubre del 2018 hasta abril del 2019 (García *et al.*, 2003).

Inversión asociada a la implementación del plan de mantenimiento

Este proyecto fue realizado por el estudiante de Ingeniería Mecánica Jhon Sebastián Rocha, quien se encargó de recolectar la información, generar el plan y posteriormente seguir su ejecución; ha prestado sus servicios en dicha empresa a cambio del desarrollo de su opción de grado por lo que no representó ningún costo; en cuanto a consumibles se usaron una resma de papel, bolígrafos y marcadores Sharpie, por un valor de \$33.000 pesos. Además, se adquirieron los repuestos necesarios para dar cumplimiento al plan durante un año, como se muestra en la tabla 13.

Tabla 13
Stock de repuestos para un año

Descripción	Cant.	Valor unitario	Valor total	Aplicación
Grasa blanca de litio 3 en uno	1	\$27.000	\$27.000	Lubricar los cabezales de pulido
Traba rosca loctite 277	1	\$120.000	\$120.000	Ajustar la tuerca de sujeción de la polea conducida al cabezal de pulido
Silicona roja	2	\$8.000	\$16.000	Sellar las uniones en los cabezales de pulido
Correa ref.: A-60	6	\$8.000	\$48.000	Transmitir la potencia del motor a cabezal de pulido
Correa ref.: A-62	6	\$8.000	\$48.000	Transmitir la potencia del motor a cabezal de pulido
Correa ref.: A-66	6	\$8.000	\$48.000	Transmitir la potencia del motor a cabezal de pulido
Switch reversible para motor trifásico	3	\$75.000	\$225.000	Invierte la dirección de giro del motor
Switch de seguridad	2	\$56.000	\$112.000	Evita que la máquina funcione sin la presencia del operario
Platinas de contacto	4	\$15.000	\$60.000	Cierran el circuito en el motor bifásico
Cuña de transmisión	2	\$30.000	\$60.000	Transmitir la potencia del motor a cabezal de pulido
Capacitor	2	\$38.000	\$76.000	Regula la corriente antes de ingresar al motor bifásico
Total			\$840.000	

Fuente: elaboración propia.

Tiempo y costos invertidos en las rutas que se han diseñado en el plan de mantenimiento

Estas rutas serán ejecutadas por el operario, por lo que representará una inversión el tiempo que use para dichas intervenciones; el sueldo del operario es \$1.500.000, asumiendo que labora 192 horas mensuales cada hora cuesta \$7.812,5. Para la fecha en la cual se hizo el estudio fueron ejecutadas, como se muestra en la tabla 14:

- 28 rutas semanales, las cuales necesitan dos horas para ser ejecutadas, lo que se traduce en 56 horas fuera de servicio, además, estas no han generado costos ni requerido elementos del *stock*, ya que consisten en inspecciones visuales.
- Ocho rutas mensuales que representan 28 horas fuera de servicio a la fecha en las cuales no se ha empleado ningún repuesto.
- Una ruta semestral que representó siete horas de afectación donde se usaron tres correas Ref.: A-60, A-62, A-66, dos porta platinas para las brilladoras industriales y grasa de litio para lubricar los cabezales y rodamientos.
- Las rutas anuales aún no habían sido ejecutadas, pero se estima el tiempo que se necesitan para su ejecución.

Tabla 14
Tiempos y costos invertidos en las rutas

Frecuencia	Tiempo por ruta	Rutas ejecutadas	Turas planeadas	Tiempo ejecutado	Tiempo planeado	Total repuestos
Semanal	2	32	48	64	96	N/A
Mensual	4	8	12	32	48	N/A
Semestral	8	1	2	8	16	\$116.000
Anual	4	N/A	1	N/A	4	N/A
Total tiempo invertido planeado						164
Total tiempo invertido a la fecha						104
Total repuestos						\$116.000
Flujo cesante debido a la ejecución						\$718.750

Fuente: elaboración propia.

La inversión total del plan de mantenimiento para la fecha del estudio corresponde a lo indicado en la tabla 15 mostrada a continuación:

Tabla 15
Inversión total del plan de mantenimiento a la fecha del estudio

Inversión	Valor
Recurso humano e insumos	\$33.000
Stock de repuestos para un año	\$840.000
Ejecución de las rutas	\$718.750
Total inversión	\$1.591.750

Fuente: elaboración propia.

Para realizar el análisis financiero hay que tener en cuenta los costos totales del plan de mantenimiento para la fecha del estudio, los cuales se muestran a continuación en la figura 18.

Tabla 16
Costos totales del plan de mantenimiento a la fecha del estudio

Costos	Valor
Costos de mantenimiento correctivo	\$520.000
Costos de mantenimiento terceros	\$380.000
Stock de repuestos, insumos y recurso humano	\$873.000
Lucro cesante	\$827.309
Ejecución de las rutas	\$718.750
Total costos	\$3.319.059

Fuente: elaboración propia.

Cálculo del ROI

En este caso el beneficio de implementar el plan de mantenimiento es la ganancia dejada de obtener debido a dicha implementación, así como todos los costos asociados al mantenimiento realizado (Oreda, 2002), por lo que:

$$\text{Beneficio} = (\text{costos totales} \times \text{ganancia esperada}^*) + \text{costos de mto}$$

$$\text{Beneficio} = (\$2.939.059 \times 0,4 + \$520.000 + \$718.750)$$

$$\text{Beneficio} = \$2.414.376$$

*La ganancia esperada que plantea el dueño de la empresa es del 40 %.

La inversión necesaria para la implementación es \$1.591.750 (véase ecuación 1):

$$ROI = \frac{(\text{Beneficio} - \text{Inversión})}{\text{Inversión}} \quad (1)$$

$$ROI = (\$2.414.376 - \$1.591.750) / \$1.591.750$$

$$ROI = 0,51$$

Esto indica que el beneficio obtenido con respecto a la inversión es del 51 %, lo que significa que cada \$1.000 invertido en el plan representara \$1.500 de ganancia al final del ejercicio; además supera la ganancia esperada por el gerente. Esta inversión se realizó al inicio de la implementación y se puede estimar el tiempo en que será recuperada por medio de una regla de tres:

$$\text{Tiempo} = 12 \text{ meses} * \$1.591.750 / \$2.414.376$$

$$\text{Tiempo} = 7,91 \text{ meses}$$

Por lo que se recupera en ocho meses.

Cálculo del VPN

Con el fin de verificar la viabilidad del proyecto se complementa con el análisis del VPN, teniendo en cuenta que el flujo de caja serán los beneficios obtenidos en el año, pues todos tienen el mismo Índice de Precios al Consumidor (IPC) que fue del 3,18 % para el 2018.

Despejando el valor presente de la fórmula del interés compuesto se tiene en la ecuación 2:

$$VPN = \frac{VF}{(1 + i)^n} \quad (2)$$

Donde:
VPN: valor presente neto
VF: valor futuro
i: tasa de interés
n: número de periodos entre el valor presente y el valor futuro

Reemplazando los valores se tiene:

$$VPN = -\$1.591.750 + \$2.414.376(1 + 0,0318)^1$$

$$VPN = \$748.215$$

Ya que este valor es positivo se demuestra que fue conveniente realizar la inversión, como se muestra en la figura 3.



Figura 3. Flujo de caja para la inversión del plan de mantenimiento
Fuente: elaboración propia.

Cálculo de la TIR

La TIR es el valor que debe tomar i para que el VPN sea cero por lo que se utiliza la ecuación 3:

$$0 = -\$1.591750 + \$2.414.376 + TIR \quad (3)$$

Despejando

$$TIR = \$2.414.376 / \$1.591.750 - 1$$

$$TIR = 0,52$$

Además, la TIR resulta ser un porcentaje muy alto, lo que confirma lo analizado con el ROI (Norma Técnica Colombiana, 2018; Oreda, 2002).

Conclusiones

Por medio del análisis de criticidad, se identificaron y listaron los equipos críticos en la operación, a los cuales se les generaron las fichas técnicas y hojas de vida, llevando un registro de los mismos.

Los formatos de fichas técnicas, identificación de equipos y jerarquización, permitieron visualizar el stock de repuestos necesarios para cada equipo, de esta manera se tiene un mayor control sobre los recursos invertidos en estos rubros.

La implementación de la metodología RCM en las pequeñas empresas, como se aprecia en este caso estudio, brinda herramientas necesarias para organizar la información y tener mayor control de los activos.

El plan de mantenimiento que se creó, está basado en los modos de falla identificados en el AMEF y no necesariamente en los equipos; esto brinda una amplia perspectiva de cómo fallan los mismos y permite generar acciones correctivas.

Las actividades de mantenimiento correctivo requieren una inversión mayor y no fueron incluidas en este estudio; sin embargo, las rutinas de inspección que serán realizadas en forma preventiva permitirán tomar acciones para llevarlas a cabo sin que esto afecte la calidad y la productividad.

Con el análisis RAM se establecen las bases para el cálculo de los indicadores de fiabilidad, los cuales se ajustarán según mejore la calidad de los datos, permitiendo tomar decisiones más acertadas.

El plan propuesto ha permitido favorablemente organizar las actividades que los operarios venían realizando de forma aleatoria, por lo que se han optimizado los tiempos generando buenas prácticas de mantenimiento.

Con el análisis financiero del ROI, VPN y TIR se demostró que es rentable la implementación del plan de mantenimiento, ya que estos indicadores mostraron óptimos resultados. Además se evidencia que la inversión retorna en un corto plazo. La rentabilidad del proyecto se debe a que, con acciones sencillas, se mitigan fallas que pueden resultar críticas dañando las operaciones, afectando la calidad y cumplimiento con los clientes.

Declaración de conflicto de interés: Los autores no manifiestan conflictos de interés institucionales ni personales.

Referencias

- Da Costa, M. (2011). *Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad a motores a gas de dos tiempos en pozos de alta producción*. [Tesis para optar el título de Ingeniero Mecánico, Pontificia Universidad Católica del Perú]. <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/567>
- García, S. (2003). *Organización y gestión integral de mantenimiento: Manual práctico para la implantación de*

- sistemas de gestión avanzados de mantenimiento industrial. Ediciones Díaz de Santos.
- Gómez, I. D. (2006). *Introducción al Mantenimiento Estratégico*. Universidad Libre.
- González, D.A. (2016). *Creación de planes de mantenimiento para nuevos equipos de Nestlé Purina Fábrica La Encrucijada*. Universidad Simón Bolívar.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2006). *Metodología de la investigación*. McGraw Hill.
- Huerta, R. (2007). *El análisis de criticidad, una metodología para mejorar la confiabilidad operacional*. Docplayer. <https://docplayer.es/14621533-El-analisis-de-criticidad-una-metodologia-para-mejorar-la-confiabilidad-operacional-1-definiciones-importantes-regresar.html>
- López, I.E. (2017). *Mantenimiento FMEA del sistema de alimentación del motor Wartsila 50DF-12V*. [Tesis para optar el título como Marino, Universidad del País Vasco]. <https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/22769/1/C3%B1aki%20Elexpuru%20TFG%20Septiembre17.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Lucia, J. M. (1990). Criterios para la información de la gestión del mantenimiento. *Revista Mantenimiento*, 1. <https://vdocuments.es/criterios-para-la-informacin-de-la-gestin-del-criterios-para-la-informacin-de.html>
- Mora, L. (2019). *Mantenimiento. Planeación, ejecución y control*. Alfaomega.
- Monsalve, M.M., & Tena, E.A. (2018). *Plan de mantenimiento para la flota de vehículos de la empresa Navitrans SAS*. [Tesis para optar el título de Ingeniero Mecánico, Universidad Libre de Colombia]. <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/11600/correcciones%20finales%20agosto%20tena.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Moubray, J. (2000). *RCM2. Reliability Centered Maintenance*. Butterworth-Heinemann.
- Norma Técnica Colombiana. (2008). *Referencias Bibliográficas. Contenido, Forma y Estructura*. NTC 5313. ICONTEC. <https://www.politecnicojic.edu.co/images/downloads/biblioteca/guias/NTC5613.pdf>
- Norma Técnica Colombiana. (2008). *Documentación. Presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación*. NTC 1486. ICONTEC. http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portaIIG/home_15/recursos/01_general/09062014/n_icontec.pdf
- Oreda. (2002) *Offshore Reliability Data Handbook*. Oreda. <https://www.nri.ac.ir/Portals/0/images/Technology/OandM/document/OREDA.pdf>
- Páramo, S. (2016). *Análisis para la implementación de un plan de mantenimiento basado en confiabilidad para la maquinaria en la línea de pulido de vidrio de la empresa Vitras Páramo Ortega*. [Tesis para optar el título de Ingeniero Mecánico, Universidad Libre de Colombia]. <https://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/10387>
- Salguero, M. F. (2010). *Diseño e implementación de un sistema de mantenimiento estratégico aplicando las filosofías rcm y fmea a las máquinas y herramientas de la Empresa WEATHERFORD SOUTH AMERICA INC, Base1, Francisco De Orellana* [Escuela Politécnica del Ejército]. <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/2418>
- Sierra, G.A. (2004). *Programa de mantenimiento preventivo para la empresa Metalmecánica Industrias AMV SA*. [Tesis para optar el título de Ingeniero Mecánico, Universidad Industrial de Santander]. <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2004/112490.pdf>
- Troffé, M. (s.f). *Análisis ISO 14224 /OREDA*. Relación con RCM-FMEA. <http://www.mantenimientomundial.com/notas/0605MarioTroffeISO14224.pdf>
- Urrego, J (2017). *Elaboración de un plan de mantenimiento preventivo para equipos de la línea de perforación de la empresa cimentaciones de Colombia LTDA*. Universidad Santo Tomás. <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/11685/2017juanurrego.pdf?sequence=1>

Armamento aéreo: una mirada hacia el futuro

| Fecha de recibido: 28 de junio del 2021 | Fecha de aprobación: 23 de septiembre del 2021 |

Leonardo de Jesús Mesa Palacio

Magíster en Sistemas
Automáticos de Producción

Docente, Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA)
Colombia

Rol del investigador: escritura
<https://orcid.org/0000-0002-4903-723X>
✉ lomesap@sena.edu.co

Abdon Estibenson Uribe Taborda

Magíster en Seguridad Operacional

Escuela de Postgrados Fuerza Aérea Colombiana
Colombia

Rol del investigador: escritura
<https://orcid.org/0000-0003-4058-4365>
✉ abdon.uribe@fac.mil.co

Cómo citar este artículo: Mesa-Palacio, L., & Uribe-Taborda, A. 2021. Armamento aéreo: una mirada hacia el futuro.
Ciencia y Poder Aéreo, 16(2), 112-127. <https://doi.org/10.18667/cienciaypoderaereo.729>



Armamento aéreo: una mirada hacia el futuro

Resumen: Este artículo tiene por objetivo realizar un análisis descriptivo del armamento destinado a la batalla aérea a lo largo de los siglos xx y xxi, para entender el impacto de estas armas, la superioridad aérea militar de los países y su necesidad de avance tecnológico en el ámbito del armamento en los escenarios de conflicto. En su historia, el ser humano ha tenido que enfrentar permanentemente la resolución de conflictos que se han creado por diferencias a nivel social, político, económico y militar. Cuando estos problemas exceden el marco de las discusiones, se requieren tomar medidas más fuertes para restablecer el orden social. Así, los avances tecnológicos en el ámbito del armamento aéreo han desempeñado un papel protagónico y han permitido a los Estados mantener el orden en los casos de extrema dificultad, en pro de los intereses de una comunidad.

Palabras clave: armamento; batalla aérea; historia; operativo; adversario; tecnología; futuro.

Air Weapons: A Look into the Future

Abstract: This article presents a descriptive analysis of the weaponry used for air combat throughout the 20th and 21st centuries in order to understand the impact of these devices, the military air supremacy of some countries, and the need for technological advancement in certain conflict settings. Historically, human beings have permanently faced the resolution of conflicts created by differences at social, political, economic and military levels. When these events exceed the scope of diplomatic discussions, stronger measures are required to reestablish social order. Hence, technological advances in the field of air weapons have played a leading role, allowing States to maintain order in cases of extreme difficulty in the best interests of a society.

Keywords: weapons; air combat; history; operation; adversary; technology; future.

Armamento aerotransportado: um olhar para o futuro

Resumo: Este artigo tem como objetivo realizar uma análise descritiva do armamento destinado ao combate aéreo ao longo dos séculos XX e XXI, para compreender o impacto dessas armas, a superioridade aérea militar dos países e sua necessidade de avanço tecnológico, armas em ambientes de conflito. Em sua história, o ser humano teve que enfrentar permanentemente a resolução de conflitos que se originaram das diferenças de nível social, político, econômico e militar. Quando esses problemas vão além do escopo das discussões, medidas mais fortes são necessárias para restaurar a ordem social. Assim, os avanços tecnológicos no campo das armas aéreas têm desempenhado um papel de liderança e têm permitido aos Estados manter a ordem em casos de extrema dificuldade, pelo interesse de uma comunidade.

Palavras-chave: armas; batalha aérea; história; operacional; adversário; tecnologia; futuro.

Las principales funciones de los militares, líderes y gerentes se fundamentan en la toma de decisiones y en la búsqueda permanente del cumplimiento de los objetivos y metas trazadas por un país, en donde prevalecen los intereses colectivos antes que los personales; esto visto como una manera de afrontar los nuevos retos para mantener la seguridad. El término *seguridad* es aplicado según el contexto al cual está dirigido, lo que da paso a niveles de aplicabilidad de este concepto, en los cuales los Estados tratan de cuidar su integridad territorial para conservar sus intereses particulares y, por ende, el bien común de su población mediante la utilización de todos los medios para lograrlo, entre ellos las capacidades bélicas que son fundamentales para garantizar la percepción de seguridad de una población.

Colombia, y más específicamente la Fuerza Aérea Colombiana, tendrá que adaptar el poder aéreo y las doctrinas de acción integral a nuevos retos en materia de seguridad, con una serie de desafíos que deben ser advertidos desde la actualidad, sin esperar a que surjan nuevas amenazas (Strong & Jaramillo, 2014).

Problema de investigación

La seguridad es lo principal en las agendas sobre relaciones internacionales que tratan de abordar las naciones que buscan proporcionar, como instrumento político, la sensación de seguridad a las poblaciones. Esta situación cobra fuerza cuando se muestran estadísticas de hechos relevantes en contra de esas migraciones que buscan ser mediáticas y protagonistas ante hechos políticos, sociales y culturales que requieren de las aplicaciones de la seguridad y de la identificación de los fenómenos de globalización para determinar las nuevas amenazas que pueden ser combatidas con la adquisición y modernización del armamento con que cuenta un país para defender sus intereses y los de su comunidad.

La historia de inicios del siglo xx ha demostrado que el éxito en las guerras se fundamenta en los avances y desarrollos en la capacidad militar; ejemplo de

ello es la Primera Guerra Mundial, en la cual se utilizó la radio para las comunicaciones, mediante la radiogoniometría, y la radio interceptación en la determinación de posiciones y movimientos de las tropas de los países protagonistas. Otro ejemplo se puede encontrar en la Segunda Guerra Mundial, evento el que se dieron diversos descubrimientos electrónicos e iniciaron las batallas en el espectro electromagnético. A esto se le denominó la Guerra Electrónica (EW). Además, la batalla en el espacio aéreo demandó de la utilización de equipamiento de gran importancia dentro de las aeronaves para afrontar los retos que demandaban las nuevas necesidades de transformación en la utilización constante del armamento con fines defensivos (Michavila, 1984).

Para el caso de Colombia, es necesario continuar con la utilización y modernización de su capacidad bélica aérea para consolidar los fines del Estado y la finalización de la guerra, que, tras la desmovilización de las FARC, se prevé que surjan nuevas necesidades de transformación por parte de la fuerza pública de acuerdo con los cambios en el panorama nacional. Esto obliga al Estado a redefinir sus funciones y dispositivos, entre los que se encuentran disminuciones del presupuesto requerido para la defensa y seguridad nacional (Leal, 2017).

Metodología

Este artículo presenta los temas mediante una investigación de tipo descriptiva con un enfoque cualitativo, que permitirá utilizar la recolección de datos históricos por medio de una revisión de la literatura sobre la utilización del armamento aéreo en diversas aeronaves y escenarios, desde su invención hasta su aplicación, así como las capacidades y características del armamento utilizado según su necesidad bélica, que permita “adquirir y cuantificar información sobre las variables a las que se refieren” (Hernández Sampieri *et al.*, 2010).

Para llevar a cabo esta investigación, se tendrán en cuenta un marco histórico que ilustre al lector, mediante imágenes, texto y conceptos de actualización

de capacidades militares y superioridad, sobre los avances tecnológicos logrados a través de necesidades de mejoras en el armamento utilizado en las aeronaves de ataque. Esto busca generar planteamientos que serán soportados en el estudio cualitativo de las fuentes consultadas de manera cronológica sobre el proceder de la utilización de las armas bélicas en las plataformas aéreas (Hernández Sampieri *et al.*, 2010).

En la primera fase de la investigación, se relacionarán las primeras experiencias de la utilización del arsenal bélico en las aeronaves y la importancia que estas tuvieron en los periodos en que se generaron, por medio de una descripción de su implementación (Fernández, 2015).

En la segunda fase, se abordarán conceptos de *seguridad* y *defensa* para indicar al lector los temas que deben ser tenidos en cuenta al analizar la importancia de que prevalezcan capacidades disuasivas para afrontar situaciones que se presenten en contextos no alineados a las realidades deseadas, como en el caso de los grupos ilegales, brotes de subversión o tensiones diplomáticas (Cobo, 2014). Posteriormente, se realizará un análisis que busca llamar la atención sobre la necesidad de mantener en constante actualización y desarrollo la implementación de nuevas tecnologías en el área del armamento para las aeronaves utilizadas en la defensa de la seguridad nacional de un país (Pinzón, 2020).

Reseña histórica

Los hermanos Wright realizaron el primer vuelo victorioso en su avión llamado Flyer. Este gran invento abrió la posibilidad de disminuir las distancias entre los hombres, los continentes y los países para realizar intercambios comerciales y de aprendizaje. En los primeros años de la aviación, las aeronaves fueron diseñadas con el único propósito de volar; sin embargo, la mayoría de las aeronaves fueron empleadas para fines de exhibición, carreras o eventos tipo espectáculo. Los ejércitos no fueron ajenos a esta situación, y con el paso del tiempo empezaron a utilizar la aviación con

el propósito de observación, transporte y fines bélicos. En 1909, el mayor italiano Giulio Douhet expresó que el uso de aeronaves sería un factor importante en el éxito de futuras guerras. Años después, en 1911, el ejército italiano desplegó operativamente esta idea durante la guerra entre Italia y Libia para el reconocer y posteriormente bombardear (Ananthasayanam *et al.*, 2005).

El uso táctico y estratégico de las aeronaves se expandió con el inicio de la Primera Guerra Mundial; las demandas de la aviación de combate, junto con la constante competencia por la superioridad aérea, pasaron del desarrollo de aeronaves de observación y diversión —1903— a vehículos altamente útiles y versátiles, diseñados para cumplir papeles específicos de combate al final de la guerra —por ejemplo, en noviembre de 1918— (Loftin, 1987).

En las primeras batallas aéreas, los pilotos se quitaban de la espalda el fusil y abrían fuego, sin dar en el blanco, y se retiraban cuando se acababa la munición. Por lo tanto, se buscó la manera de mejorar la estrategia instalando una ametralladora fija en la aeronave; algunas versiones del Bristol Scout colocaban la ametralladora direccionada lateralmente.



Figura 1. Aeronave Bristol Scout con ametralladora direccionada lateralmente

Fuente: Hiveminer (2020).

Otros aviones, como las versiones iniciales del Nieuport 17 (figura 2), montaban la ametralladora en su plano superior, y los aviones de hélice impulsora, como el Hadvilland DH2 (figura 3), tenían la hélice en la parte posterior, con lo cual el piloto podía manipular el arma. Los tres métodos demostraron ser muy ineficientes.



Figura 2. Aeronave Nieuport 17 con ametralladora en el plano superior
Fuente: SilverHawkAuthor (2020).

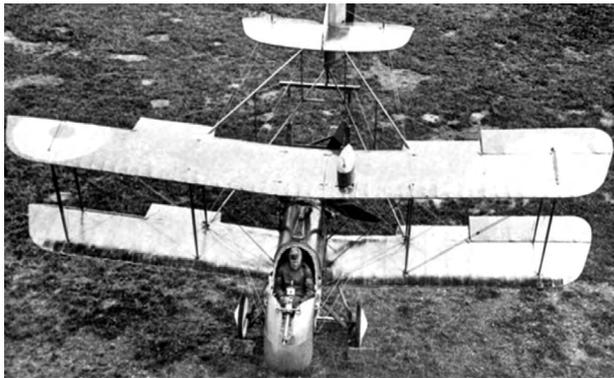


Figura 3. Aeronave Hadvilland DH2 con ametralladora Lewis.303 sobre nariz
Fuente: Bae Systems (2020).

La primera solución se dio cuando el francés Roland Garros, deportista y aviador, hizo instalar en su avión una ametralladora sobre el capó; posteriormente, el ingeniero holandés Anthony Fokker perfeccionó el sistema, y la ametralladora únicamente se disparaba cuando la hélice pasaba por determinado punto (Zimmerman, 2019) (figura 4).



Figura 4. Aeronave Fokker E-III Eindecker con ametralladora de hélice
Fuente: San Diego Air & Space Museum (2020).

Otras armas usadas en la Gran Guerra fueron los dardos aéreos de acero, inventados por los franceses (figura 5). Tanto en el caso de los dardos como en el de las bombas, el piloto podía llevar las cargas en la cabina y luego soltarlas sobre el objeto. En 1918, los bombarderos se habían convertido en aviones pesados con múltiples motores que podían arrojar más de una tonelada de bombas en la retaguardia del adversario; al finalizar la guerra, las naciones eran conscientes del poder del armamento aéreo, y su presencia sería necesaria para futuros escenarios de conflicto bélico.

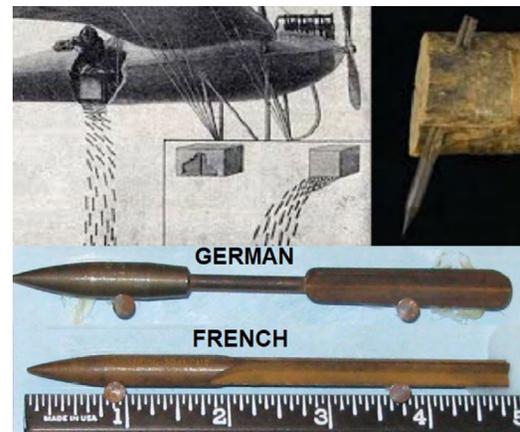


Figura 5. Dardos aéreos de la Gran Guerra
Fuente: WonderfulEngineering (2020).

Tras la guerra, hubo una gran depresión económica en el mundo. Por tal motivo, el armamento sobrante fue reciclado y se le realizaron algunos cambios para acondicionarlo a las nuevas necesidades; tal es el caso de los aviones británicos que, como montura de las ametralladoras gemelas Lewis, empleaban el anillo Scarff —patentado por William Scarff Frederick en 1920—, dispositivo que facilitaba los movimientos del apuntador (figura 6). Este dispositivo surgió como una innovación en el desarrollo de la aeronave Sidesstrand, lo cual condujo a más pedidos de producción, gracias las dificultades que experimentaron los artilleros del Escuadrón 101 al apuntar sus cañones Lewis montados en anillos Scarff mientras luchaban contra la estela de un avión de tan alto rendimiento. Las altas velocidades alcanzadas por los cazas modernos y el Sidesstrand (figura 7) —240 a 300 kilómetros por

hora— dificultaron que los artilleros apuntasen sus pistolas Lewis montadas en anillos Scarff expuestas como estaban, y que pudieran cambiar los tambores de los cargadores con los dedos congelados. Esta situación a menudo los hacía caer, ocasionando que las hélices se dañaran. Los días de los bombarderos con cabinas abiertas y posiciones de cañones estaban llegando a su fin (Brew, 2020).



Figura 6. Anillo SCARFF
Fuente: Wright State University (2020).



Figura 7. Equipo Sidstrand
Fuente: MilitaryImages (2007).

En 1932, se realizaron mejoras a la aeronave Sidstrand, con el fin de proteger al artillero sin comprometer las prestaciones del avión. Las mejoras aparecieron en la aeronave Overstrand. Para superar los problemas del artillero de nariz, el Overstrand se equipó con una torreta de morro cerrada y motorizada que montaba un solo cañón Lewis. El Overstrand fue el primer avión de la Royal Air Force (RAF) en tener una torreta motorizada (figura 8).

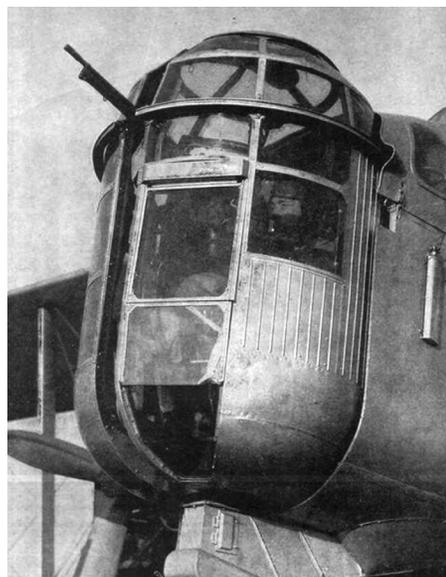


Figura 8. Torreta de cañón Paul Boulton Overstrand
Fuente: Richard (2009).

Más adelante, aparecieron las primeras torretas neumáticas, como la utilizada en el bombardero B-10, equipado con el cañón Browning de 0,303 —torreta tipo 130—, el cual posteriormente fue instalado en el avión Boulton Paul Defiant P.82 —caza diurno y nocturno— de la RAF. El B-10 fue el primer bombardero monoplano “moderno” completamente metálico producido en cantidad; presentaba elementos innovadores, como un tren de aterrizaje retráctil, una torreta giratoria y cabinas cerradas. El diseño avanzado de Martin hizo que el B-10 fuera 50 % más rápido que los bombarderos biplanos contemporáneos, y tan rápido como la mayoría de los cazas (Unidos, 2015).



Figura 9. Martin B-10 en la galería “Early Years” del Museo Nacional de la Fuerza Aérea de los Estados Unidos
Fuente: Unidos (2015).

El momento cero para las aeronaves tipo caza se dio en 1937, año en el que la empresa Boulton Paul recibió la orden de fabricación del P.82 Dtfial, que meses más tarde se convertiría en el P.82 Defiant, con su icónica torreta —Torreta Boulton-Paul Type A— (figura 10).



Figura 10. Torreta Boulton-Paul Type A
Fuente: Brew (1993).

La aviación militar llegó a su apogeo en la Segunda Guerra Mundial, lo que se tradujo en una batalla de mayor poder aéreo. Uno de los elementos que contribuyó a la derrota de los nazis fue el uso del Boeing B-17, un bombardero pesado y fiable; sus últimas versiones tenían una capacidad de carga de 8.000 kg de bombas y hasta 13 ametralladoras —ametralladoras Browning M2 de 12,7 mm con 6.380 cartuchos—. El reportero del Seattle Times, Richard Smith, apodó al nuevo avión, con sus numerosos soportes de ametralladora, “Flying Fortress”, un nombre que Boeing adoptó y registró rápidamente (Boeing, 2020).



Figura 11. Boeing B-17 Flying Fortress
Fuente: The Museum of Flight (2020).

Finalizando la Segunda Guerra Mundial, y como respuesta a la aparición de los bombarderos armados, en 1954 se desarrolló un cañón automático conocido como ADEN —ADE del Armament Development Establishment, con N para Enfield, ciudad donde se estableció su producción—. Este cañón de 30 mm fue instalado en más de una decena de aeronaves, iniciando por el Hawker Hunter, English Electric Lightning, Gloster Javelin, entre otros.



Figura 12. Paquete removible de cañones de 30 mm ADEN, instalado en Hawker Hunter F.4 (N-144)
Fuente: Wageningen (2008).

Sin embargo, ningún armamento de los mencionados se compara con las bombas atómicas, lanzadas por primera y última vez, en agosto de 1945 sobre

Hiroshima y Nagasaki¹, acabando con la vida de unos 200.000 seres humanos a causa de la explosión y la exposición a la radiación. Estados Unidos acreditó el uso de las bombas razonando que, por inhumano que fuera, se lograba que la batalla terminara rápidamente (Fernández, 2015).

Finalizando la Segunda Guerra Mundial, Estados Unidos y la URSS llegaron a ciertos acuerdos, pero en pocos años se vieron envueltos en conflictos de origen político, social y militar. En la década de los sesenta se inició la competencia de armamentos nucleares, durante la cual la Unión Soviética colocó en órbita un satélite artificial llamado Sputnik y lanzó su primer misil balístico intercontinental, lo que tuvo una gran significación tecnológica (Fernández, 2015).

En aquel momento se generó un ambiente de tensión y los norteamericanos empezaron a seguir el programa Single Integrated Operation Plan (SIOP)², que indicaba que, en caso de ataque soviético, todo el armamento nuclear en manos de los Estados Unidos podría ser estallado en territorio chino, soviético, norcoreano y de los países satelitales. En 1958 los Estados Unidos usaron el misil nuclear llamado Atlas que estaba equipado con una bomba termonuclear W-38 que tenía suficiencia de 3,75 megatonnes (Fernández, 2015).

A partir de 1959, los revolucionarios cubanos se tomaron el poder de su país y empezaron a sostener diálogos con la Unión Soviética; por tal motivo, los Estados Unidos cortaron sus relaciones con el Gobierno cubano, y en 1962 se instalaron los misiles de mediano y corto alcance en la isla. La mayor parte de los misiles eran de tipo R14, que tenían la capacidad de transportar una ojiva nuclear de 3.000 kg a 3.000 km; también se instaló el misil R-12, que tenía una bomba termonuclear con capacidad de 9,65 megatonnes (Fernández, 2015).

¹ Ciudades del Imperio Japonés que fueron atacadas con bombas nucleares bajo la orden de Harry S. Truman, presidente de los Estados Unidos.
² En EE. UU. a los planes para la utilización de armamento nuclear se les denominó SIOP, acrónimo de Special Integrated Operations Plan, plan especial de operaciones integradas.

Otro panorama fue el de la Guerra de Vietnam, en el cual se dio un enfrentamiento bélico de helicópteros y se pusieron en uso los fusiles de asalto M16 y AK-47. Este fue un conflicto entre guerrillas, que acabó con la teoría de que la batalla aérea solo se desarrollaría por medio de misiles; sin embargo, se volvió al cañón y la ametralladora como armas para derrotar al adversario (Fernández, 2015). Para ese escenario de combate, el Ejército de los Estados Unidos utilizó el cañón eléctrico M61 Vulcan, que, posterior a la guerra, fue reemplazado por el Gatling M197 de tres cañones como respuesta a la necesidad de aumentar la cadencia y poder de fuego, limitando el efecto de retroceso que estas armas generaban en aeronaves livianas y helicópteros.

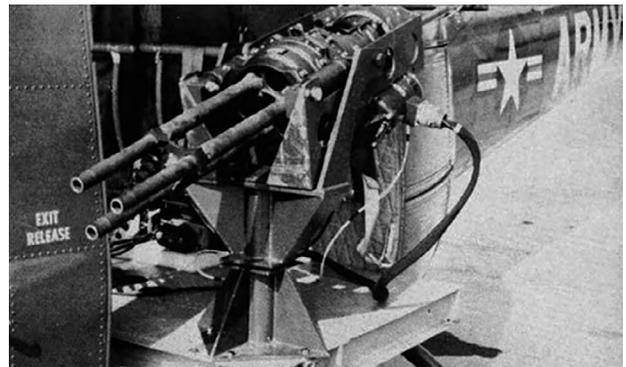


Figura 13. Cañón eléctrico Gatling M197

Fuente: Desarrollo y Defensa (2020).

Durante los años setenta entró en escena el cañón GAU-8 / A Avenger, como respuesta a la necesidad de un arma antitanque versátil, con capacidad de disparar municiones incendiarias de alta cadencia de fuego (3.900 disparos por minuto). Esta poderosa arma se montaba en una aeronave diseñada específicamente para tal fin, el Fairchild Republic A-10 Thunderbolt II, conocido como “Warthog” o “Hog”.

Al igual que muchos países del mundo, Colombia también ha vivido la guerra en una geografía difícil e inhóspita por las variedades climáticas y vegetativas del país, en donde la Fuerza Aérea ha tenido que liderar operaciones determinantes para lograr el cese al fuego, el cual ha venido cambiando en cada una de las etapas transcurridas entre los siglos xx y xxi (Triana, 2016, pp. 378, 380, 385).



Figura 14. Cañón GAU-8 Avenger
Fuente: Unidos (2015).

En 1939, las selvas colombianas del Putumayo y el Caquetá fueron el escenario de la barbarie cometida por la Casa Arana (explotadora de caucho) en el Perú. Las fronteras entre Colombia y el vecino país no estaban bien delimitadas, lo que condujo al enfrentamiento bélico. En aquella época Colombia contaba con una flotilla aérea de once aeronaves y el armamento para las Fuerzas Militares se componía de fusiles Máuser, algunos cañones y un limitado número de ametralladoras (ECURED, 2017). Con la debilidad militar que presentaba el país ante la amenaza peruana, se ordenó al cuerpo diplomático la adquisición del armamento en el exterior (Hernández, 2010).

Gracias a las relaciones diplomáticas, llegaron a Colombia 30 aeronaves Curtiss Hawk II F-11C, 22 Curtiss Falcon F-8F y 2 Commodore P2Y-1C de origen

norteamericano; por parte de Alemania llegaron 17 Junker y 6 Dornier. Así, la Fuerza Aérea se fortaleció para enfrentar al Perú y a la vez proteger la soberanía nacional de cara al futuro (Hernández, 2010).



Figura 15. Curtiss Falcon F-8F, Fuerza Aérea Colombiana
Fuente: Fuerza Aérea Colombiana (2020).

En 1953, arribaron a Colombia las primeras aeronaves de ala rotativa —helicópteros— OH-23 Raven, y al año siguiente los primeros OH-13 Sioux, acompañados de los Lockheed T-33 Silver Star. En 1956, ingresaron a Colombia las aeronaves Lockheed F-80 Shooting Star, seguidos de los bombarderos A-26C Invader, Canadair Sabre Mark IV, el Aero Commander L-26, el DHC-2 Beaver, el C-45B Expediter y el C-54 Skymaster.



Figura 16. Helicóptero Bell Model 47 / H-13 Sioux
Fuente: Heritage Flight Museum (2020).

En 1963, llegaron los primeros UH-1B Iroquois, y poco después los primeros Cessna T-37 y T41 como preámbulo a la llegada de los Hughes OH6A Cayuse; durante 1969 llegó a Colombia la primera flota de UH-1H Huey (77 aeronaves); y 30 años después, Colombia adquirió los primeros KFIR, como punta de lanza de la defensa aérea del territorio colombiano.



Figura 17. Helicóptero Bell Model Bell UH-1B

Fuente: War History Online (2020).



Figura 18. Cessna T-37B

Fuente: Badilla (2008).



Figura 19. OH-6 CAYUSE / HUGHES 500

Fuente: Boeing Company (2020).

En los últimos 20 años el país ha enfrentado un fuerte conflicto interno contra grupos insurgentes, en donde el Ejército, la Armada Nacional, la Fuerza Aérea de Colombia y la Policía Nacional han tenido que realizar grandes operativos con el propósito de neutralizar a los grupos insurgentes; en 2015, los voceros del grupo revolucionario de las FARC indicaron, en La Habana, Cuba, que si hay algo a lo que le han temido, es a los bombardeos por parte de la fuerza pública.

Siguiendo los pasos de la historia, uno de los más importantes bombardeos ocurrió en 1990 durante la

operación Colombia a Casa Verde en un campamento de las FARC en La Uribe (Meta). Para tal operativo, se utilizaron varias aeronaves cargadas con bombas de 250 libras. Entre las aeronaves que participaron hubo KFIR, AT-37 y AC-47, así como helicópteros artillados Bell 212, UH-60, UH-1H, Hughes, dos Bell ambulancia y un Hughes de comando y enlace (Escobar, 1995).



Figura 20. Helicóptero Sikorsky AH-60L Arpia IV

Fuente: Fuerza Aérea Colombiana (2020).

En septiembre del 2007, las Fuerzas Armadas desarrollaron en el departamento del Guaviare la operación Sol Naciente, en la que fallecieron Tomás Medina—alias el “Negro Acacio”— y 16 guerrilleros más (Revista Semana, 2010). En esa ocasión se utilizaron siete aviones Súper Tucano cargados con bombas de 500 libras y cinco helicópteros Black Hawk (El Tiempo, 2007). Al siguiente año, en un operativo denominado Operación Fénix, la Fuerza Aérea bombardeó parte del Putumayo cerca al territorio ecuatoriano, en donde murieron 21 guerrilleros y alias Raúl Reyes, segundo jefe de las FARC en aquella época

Otro operativo de gran importancia fue la Operación Sodoma, en la que murió uno de los hombres más buscados mundialmente, alias el “Mono Jojoy”, durante un bombardeo de las Fuerzas Armadas en septiembre de 2010 en La Macarena, Meta. Durante el 2011, se dio otro golpe con la Operación Odiseo, que puso fin al máximo comandante de la guerrilla de las FARC, Guillermo León Sáenz Vargas, alias “Alfonso Cano” (El Espectador, 2011).

Estos son algunos de los operativos liderados por la Fuerza Aérea Colombiana, en los cuales se utilizaron aeronaves Súper Tucano cargados con bombas

inteligentes. Gracias a la modernización de las Fuerzas Militares y la inteligencia técnica, se logró contribuir al inicio de los acercamientos de paz entre el Estado y el grupo revolucionario de las FARC.

Se puede analizar cómo, a partir del último tercio del siglo xx, empezó una nueva etapa de adelanto tecnológico, en donde el empleo de las comunicaciones, la informática, la tecnología láser, la electro-óptica, la robótica, los sensores y la tecnología espacial —que incluye el lanzamiento de misiles, los lanzamientos espaciales y los satélites— fueron imprescindibles para los sistemas de armas modernas e hicieron parte de la denominada revolución técnica militar, la cual representó un gran avance respecto al pasado (IEEE, 2014, pp. 18, 19).

De acuerdo con lo anterior, el ciberespacio y el espacio exterior tienen una dimensión estratégica asociada a los nuevos retos dentro del panorama de la seguridad global. Por ello, Colombia y la mayoría de los países necesitan de las nuevas tecnologías tanto en las actividades civiles como en las operaciones militares. Hoy en día los vehículos aéreos no tripulados, también llamados drones, se están convirtiendo en un elemento principal dentro de los ejércitos, por la rápida innovación tecnológica, relacionada con el control remoto y la robótica, que facilita el combate a distancia y las operaciones sin poner en riesgo vidas humanas (IEEE, 2014, p. 19).

Conceptos de *seguridad* y *defensa* en Iberoamérica

La realidad latinoamericana se puede observar mediante el análisis que demuestra que es bajo el índice de conflictividad entre los países; sin la existencia de armas nucleares, con un bajo presupuesto de inversión en gasto militar y visto desde una óptica estratégica no representa una amenaza para el orden mundial. Aunque es una región que tiene problemas de violencia de tipo regional que no repercuten —políticamente hablando— cuando las grandes potencias mundiales

se reúnen para tratar temas de orden estratégico, Iberoamérica es vista como una zona de gran potencial para la producción de materia prima para las industrias de países desarrollados (Cobo, 2014). Además, cuando se analiza la situación geopolítica en América Latina, es fácil evidenciar los diversos actores y orientaciones políticas que tienen estos países, entre las que se encuentran corrientes capitalistas y socialistas, entre otras; las cuales, en muchos casos, basan su economía en el libre de mercado (Cobo, 2014).

Por otro lado, existe un fortalecimiento tecnológico de las aeronaves derivado del entendimiento de que el poder aéreo abarca espectros más amplios, como los del ambiente aéreo y espacial, que podría ser “ejercido a través del espacio por medio de misiles balísticos intercontinentales o por el uso del espacio con el empleo de satélites” (Ramos & Oliveira, 2010), en donde las capacidades bélicas instaladas en las aeronaves son consideradas una proyección del poder nacional, ya sea como instrumento de acción política y militar, o “como factor de desarrollo económico y social, con el objetivo de conquistar y mantener los objetivos nacionales” (Ramos & Oliveira, 2010).

De igual manera, las principales características para proyectar el poder bélico con el objetivo de conquistar y mantener el dominio del ambiente aéreo combativo se constituyen en la cantidad de aeronaves con capacidades de poder aéreo para enfrentar escenarios con alteraciones relacionadas con conflictos y escenarios donde posiblemente las aeronaves tradicionales con armamento convencional serán sustituidas por otras que se adapten a las nuevas demandas de seguridad, que se contrarrestan con armamento sofisticado y nuevas tecnologías militares (Ramos & Oliveira, 2010).

Los “factores de planificación deben ser considerados para la preparación y el empleo del poder aéreo” (Ramos & Oliveira, 2010), lo que implica proyectar los adelantos militares en materia de armas sofisticadas para mantener el dominio del aire encaminado a contrarrestar la amenaza actual del terrorismo en todas sus modalidades, las cuales pueden ser explicadas bajo los conceptos generacionales de las guerras (Ramos & Oliveira, 2010).

Conceptos de *seguridad* para Colombia

El mayor general Paredes (2011) considera que un país pacifista por naturaleza, como Colombia, debe construir su pensamiento estratégico sobre hipótesis de guerra, es decir, sobre peligros —por lejanos que aparezcan— de que intereses extraños puedan configurar amenazas que hagan necesaria la aplicación del poder militar. Para ese proceso existen numerosos factores condicionantes tales como la comparación del poder militar actual y potencial frente a posibles enemigos, la configuración geográfica de los presuntos teatros de guerra, la idiosincrasia de los pueblos, la capacidad y preparación de los mandos, entre otros cuantos en los espacios imponderables, es decir, en aquellos que no admiten cuantificación, sino apreciaciones teóricas o apreciaciones sobre el pasado bélico de pueblos y naciones.

La historia presentada en esta investigación nos muestra un pequeño panorama que indica que las naciones en cada una de las líneas de tiempo vividas han propendido por fortalecer, innovar y aplicar sus capacidades armamentísticas aéreas en pro de superar las amenazas existentes y prevenir factores de riesgo venideros (Paredes, 2011).

La industria militar aeronáutica en el ámbito mundial establece sus avances tecnológicos con base en las relaciones geopolíticas entre países, es decir, no se muestran aeronaves sobresalientes, como ocurre en la aviación comercial y sus reglas claras en el mercado de producción, sino que se definen las nuevas generaciones de aeronaves con armamento a partir de los objetivos estratégicos de las naciones que son protagonistas para ese momento (Ramos, 2010).

Battaleme (2009) explica las “causas y consecuencias de la creciente incorporación de nuevos sistemas de armas en el espacio regional” en Latinoamérica, a través del análisis del impacto y los efectos en las relaciones políticas y el desbalance regional que traen consigo los límites en la cooperación efectiva para afrontar preocupaciones de interés regional. En el caso particular de Colombia, obedece a las amenazas

a la seguridad producto de fronteras porosas y no controladas por parte de los estados vecinos que, aunque cuentan con capacidades adquiridas, no son debidamente empleadas.

Cuando se incorpora nuevo armamento a las capacidades bélicas de un país, se genera, a su vez, una percepción de desbalance o carrera armamentística que trae consigo problemas y dilemas de inseguridad con tensiones de preservación y transformación de posibles escenarios de riesgo; los Estados no dejan de tener propensión a presentar dilemas de seguridad en relación con sus vecinos (Battaleme, 2009).

Los sistemas de armas incorporan cada vez más electrónica y despliegan más información sobre el campo de batalla, lo que permite que “sean empleadas más eficazmente con nuevas modalidades y en nuevas misiones” (Gutiérrez, 1995), jugando un papel fundamental en el diseño y producción, con un continuo crecimiento que afronta la complejidad de las guerras. A medida que las armas operan con mayor precisión y alcance, los sistemas computarizados incrementan el volumen de datos disponibles para la toma de decisiones, adquiriendo mayor importancia (Gutiérrez, 1995). Así mismo, cuando se aumenta el control de su operación, de la cadencia de fuego y la disminución del tamaño, se logra que las nuevas armas dispuestas en las aeronaves para la guerra moderna sean utilizadas para defender el espacio aéreo contra ataques estratégicos, o para combatir amenazas a la seguridad (Gutiérrez, 1995).

De igual manera, las capacidades tecnológicas en armas incorporadas a las aeronaves, elaboradas con nuevos materiales compuestos como fibras de vidrios, carbono y plásticos que compensan la resistencia, la fatiga y aumento de precisión, se convierten en tendencia al sustituir los utilizados tradicionalmente; estas mejoras brindan fiabilidad y avance en su implementación (Gutiérrez, 1995).

Los sistemas de armas incorporados en los aviones y helicópteros obedecen principalmente a los avances tecnológicos que producen mejoras en su utilización, y que son capaces de romper paradigmas y otorgar mejores prestaciones para su utilización, facilitando que los sistemas de armas le ayuden a los

pilotos de combate a elegir la utilización del armamento acertado ante una situación complicada de combate (Gutiérrez, 1995).

Consideraciones de seguridad para Colombia

Colombia, pese a ser el cuarto país más grande de Latinoamérica y contar con alianzas para obtener armamento estadounidense, no tiene una flota de aeronaves de superioridad aérea moderna con armamento avanzado para enfrentar algún ataque extranjero y combatir actividades ilícitas como el narcotráfico y terrorismo (Pinzón, 2020).

De acuerdo con lo expresado por Pinzón (2020), “Los fenómenos de la guerra históricamente se han situado como un escenario de conquista, ambición territorial y expansión por parte de los Estados”, lo cual conlleva a tensiones entre países que, aunque no promueven un enfrentamiento directo, tienen niveles de prevención ante cualquier hostilidad que se presente por un Estado oponente; estos países, además, reaccionan a través de la actualización de capacidades bélicas y del rearme (Pinzón, 2020).

Como muestra de lo anterior, en el 2009 se presentó en América Latina un importante “incremento en la adquisición de armas, en donde los Estados de Brasil, Colombia, Chile, México y Ecuador sobresalieron significativamente”, bajo la justificación de afrontar los nuevos retos en materia de seguridad y competitividad disuasiva que le permitiera a cada país, con la compra de nuevas armas más sofisticadas, ser referentes en su poder y pensamiento político ante países vecinos (Pinzón, 2020). Así, cuando los países presentan mayor poderío militar y con fuerza generan posturas políticas, causan temor en otros; por su posición de actor político superior, traen consigo unas alertas de seguridad bajo el concepto de balance de poder (Pinzón, 2020).

La Fuerza Aérea Colombiana ha presentado un significativo avance con aviones equipados y modernizados que fortalecen los sistemas de inteligencia y planeamiento de operaciones militares que, de acuerdo

con los cambios estratégicos y tecnológicos, han marcado el panorama mundial y son importantes para los ejércitos, puesto que con ello pueden realizar operaciones exitosas en contra del terrorismo o de los grupos insurgentes que pretendan colocar en riesgo la seguridad de cualquier país (Esquivel Triana, 2016).

En ese sentido, el equipo bélico es el fundamento material sobre el cual se edifican los operativos militares y las estrategias, de ahí la importancia de que la fuerza pública tenga armamento sofisticado para ofrecer diversas opciones de defensa y contrarrestar las posibles amenazas de intentos bélicos que se puedan presentar en el futuro y así mantener el orden y soberanía de una nación (Esquivel Triana, 2016).

En la actualidad, Colombia atraviesa por un periodo de postconflicto como consecuencia de la firma de paz con el principal grupo revolucionario del país, las FARC. Por tal motivo, el Estado colombiano se enfrenta a nuevos escenarios marcados por fenómenos de desmovilización, formación de nuevos grupos al margen de la ley, narcotráfico y minería ilegal, frente a los cuales la Fuerza Aérea Colombiana deberá demostrar todo su liderazgo con nuevas estrategias y operativos, haciendo uso de todo el avance tecnológico en el área del armamento aéreo para brindar dominio del espacio externo, ciberespacio y seguridad a la nación (Leal, 2017).

Por otro lado, Flavin (2003), en su artículo “Planificación de la terminación de conflictos y posconflicto exitoso”, explica que la terminación de conflictos es el final de la lucha, pero no es el fin del conflicto. Indica, además, que el objetivo de las operaciones militares es establecer condiciones que obliguen a los beligerantes a poner fin a las hostilidades, mediante las aplicaciones de nuevas estrategias que permitan conservar la sana doctrina de aplicar las capacidades bélicas para combatir las amenazas que atenten contra la seguridad del Estado colombiano.

De igual manera, se puede concluir que el futuro de la carrera de fortalecimiento y aplicabilidad bélica aún está por recorrerse, y en este camino se debe visualizar bajo una constante aplicación de nuevas tecnologías de armamento en las aeronaves destinadas para la realización de operaciones militares (Flavin, 2003).

Recomendaciones para romper paradigmas

Fomentar un liderazgo militar como forma de administración para lograr innovar en una creatividad que permita la constante aplicación de capacidades bélicas hacia capacidades creíbles (Pinzón, 2020).

Los líderes militares, en quienes recae la toma de decisiones como una obligación de sus cargos, deben fortalecer su espíritu para abordar innovaciones que les permitan ser acertivos y visionarios en las capacidades bélicas que deben adquirir para Colombia (Pinzón, 2020).

La generación de cambios culturales debe estar apalancada con momentos sociales que brinden soporte argumentativo para tomar decisiones que permitan la consecución de nuevas capacidades bélicas (Pinzón, 2020).

Los Estados deben incrementar la actualización de las capacidades de armamento aéreo con nuevas tecnologías para las fuerzas armadas que permitan, dentro de la demostración de poder, ser referentes en la utilización de aeronaves en el espacio aéreo con fines militares y promover ventajas estratégicas ante la resolución de crisis (Pinzón, 2020).

Colombia aún sigue presentando un aumento de la criminalidad derivada de los diferentes grupos al margen de la ley, que, vistos desde el ámbito militar, se deben contrarrestar con el uso de las armas. Desde los inicios, el poder aéreo y su utilización para la aplicación de la fuerza ha tenido muchas transformaciones tecnológicas para beneficio de los Estados, al convertirse en fundamentales para la prevención y seguridad de los espacios aéreos (Pinzón, 2020).

Conclusiones

Las organizaciones militares a lo largo de la historia han enfocado sus esfuerzos en mejorar y sofisticar su armamento terrestre y aéreo en búsqueda de

capacidades bélicas superiores, aplicables a diversos escenarios de conflicto.

Los avances bélicos del armamento aéreo dependen estrechamente del avance tecnológico de las mismas aeronaves. Aeronaves de mayores capacidades de vuelo, velocidades y autonomía promovieron el desarrollo de nuevos sistemas de armamento y el uso de estos.

Guerras de orden mundial se convirtieron en referentes en la validación de innovaciones incrementales como elementos efectivos y definitivos a la hora de superar y doblegar al enemigo.

Las innovaciones incrementales en sistemas de armamento han mejorado la efectividad de las operaciones militares aéreas; sin embargo, las condiciones de operaciones especiales en las que se desarrollan las mismas en el territorio nacional permiten que se puedan generar nuevos desarrollos “tropicalizados” a nuestras necesidades.

Colombia ha generado y validado desarrollos bélicos acorde a las duras exigencias de nuestro conflicto armado. Al igual que en las primeras guerras mundiales, los desarrollos tecnológicos del sector aeronáutico exigen que nuestras fuerzas armadas, apoyadas por la industria nacional, generen un nuevo y mejorado armamento aéreo que le permitan estar a la vanguardia en sistemas de seguridad y defensa.

Al considerar la evolución en las armas de fuego en comparación con los nuevos retos de seguridad para un país, surgen desafíos relacionados con la búsqueda de tecnologías adecuadas para ser empleadas en las aeronaves para combatir las amenazas persistentes o emergentes con las que cuenta un país.

Debe haber una constante actualización de las capacidades militares bajo el concepto de lineamientos diplomáticos que, en el contexto internacional, sea un referente de transformación en material para la seguridad, y que satisfaga el desarrollo de un país y su confianza en el manejo de la política exterior (Pinzón, 2020).

La protección de una nación debe ser una obligación ante amenazas internas o externas en escenarios futuros; se debe buscar un equilibrio “mediante el poder con la adquisición de armamento militar” (Pinzón, 2020).

La evolución tecnológica en armamento de tipo militar es cada vez mayor; el “equipamiento aéreo ha madurado significativamente convirtiéndose más eficaz, preciso y devastador”, razón por la cual su implementación en la parte aérea garantizará el alcance de los objetivos propuestos por una nación por medio del ataque o la defensa (Pinzón, 2020).

La “modernización de tecnologías debe ser uno de los apuntes más importantes frente a la actualización de capacidades militares en un país”; debe permitir una ventaja militar en un conflicto de naturaleza bélica para el normal funcionamiento del ámbito económico, social y cultural de una nación (Pinzón, 2020).

Declaración de conflicto de interés: Los autores no manifiestan conflictos de interés institucionales ni personales.

Referencias

- Ananthasayanam, M., Ibrahim, K., & Muralidharan, M. R. (2005). Historical Evolution of the Military Fighter Airplanes Around the Twentieth Century”, *43rd AIAA Aerospace Science Meeting and Exhibit 10-13*, 326-337. <https://doi.org/10.2514/6.2005-326>
- Bae Systems. (2020). Annual Report, *Hadvilland DH2 con ametralladora Lewis.303 sobre nariz*. Bae Systems. <https://www.baesystems.com/en/article/2020-full-year-results>
- Badilla, C. (2008, 29 de octubre). *Cessna T-37B Tweety Bird*. Airteamimages. https://www.airteamimages.com/cessna-t-37-tweet_FAC2125_colombia---air-force_77883.html
- Battaleme, J. (2009). Releyendo la compra de armas en la región y la reintroducción del dilema de seguridad. *Miríada*, 4. <https://core.ac.uk/download/pdf/233941326.pdf>
- Boeing. (2020, 25 de agosto). *B-17 Flying Fortress*. <https://www.boeing.com/history/products/b-17-flying-fortress.page>
- Boeing Company. (2020, 25 de agosto). *OH-6 CAYUSE/HUGHES 500*. Boeing. <http://www.boeing.com/history/products/oh-6-cayuse.page>
- Brew, A. (1993). *Boulton Paul Aircraft since 1915*. Putnam Aeronautical Books.
- Brew, A. (2020). The P.29 Sidstrand. En A. Brew, *Boulton Paul Aircraft Since 1915*. Fonthill Media.
- Cobo, I. F. (2014). Análisis crítico de la seguridad en Iberoamérica. *Pre-Bie3*, 3, 4. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7641786>
- Desarrollo y Defensa. (2020). *Cañón Gatlin M197*. Desarrollo y Defensa. <https://desarrolloydefensa.blogspot.com/2019/05/canon-gatling-m197.html>
- ECURED. (2017, 3 de septiembre). *Guerra colombo peruana*. ECURED. https://www.ecured.cu/Guerra_colombo-peruana
- El Espectador. (2011, 5 de noviembre). Éxito de Operación Odiseo, muerte de “Alfonso Cano”. *El Espectador*. <https://www.elespectador.com/noticias/judicial/exito-de-operacion-odiseo-muerte-de-alfonso-cano/>
- El Tiempo. (2007, 5 de septiembre). La muerte de “siete vidas”. *El Tiempo*. <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-3710030>
- Escobar, E. T. (1995, 21 de mayo). Operación casa verde. *El Tiempo*. <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-330793#>
- Esquivel Triana, R. (2016, enero-junio). La Fuerza Aérea Colombiana y el cese del conflicto armado (1998-2015). *Revista Científica General José María Córdova*, 14(17), 477-401. <https://doi.org/10.21830/19006586.18>
- Fernández, O. C. (2015, 19 de agosto). *El armamento soviético y norteamericano en el contexto de la Guerra Fría*. http://intrahistoria.com/el-armamento-sovietico-y-norteamericano-en-el-contexto-de-la-guerra-fria/#_Toc426479996
- Flavin, W. (2003). Planning for Conflict Termination and Pos-Conflict Success. *Parameters*, autumn, 96-112.
- Fuerza Aérea Colombiana. (2020, 25 de agosto). Fuerza Aérea Colombiana. <https://www.fac.mil.co/fuerza-a%C3%A9rea-colombiana-lanza-arp%C3%ADa-iv>
- Gutiérrez, L. (1995). Evolución de la tecnología militar y “su impacto” en España. *Cuadernos de Estrategia*, 75, 83-114.
- Heritage Flight Museum. (2020, 25 de agosto). *H13 Sioux*. Heritage Flight Museum. <https://heritageflight.org>. Obtenido de <https://heritageflight.org/aircraft/h13-sioux/>
- Hernández, D. (2010). La aviación colombiana en la guerra contra el Perú. *Pago*, 84-89. http://www.au.af.mil/au/afri/aspj/apjinternational/apj-s/2010/2010-2/2010_2_09_hernandez.pdf
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2010). *Metodología de la investigación*. McGraw-Hill.
- Hiveminer. (2020). *Hiveminer*. www.hiveminer.com
- IEEE. (2014). *Cuaderno de estrategias 169 desarme y control del armamento del siglo XXI: limitaciones al comercio y a la transferencia de tecnología*. Instituto Español de Estudios Estratégicos. http://www.ieee.es/Galerias/fichero/cuadernos/CE_169.pdf

- Leal, B. F. (2017, 3 de julio). Expectativas en el posacuerdo. *El Espectador*. <http://colombia2020.elespectador.com/politica/expectativas-en-el-posacuerdo>
- Loftin, L. K. (1987). *Quest for Performance: the Evolution of Modern Aircraft*. NASA Scientific and Technical Information Branch. <https://doi.org/10.2307/3105034>
- MilitaryImages. (2007, 5 de enero). *MilitaryImages*. <https://www.militaryimages.net/media/boulton-paul-p-29-si-destrand-crew-1931-raf-101sqn.14974/>
- Pallarés, B. M. (1984). La guerra electrónica y la electrónica en la guerra. *Boletín de Información*, (171), 3.
- Paredes, L. (2011). *Seguridad y estrategia: los desafíos del futuro*. Fuerzas Armadas de Colombia.
- Pinzón, J. (2020). *Colombia frente a la actualización de capacidades militares suramericanas: el caso del sistema de defensa antiaéreo* [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Javeriana]. <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/53913/Tesis%20Juli%C3%A1n%20David%20Pinz%C3%B3n%20G%C3%B3mez.pdf?sequence=1>
- Ramos, F., & Oliveira, P. (2010). Cambios en el perfil de la guerra y reflexiones para la preparación y el empleo del Poder Aéreo Brasileño, *Revista profesional-Fuerza Aérea de EUA*. https://www.airuniversity.af.edu/Portals/10/JOTA/Journals/Volume%201%20Issue%201/03-Fernandez_s.pdf
- Revista Semana. (2010, 23 de junio). Tres años de golpes a las FARC. *Revista Semana*. <https://www.semana.com/nacion/articulo/tres-anos-golpes-farc/122355-3>
- Richard, J. (2009, 14 de diciembre). *History of War*. http://www.historyofwar.org/Pictures/pictures_boulton_paul_overstrand.html
- San Diego Air & Space Museum. (2020, 13 de julio). *San Diego Air & Space Museum*. <https://sandiegoairandspace.org/>
- SilverHawkAuthor. (2020). *Ametralladora en el plano superior*. http://silverhawkauthor.com/canadian-warplanes-5-ontario-ottawa-canadian-war-museum_867.html
- Strong F. J., & Jaramillo J. M. (2014). *La Fuerza Aérea Colombiana y la Acción Integral, doctrina y política de Estado* [Trabajo de grado].
- The Museum of Flight. (2020, 25 de agosto). *A Short History of the B-17*. <https://blog.museumofflight.org/a-short-history-of-the-b17>
- Triana, R. E. (2016). La Fuerza Aérea Colombiana y el cese del conflicto armado (1998-2015). *Revista Científica General José María Córdova*, 14(17), 377-401: <http://www.scielo.org.co/pdf/recig/v14n17/v14n17a14.pdf>
- Unidos, M. N. (2015, 7 de abril). National Museum. <https://www.nationalmuseum.af.mil/Visit/Museum-Exhibits/Fact-Sheets/Display/Article/197393/martin-b-10/>
- Wageningen. (2008). *Vanwageningen.net*. https://www.vanwageningen.net/picture/2914-20080528_64_rnlaf_hawker_hunter_f4_n_144_military_aviation_museum_nl/category/46-2008_military_aviation_museum_at_kamp_zeist_the_netherlands
- War History Online. (2020, 7 de abril). "Huey" For Sale, With Amazing History. War History Online. <https://www.warhistoryonline.com/military-vehicle-news/huey.html>
- WonderfulEngineering. (2020). *Dardos Aéreos*. <https://wonderfulengineering.com/before-bombs-were-invented-pilots-dropped-these-steel-arrows-on-the-enemy/>
- Wright State University. (2020, 25 de agosto). *The Dayton-Wright Airplane Company*. https://corescholar.libraries.wright.edu/special_ms152_photographs/120/
- Zimmerman, D. J. (2019). *Top Gun: 50 Years of Naval Air Superiority*. Quarto Publishing Group USA Inc. https://books.google.com.co/books?id=hjeSDwAAQBAJ&pg=PA111&dq=synchronous+machine+gun+mounted+on+a+aircraft+fokker&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwi1sa3H2c_qAhXmRd8KHcl3CK0Q6AEwAHoECAEQAg#v=onepage&q=synchronous%20machine%20gun%20mounted%20on%20a%20aircraft%20f

Curva de aprendizaje del ingeniero en comunicaciones y electrónica del espacio aéreo

| Fecha de recibido: 18 de enero del 2021 | Fecha de aprobación: 10 de junio del 2021 |

Rodolfo Martínez Gutiérrez

Doctor en Estudios del Desarrollo Global

Docente, Tecnológico Nacional de México, Campus Tijuana México

Rol del investigador: escritura

<https://orcid.org/0000-0001-6501-9851>

✉ rodolfo.martinez@tectijuana.edu.mx

Antonio Alfonso Landero Mada

Magíster en Administración

Tecnológico Nacional de México, Campus Tijuana México

Rol del investigador: experimental

<https://orcid.org/0000-0002-2853-9783>

✉ antonio.landero19@tectijuana.edu.mx

Carmen Esther Carey Raygoza

Magíster en Gestión Ejecutiva Internacional

Tecnológico Nacional de México, Campus Tijuana

Rol del investigador: escritura

<https://orcid.org/0000-0002-3379-2273>

✉ carmen.carey@tectijuana.edu.mx

Carlos Hurtado Sánchez

Doctor en Ciencias

Tecnológico Nacional de México, Campus Tijuana México

Rol del investigador: escritura

<https://orcid.org/0000-0002-9913-592X>

✉ carlos.hurtado@tectijuana.edu.mx

Cómo citar este artículo: Martínez-Gutiérrez, R., Landeros-Mada, A. A., Carey-Raygoza, C. E., & Hurtado-Sánchez, C. 2021. Curva de aprendizaje del ingeniero en comunicaciones y electrónica del espacio aéreo. *Ciencia y Poder Aéreo*, 16(2), 128-147. <https://doi.org/10.18667/cienciaypoderaaereo.687>



Curva de aprendizaje del ingeniero en comunicaciones y electrónica del espacio aéreo

Resumen: Este estudio tiene como finalidad la investigación sobre el desarrollo de los ingenieros en comunicaciones y electrónica (ICE) que laboran en Servicios a la Navegación en el Espacio Aéreo Mexicano (SENEAM). Con el propósito de determinar cuáles han sido las transiciones y sus proyecciones en el entorno laboral durante su permanencia en dicho organismo, y conocer y desarrollar la curva de aprendizaje desde sus inicios profesionales como ICE en el área de Ingeniería de Servicios IDS, comunicaciones, radio ayudas o radar. Las curvas de aprendizaje son modelos empíricos que permiten estudiar las transformaciones tecnológicas como resultado del aprendizaje. Partiendo de esto, el aprendizaje es comprendido como la sabiduría adquirida por la repetición de un proceso (*learning-by-doing*) (Arrow, 1962). Wright (1996) publicó un artículo donde afirma que la curva de aprendizaje se observó por primera vez en 1920. Al respecto, Hirschmann (1964) comenta “que la práctica hace la perfección, que las cosas se pueden hacer mejor no solo la segunda vez, sino cada vez que lo intente”; la curva de aprendizaje es la que se encarga de cuantificar y representar gráficamente este rendimiento (Hirschmann, 1964). La SENEAM cuenta con más de 40 años en México; proporcionando servicios de ayuda a la navegación aérea para la seguridad, fluidez y orden en el espacio aéreo mexicano; garantizando calidad y eficiencia conforme a la normatividad nacional e internacional aplicable. Se espera que esta investigación dé a conocer los factores que determinan la curva de aprendizaje de los ingenieros en comunicaciones y electrónica, caso SENEAM.

Palabras clave: curva de aprendizaje; capacitación; *mentoring*.

Learning Curve of the Airspace Electronics and Communications Engineer

Abstract: This work studied the progress made by the communications and electronics engineers (CEES) working at Servicios a la Navegación en el Espacio Aéreo Mexicano (SENEAM), with the aim of establishing their transitions and projections while working at this company, and acknowledging the learning curve by this staff from their beginnings as CEES in the corresponding area of IDS, communications, radio aids or radar operations. Learning curves are empirical models that allow studying technological transformations as a result of learning processes. From this, learning is understood as the knowledge we acquire from the repetition of a process (*learning-by-doing*) (Arrow, 1962). Wright (1936) published an article stating that the learning curve phenomenon was observed for the first time in 1920. On this regard, Hirschmann (1964) comments on the benefits of the learning curve that “practice makes perfect, and things can be done better not only the second time, but every time we try.” Hence, the learning curve is the one in charge of quantifying and graphically representing this performance (Hirschmann, 1964). In this context, SENEAM, which has more than 40 years of experience in the Mexican aeronautical industry, provides air navigation assistance services with safety, fluidity and order, ensuring quality and efficiency in accordance with applicable national and international regulations. Consequently, this research is expected to reveal the factors that determine the learning curve of CEES in the airline industry through the case study of SENEAM.

Keywords: learning curve; training; *mentoring*.

Curva de aprendizagem do engenheiro de eletrônica e comunicação do espaço aéreo

Resumo: O objetivo deste estudo é a pesquisa sobre o desenvolvimento que vem sendo realizado com os engenheiros de comunicações e eletrônica (ICE) que trabalham nos Serviços de Navegação no Espaço Aéreo Mexicano (SENEAM). Isto a fim de determinar quais foram as transições e suas projeções no ambiente de trabalho durante sua gestão na referida organização, e conhecer e desenvolver a curva de aprendizado que tiveram desde o início profissional como ICE na área de IDS, comunicações, rádio ajudas ou radar. As curvas de aprendizagem são modelos empíricos que permitem estudar as transformações tecnológicas decorrentes da aprendizagem. Com base nisso, a aprendizagem é entendida como a sabedoria que adquirimos ao repetir um processo (*learning-by-doing*) (Arrow, 1962). Wright (1996) publicou um artigo afirmando que esse fenômeno da curva de aprendizado foi observado pela primeira vez em 1920. Sobre isso, Hirschmann (1964) comenta sobre os benefícios da curva de aprendizado “que a prática leva à perfeição, que as coisas podem ser feitas melhor não só na segunda vez, mas toda vez que você tentar”; a curva de aprendizado é a responsável por quantificar e representar graficamente esse desempenho (Hirschmann, 1964). Por outro lado, o SENEAM tem mais de 40 anos prestando serviços para a indústria aeronáutica no México; prestação de serviços de assistência à navegação aérea para segurança, fluidez e ordem no espaço aéreo mexicano; garantindo qualidade e eficiência de acordo com as regulamentações nacionais e internacionais aplicáveis.

Palavras-chave: curva de aprendizagem; treinamento; mentoria.

La curva de aprendizaje es el resultado de la experiencia, del contacto del hombre con su entorno (Chango, 2014). La importancia de este trabajo está en conocer todas las funciones de un ingeniero en comunicaciones y electrónica (ICE) que labora en Servicios a la Navegación en el Espacio Aéreo Mexicano (SENEAM).

SENEAM es un organismo desconcentrado de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) de México, el cual fue creado por decreto presidencial y publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) del 3 de octubre de 1978 (DOF, 1978). Este organismo tiene como misión garantizar, a través de servicios a la navegación, el transporte seguro y eficiente de personas y bienes en el espacio aéreo mexicano. Para establecer la curva de aprendizaje hay que aportar información de la proyección para el desarrollo de las competencias sectoriales mediante la generación de un perfil de los ICE que laboran en el sector aeronáutico de México.

La importancia de una capacitación adecuada para el personal de ingeniería de servicios a las comunicaciones, radio ayudas y de radar de un organismo como SENEAM es primordial porque se deben de garantizar servicios a la navegación aérea con los más altos estándares y eficiencia, como lo marca la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) en el Anexo 10 y las regulaciones vigentes de la Agencia Federal de Aviación Civil en México.

En el paradigma para retroalimentar los conocimientos y las habilidades necesarias en los diferentes equipos y sistemas que se manejan en el sector aeronáutico, SENEAM cumple con las normas ISO 9001-2015, apartado 6.2 de recursos humanos que establece el sistema de gestión de la calidad.

Con la puesta en práctica, este estudio busca, mediante la curva de aprendizaje, que un ICE adquiera en un menor tiempo las competencias requeridas para conseguir un puesto en el sector aeronáutico, además de ser un recurso necesario para los administradores que requieren conocer cómo fue el desarrollo de la capacitación de los ICE que ingresan a laborar en el sector aéreo a través del tiempo. Al generar personal de ingeniería con una capacitación homogénea, continua y actualizada en los avances tecnológicos, se aporta en

el desempeño óptimo de equipos de radio navegación y sistemas aeronáuticos utilizados en el sector aéreo.

Surgimiento de la curva de aprendizaje

En febrero de 1936, Patterson Wright publicó en *Journal of the Aeronautical Sciences*, volumen 3, el artículo titulado “Factores que afectan el costo de los aviones”, la primera publicación que se tiene registrada sobre la curva de aprendizaje, la cual surgió de sus primeros estudios realizados en 1922 sobre la variación de los costos en el sector aeronáutico. En esta curva de aprendizaje, Wright representó la variación del trabajo empírico, y a partir de dos o tres puntos de la experiencia en la producción del mismo modelo en diferentes posibles cantidades a través de los años, esa curva, que al inicio mostró solamente la variación del trabajo, se utilizó para la estimación de propósitos y se fueron corrigiendo más datos hasta que quedó disponible y fue presentada en papel (Wright, 1936).

En su artículo de 1936, Wright afirma que el fenómeno de la curva de aprendizaje se observó por primera vez en 1920 en Dayton, Ohio, Estados Unidos, en la Fuerza Aérea Americana. Allí se encontró que en el ensamblaje de un segundo avión de cierto tipo se gastaba el 80 % de las horas del primero. El octavo avión gastaba el 80 % de las horas del cuarto, y así sucesivamente hasta llegar a un límite lógico (Chango, 2014).

Hipótesis sobre la curva de aprendizaje

La hipótesis de Wright era que las horas-hombre necesarias para completar una unidad de producción crecerían en un porcentaje constante cada vez que la producción se duplicara (Chango, 2014). En la industria, la curva de aprendizaje es utilizada en el tiempo y al costo de la producción. En la figura 1 se puede

observar en el eje X la acumulación de lo que se ha aprendido, y en eje Y el tiempo invertido. Se conoce del surgimiento de la curva de aprendizaje en el sector aeronáutico desde Wright en 1920. Sin embargo, Terrazas *et al.* (2009) han indicado que la idea del aprendizaje individual y del aprendizaje organizacional se inició en la década de los setentas y lo aplicó Boston Consultan Group y de Conley.

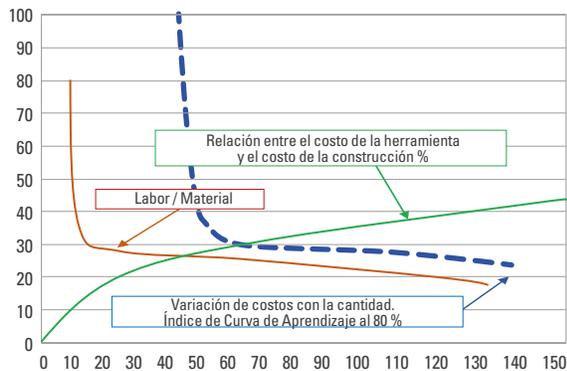


Figura 1. Curva de aprendizaje de 1936
Fuente: Wright (1936).

En la figura 2, la curva de aprendizaje muestra el trabajo. La forma general, la tendencia de los datos y la corrección de la curva se debieron a los nuevos puntos; estos correspondieron, a su vez, a los resultados de los datos de la experiencia adquirida, los cuales han permitido trazar otra curva que muestra la tasa de variación del material utilizado, el material comprado y el conjunto del avión contra la cantidad.

Por otra parte, Arrow (1962) propuso por primera vez la hipótesis sobre las implicaciones económicas del aprendizaje. Este modelo, uno de los más requeridos, plantea una tasa de aprendizaje que se describe como porcentaje, en la cual se disminuyen los costos una vez se duplica la capacidad de producción.

Las curvas de aprendizaje son modelos empíricos que facilitan el estudio de la evolución tecnológica como un resultado del conocimiento (Arrow, 1962). En este rubro, el aprendizaje se comprende como la experiencia que se adquiere por la repetición de un proceso (*learning-by-doing*); por ejemplo, los incrementos en la capacidad de producción dejan una experiencia debido a la repetición en un proceso productivo.

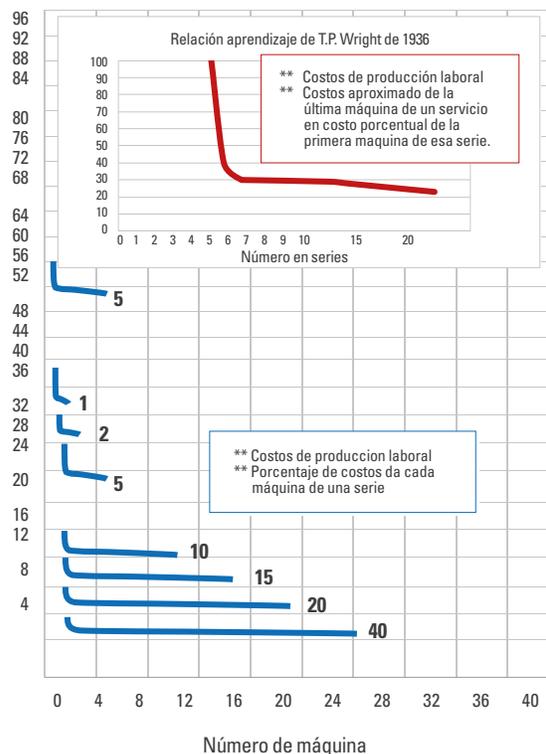


Figura 2. Curva de aprendizaje con la forma general y la tendencia (1936)
Fuente: Wright (1936).

“La práctica hace la perfección”, manifestó Hirschmann (1964). Siempre se puede hacer una cosa mejor, no solo la segunda vez, sino cada vez que se intente. Esto lo sabe todo el mundo, pero ¿cuántos saben que un patrón de mejora puede ser lo suficientemente regular como para ser predictivo? ¿Cuántos se dan cuenta de que tales patrones pueden caracterizar no solo el desempeño individual, sino también al desempeño compuesto de muchos individuos organizados para realizar una tarea común?

El rendimiento de la curva de aprendizaje es una característica natural, por lo tanto, se debe localizar dicho rendimiento no solo para más tipos de actividades ya registradas como receptivas, sino también para funciones poco probables, como aquellas que no se anunciaron previamente o que se creían susceptibles (Hirschmann, 1964). En la figura 3, los puntos muestran una tendencia decreciente para las horas de trabajo productivo en el mantenimiento y las paradas entre los años 1949 y 1956. Al final de ese periodo la trama parece nivelarse.

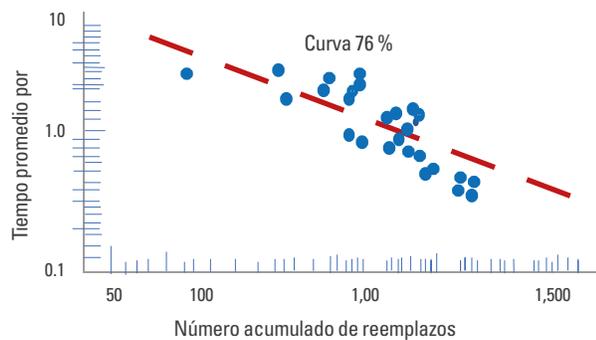


Figura 3. Curva de aprendizaje de mantenimiento en planta de General Electric

Fuente: Bennet (1957).

Si la administración hubiera especulado sobre esta curva, podría haber sentido que había alcanzado un nivel estable y que el mantenimiento había aprendido la mejor manera de hacer los trabajos requeridos para que no se produjera un nuevo descenso —al menos por un tiempo—. Pero, en realidad, la tendencia continuó, terminando en donde debería haberse esperado (Hirschmann, 1964). En ese sentido, el trabajo es mayor para los puestos que demandan de un alto grado de actividad manual y en los que, además, se están aplicando los métodos tradicionales. En ciertos casos es necesario mostrar al trabajador películas o videos en los cuales se presenten los procedimientos tradicionales y los movimientos nuevos que se estarán aplicando de la manera más efectiva, así como el hecho de que un hábito es una actividad que influye en el aumento de la productividad al reducir la necesidad de una reflexión consciente (Kanawaty, 1955). En la teoría de la mejora continua en una curva de aprendizaje se hace un esfuerzo continuo para mejorar el rendimiento del trabajador y que este sea más productivo (Willard & Kantor, 1998).

Al realizar un análisis sobre el aprendizaje y su definición se detectan estos tres aspectos:

1. Es un cambio en la conducta o en cómo el individuo realiza sus labores porque asimiló una actividad y ya la hace de manera diferente a las anteriores veces.
2. Incluye el desenvolvimiento de una capacidad para manejarse. Esto quiere decir que la

persona, conforme va conociendo las labores, va adquiriendo destrezas, desarrolla habilidades y adquiere competencias sectoriales que van a permanecer en el tiempo.

3. Es un resultado de la práctica donde va adquiriendo habilidades, destrezas y conocimientos que lo llevan a acumular una experiencia, por ejemplo, por el ensayo o error, o por observar a otros a través del ejemplo; algo similar ocurre cuando los seres humanos aprendemos a hablar.

Funcionamiento de la curva de aprendizaje

En el concepto de aprendizaje y con la intención de conocer el funcionamiento de las curvas de aprendizaje, que muestra los factores que influyen al aprendizaje. Estos pueden alterar de forma positiva o negativa su realización, entre estos factores se encuentran, por ejemplo, la velocidad del aprendizaje, la cual se mide en una relación del 80 % y se la llama tasa de aprendizaje. Una gran cantidad de estas mejoras provienen de búsquedas que la gente realiza para perfeccionar el desempeño: se les conoce como mejoras en línea. Otras, por el contrario, provienen de distintas fuentes, entre las que se encuentran nuevas herramientas, nuevos materiales o reingenierías o mejoras fuera de línea. En la figura 4 se observan los elementos que han de marcar un aprendizaje como un proceso (Chango, 2014).



Figura 4. Elementos que influyen en el aprendizaje

Fuente: Chango (2014).

El aprendizaje se entiende como un proceso, y tiene elementos que lo demuestran: en cualquier proceso de aprendizaje existe una razón de necesidad y un interés intrínseco o extrínseco en la actividad; está conformado por valores comunes, información y datos; se motiva mediante el desafío, lo que evidencia un nivel de esfuerzo por lo esperado por el trabajador (Chango, 2014). La disciplina es una constante práctica y repetición que deja una experiencia en las tareas, en las que se acumulan conocimientos para reevaluar aprendizajes y propiciar una colaboración entre pares que sea relevante al momento de recibir la retroalimentación por una organización o por los involucrados.

Método logarítmico de la curva de aprendizaje

Diversos autores como Krajenski (2000) y Terrazas *et al.* (2009) indican que el método logarítmico va a facilitar la determinación de la curva de aprendizaje para cualquier unidad, TN, por la fórmula siguiente:

$$\text{Método logarítmico} \quad TN = T0 \times Nb$$

Donde:

x = Número de unidades.

Yx = Número de horas-hombre directas requeridas para producir la enésima x.

K = Número de horas-hombre directas requeridas para producir la primera unidad.

N= log va log2, donde b= porcentaje de aprendizaje.

Estimación del porcentaje de aprendizaje

Organizaciones y productos disponen de diferentes curvas de aprendizaje. La tasa de aprendizaje va a cambiar de acuerdo con la calidad de la gestión y del

potencial de un proceso y del producto. En ese orden de ideas, la tasa de aprendizaje en el sector del espacio aéreo es del 85 % (Chango, 2014). En los estudios realizados por Wright y que publicó en 1936 donde mencionaba que en un

cuarto avión gastaba el 80 % de las horas del segundo. El octavo avión gastaba el 80 % de las horas del cuarto y así sucesivamente hasta llegar a un límite lógico. La velocidad del aprendizaje se mide con esta relación, (80 %) y se llama tasa de aprendizaje. A menor tasa de aprendizaje, mayor al lapso de la curva de aprendizaje (esta es la única ocasión cuando 60 % es mejor que 80 %) (Ballesteros *et al.*, 2005, p. 185).

Metodología

Se realizó una investigación cualitativa con un tipo de muestreo por conveniencia no probabilístico, en el que se utiliza el razonamiento de una muestra para que esta sea más provechosa para el tema de investigación. Es un tipo de muestra intencional donde hay un informador clave que identifica a otro para entrevistar. Para efectos de una investigación integral, debe considerarse el enfoque sistémico y análisis del entorno sectorial (Martínez, 2012, 2020). De ese modo, se eligieron a 50 ingenieros con la condición de que laboraran en ingeniería de servicios en radio ayudas, comunicaciones y de radar en las diversas estaciones de la república mexicana. Del total, 47 fueron varones y 3 mujeres. En cuanto a los años de servicios que llevaban laborando en el organismo, el rango iba de los 5 hasta los 47 años.

Diseño del instrumento

Para la elaboración del diseño de la recopilación de información del instrumento de investigación se realizó una presentación de las variables de una forma confiable, válida y objetiva. Según los tratadistas, todo

instrumento utilizado debe de reunir al menos dos condiciones: confiabilidad y validez (Rojas, 2011). Así, se utilizaron para la recopilación de la información los siguientes instrumentos:

- a) Observación directa.
- b) Cuestionarios.
- c) Entrevistas.

Para la encuesta se usó la escala de Likert 5 con los valores: 5=excelente, 4=muy bueno, 3=bueno, 2=regular, 1=malo.

Para la validación de los instrumentos (encuestas y entrevista) se manejó el juicio de expertos (Skjong & Wentworth, 2000). Como el juicio de expertos es conocida una opinión concedora de individuos con recorrido en el tema, que son reconocidos por otros como peritos autorizados sobre determinado asunto, y que logran suministrar indagación, certidumbre, reflexiones y apreciaciones. El número de jueces que se debe manipular en un juicio depende del nivel de experticia y de la complejidad del discernimiento; la decisión sobre qué cantidad de expertos es la apropiada varía entre diferentes autores. Así, mientras Hyrkás *et al.* (2003) sugieren un rango de 2 a 20 expertos, declara que 10 brindarían una evaluación confiable de la validez de contenido de un instrumento. Si un 80 % de los peritos han estado de acuerdo con la validez de un ítem, este puede ser incorporado al instrumento. En esta investigación se compartió el instrumento con 15 expertos en los temas de capacitación y alto desarrollo en el organismo SENEAM, a quienes se les solicitó que evaluaran el instrumento de investigación, considerando sus apreciaciones y aportaciones para mejorar el instrumento.

En la tabla 1 se presenta un desglose de los factores que se miden en el cuestionario, así como los ítems de cada factor y el porcentaje que corresponde a cada uno de acuerdo con el total de los utilizados para la implementación de esta herramienta, donde se indica la variable a estudiar que aporta información para las conclusiones derivadas de la investigación.

Tabla 1
Desglose de los factores que se midieron en la muestra

Factores	Preguntas	Total de ítems	%	Variable a estudiar
Información básica	1-5	5	3,42	Independiente
Desarrollo laboral	6-8	3	2,05	Independiente
Meritocracia	9-11	3	2,05	Independiente
SINCO	12	16	10,96	Independiente
Funciones laborales	13-15	23	15,75	Independiente
Mentoring	16-18	3	2,05	Independiente
Competencias	19-28	10	6,85	Independiente
Capacitación	29-42	58	39,73	Dependiente
Curva de aprendizaje	43-62	20	13,7	Dependiente
Satisfacción laboral	63-64	2	1,37	Dependiente
Motivación laboral	65-66	2	1,37	Dependiente
Equipos de trabajo	67	1	0,68	Dependiente
Totales		146	100 %	

Fuente: elaboración propia.

Procedimiento

Sobre la recolección de datos, Sampieri (2010) declara que es un proceso elemental, aunque el objetivo no es solamente determinar una variable para establecer conclusiones y estudios estadísticos; lo que se busca en una investigación cualitativa es conseguir datos (que se transforman en información) de individuos, poblaciones, problemáticas o cuestiones a profundidad. La recolección de datos se llevó a cabo en los entornos naturales y cotidianos de los encuestados o unidades de análisis. En el caso de las personas, en su entorno diario: cómo hablan, en qué creen, qué sienten, cómo piensan, cómo actúan.

Se utilizaron en la recolección de datos las herramientas tecnológicas disponibles, ya que los encuestados se encontraban en diversas localidades del territorio nacional en México.

En la recolección de datos se siguieron estos pasos:

1. Búsqueda de datos: en esta etapa se recolectó información que aportara conocimiento, mientras

de forma paralela se llevó a cabo la recolección de los datos (donde un investigador fue instrumento). De igual manera, se analizaron los datos, transcribiendo la información que se iba recolectando a través de una bitácora de procesos en la que se registraban los resultados.

2. Recolección de datos: el instrumento del levantamiento de la información fue el mismo entrevistador, quien, a través de las herramientas aplicadas, recolectó los datos.
3. Se utilizaron las siguientes herramientas:
 - a) Encuesta.
 - b) Entrevistas.
 - c) Observación.
4. Análisis de datos: se inició con la conformación de todos los datos que se iban recabando y utilizando.
 - a) La ordenación de la información.
 - b) Registro del material.
 - c) Se utilizaron programas de cómputo para ordenar la información.
5. Análisis del material: los principales (y esenciales) métodos fueron el rigor, la validez y confiabilidad.
 - a) Dependencia.
 - b) Credibilidad.
 - c) Transferencia.
 - d) Confirmación.
6. Codificación de la información: se realizó la codificación de toda la información que se fue recibida a través de dos niveles:
 - a) Primer nivel: equiparación de los elementos para generar algunas clases.
 - b) Segundo nivel: equiparación de las siguientes categorías:
 1. Análisis de datos.
 2. Elaboración de patrones.
 3. Origen de supuesto, explicaciones y las teorías.

Las etapas (actividades realizadas para llegar a las metas planteadas de la investigación y obtener una respuesta de los cuestionamientos del estudio), se juntaron porque eran repetitivas y persistentes; es decir,

no hubo tiempos en el desarrollo donde se pudiera mencionar “aquí se concluye una etapa y sigue otra”. Al ir observando en cada una y presenciar lo que ocurría, se analizaba y recolectaba información, y el análisis terminaba en actividades paralelas. Es decir, el análisis se iba desarrollando al mismo tiempo que se obtenía la información, de tal forma que la muestra inicial no era contundente si al continuar colectando la información evolucionaba el análisis.

Aplicación del instrumento al personal de ingeniería de servicios (IDS)

Rojas (2011) afirma que la validez es una cualidad del instrumento si este sirve para medir la variable que se busca medir y no otra; es decir, que sea el instrumento preciso y adecuado. Un instrumento de medición adecuado es aquel que registra datos observables que representan verdaderamente los conceptos o las variables que el investigador tiene en mente (Sampieri, 2010).

En esta investigación el investigador diseñó un cuestionario con preguntas dirigidas a recolectar información para cada una de las variables, así como la forma en que se administran para el registro de las observaciones que son propiedad del propio investigador del estudio, recolectando información dependiente de entrevistas a personal exitoso en su permanencia laboral en el organismo de distintas gerencias del país con el fin de obtener una muestra más precisa.

La información que se obtuvo de la aplicación del instrumento se analizó y clasificó para realizar una proyección del ICE en su vida laboral en el organismo SENEAM. Esta proyección está determinada por varios factores que aportan información utilizada para realizar la curva de aprendizaje del ICE del sector aéreo en SENEAM.

En la figura 5, se muestran los años laborados del personal de ingeniería que participó en la investigación. Se conoció el año de ingreso al organismo y, con

eso, los años de servicio para la proyección en su carrera dentro del organismo. Se obtuvo, en primer lugar, que el 26 % de los encuestados (13 personas) llevan “de 6 a 10 años” laborando en el organismo; en segundo lugar, que el 20 % (10 personas) llevan laborando “de 31 a 35 años”, y, en tercer lugar, que el 18 % (9 personas) han trabajado “de 11 a 15 años”.

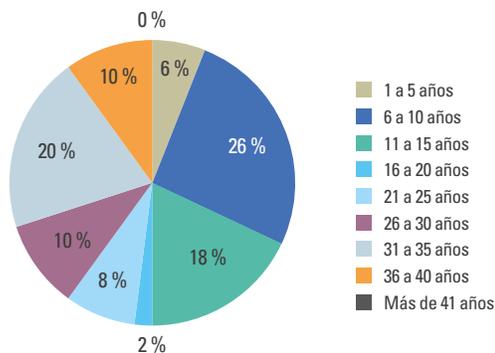


Figura 5. Años laborados en el organismo
Fuente: elaboración propia.

En la figura 6, área donde laboran los ingenieros que participaron en la muestra del estudio, se obtuvo que el 82 % de la muestra, equivalente a 41 ingenieros, laboran en IDS comunicaciones y radio ayudas; que el 8 % (4 encuestados) lo hacen en IDS Radar; otras 4 personas trabajan en Procesamiento radar, y el 2 % (1 encuestado) trabaja en DISDA.

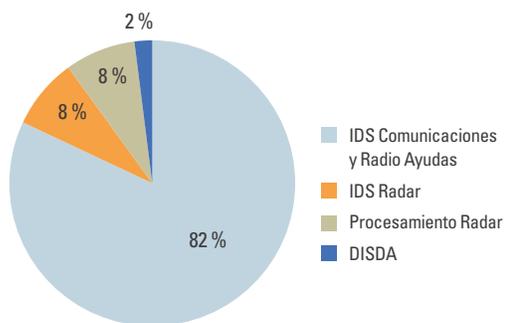


Figura 6. Área donde laboran los ingenieros que participaron en la muestra del estudio
Fuente: elaboración propia.

En la Figura 7, se muestra el tiempo transcurrido para que el ICE obtuviera su primera licencia aeronáutica como técnico aeronáutico clase II, emitida por la

AFAC, que lo habilita para intervenir equipos de radio ayudas o sistemas de radar. El 84 % esperaron de 1 a 5 años en obtener su primera licencia aeronáutica; el 6 % de 6 a 10 años, y otro 6 % que manifestaron no tener licencia.

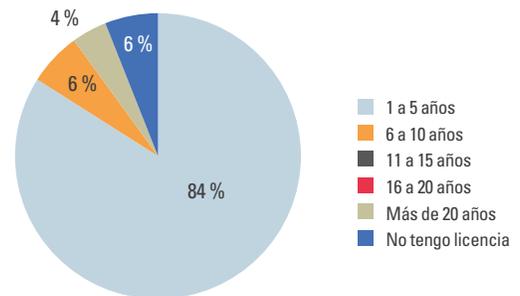


Figura 7. Tiempo transcurrido para obtener primera licencia aeronáutica
Fuente: elaboración propia.

En la figura 8, se presenta el nivel con que ingresó el encuestado a laborar al organismo. En primer lugar, con el 88 %, 44 encuestados ingresaron con el nivel 69; en segundo y tercer lugar, el 4 % (2 ingenieros) con el nivel 71 y con el nivel 73, respectivamente, y, por último, el 2 % (1 encuestado) con nivel 63.

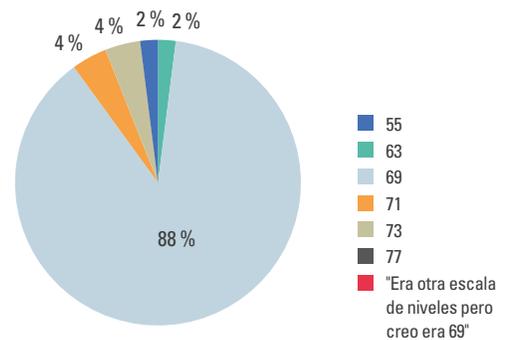


Figura 8. Nivel con que ingresó el encuestado a laborar al organismo
Fuente: elaboración propia.

En la figura 9, se busca conocer los factores que influyen en el ascenso de nivel de los ICE. Al respecto, 45 ingenieros consideraron el comité de escalafón; 44 ingenieros señalaron a los sindicatos; 35 ingenieros indicaron la meritocracia; 20 ingenieros consideraron los méritos propios; 10 ingenieros eligieron el jefe inmediato, y 3 ingenieros respondieron “otros factores”.

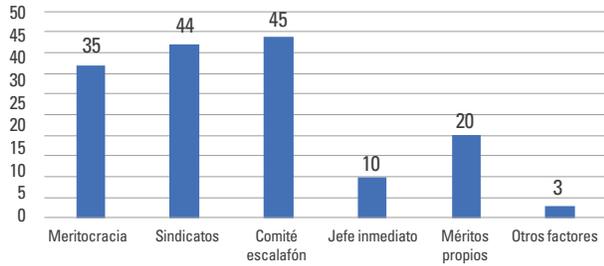


Figura 9. Factores que influyen en el ascenso de nivel de los ICE
Fuente: elaboración propia.

El SINCO (Sistema Nacional de Clasificación de Ocupaciones) está conformado por un comité técnico de una serie de instituciones privadas y de gobierno de todos los sectores productivos de México, quienes aportan información de expertos y encuestas que, a través del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, se llevan a cabo en todo el país (INEGI, 2011). El SINCO, en el grupo unitario 2281, menciona las 16 funciones laborales de los ingenieros en electrónica y telecomunicaciones. Estas funciones se presentan en la tabla 2, donde se evidencia que un 75 % de los encuestados efectúan usualmente estas funciones.

Tabla 2
Funciones laborales de acuerdo con el SINCO

Funciones laborales	Cantidad	Porcentaje
1. Detectar y corregir fallas de equipo	48	96 %
2. Vigilar funcionamiento de equipo	48	96 %
3. Instalaciones de equipos y sistemas	47	94 %
4. Detectar y corregir fallas de sistemas	46	92 %
5. Elaborar diagramas técnicos por instalación	40	80 %
6. Dictar y/o aplicar normas técnicas para equipos de comunicaciones	37	74 %
7. Supervisar actividades de instalaciones	37	74 %
8. Elaborar diagramas para Tx y Rx de datos	36	72 %
9. Coordinar trabajos con proveedores externos	31	62 %
10. Definir procedimientos para instalaciones	30	60 %
11. Formular y aprobar cotizaciones	26	52 %
12. Redactar informes sobre diseños y proyectos	25	50 %
13. Diseñar proyectos para el desarrollo	18	36 %
14. Normas para control y para el buen servicio de los sistemas	12	24 %
15. Dirigir actividades de desarrollo de sistemas	12	24 %
16. Investigación para implementar sistemas	11	22 %

Fuente: elaboración propia.

En la figura 10, se muestran las carreras de los encuestados. Todas las carreras cuentan con diferencias en cuanto a los perfiles requeridos por los planes de estudios diseñados por las universidades, es decir, que cuando los ingenieros sean contratados van a existir necesidades técnicas cognitivas que deberán ser cubiertas con una capacitación que proporcione una re-actualización a los requerimientos que la industria del servicio en comunicaciones aeronáuticas requiere hoy en día.

En primer término, 62 % (31 encuestados) estudiaron Ingeniería en Comunicaciones y Electrónica (ICE); en segundo lugar, el 18 % (9 encuestados) son ingenieros en electrónica; en tercer lugar, con el 8 %, 4 encuestados son ingenieros en telecomunicaciones; el 4 % (2 encuestados) estudiaron Ingeniería Médica; los demás encuestados, con el 2 % cada uno (equivalente a 1 encuestado por carrera), estudiaron Ingeniería en Sistemas Computacionales, Ingeniería en Mecatrónica, Ingeniería Industrial en Electrónica y técnico electrónico.

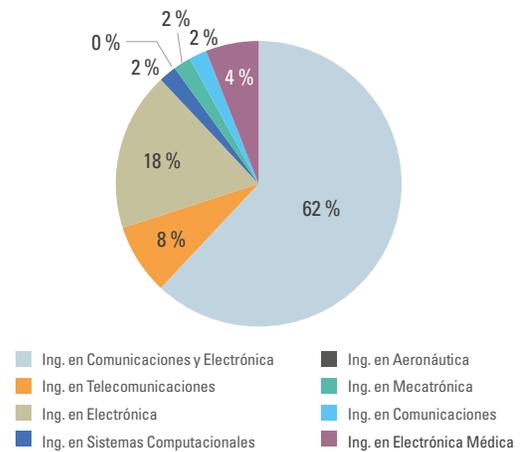


Figura 10. Carreras de estudio del encuestado
Fuente: elaboración propia.

La figura 11 aporta información sobre las competencias sectoriales; busca dar a conocer cómo los ingenieros consideran su capacitación y hacia donde está orientada para desarrollar las competencias sectoriales del personal de ingeniería. Se obtuvo que el 90 % (45 ingenieros) respondieron que sí, y el 10 % (con solo 5 ingenieros), que no.

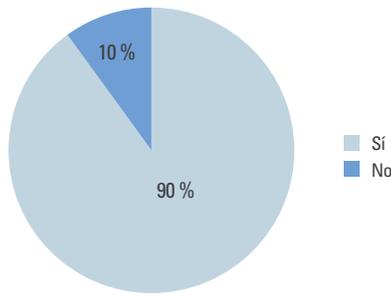


Figura 11. ¿Considera su capacitación orientada a desarrollar competencias sectoriales?
Fuente: elaboración propia.

En la figura 12, se muestra el nivel meritocrático del ingeniero, el cual nos aporta una información sobre su proyección dentro del organismo, así como de las competencias sectoriales. En primer lugar, igualados con un 28 % (14 encuestados), están los niveles 73 y 79; en segundo lugar, con 14 % (7 ingenieros) el nivel 77; en tercer lugar, con el 12 % (6 encuestados) el nivel 80.

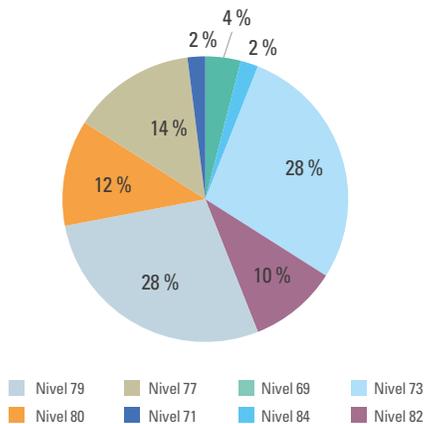


Figura 12. Nivel meritocrático
Fuente: elaboración propia.

En la figura 13, se aporta información sobre las competencias sectoriales, de donde se conoce si el ingeniero cuenta con una licencia aeronáutica emitida por la AFAC. El 82,1 %, solamente 32 de los encuestados, contestaron que sí; mientras que el 17,9 % (7 encuestados) contestaron que no tienen la licencia de técnico en aeronáutica tipo II que los habilita para radio ayudas o sistemas de radar.

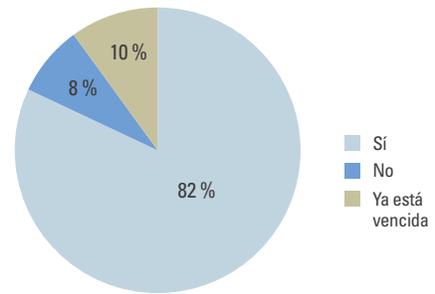


Figura 13. ¿Cuenta con una licencia aeronáutica?
Fuente: elaboración propia.

La capacitación, según Dessler y Varela (2011), se refiere a los métodos que se utilizan para dar a los trabajadores nuevas habilidades que requieran para realizar sus labores de manera eficiente y con calidad.

En la figura 14, se muestra lo que se percibe en la capacitación inicial al recibir el curso de las materias básicas, que va a coadyuvar para mejorar los conocimientos cognitivos y sectoriales que existen en un ingeniero con diferente perfil en su formación académica, para que así se desempeñe con mejores fundamentos dentro del sector de las comunicaciones aeronáuticas. En primer término, con 46 % cada cual, coincidieron 23 ingenieros por cada respuesta "sí la recibí" y "no la recibí". En segundo término, el 8 % (4 ingenieros) mencionaron que no tuvieron curso inicial.

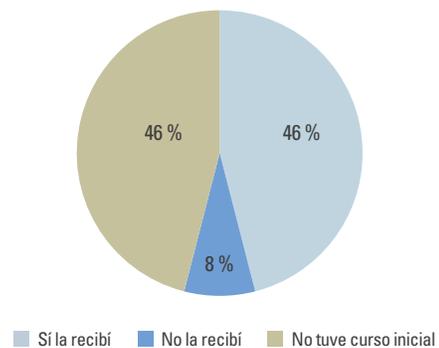


Figura 14. ¿Recibió curso de materias básicas en su capacitación inicial?
Fuente: elaboración propia.

En la tabla 3, se exhiben los cursos de capacitación para los ingenieros que laboran en ingeniería de servicios en comunicaciones, radio ayudas y radar,

específicamente, el tiempo de duración de sus cursos de capacitación para diferentes equipos y sistemas aeronáuticos con el porcentaje de quienes los han recibido.

Tabla 3
Cursos de capacitación para IDS comunicaciones en lo general

Sistema	Duración (h)	Cantidad	Porcentaje
1. VOR	280	20	40 %
2. DME	140	20	20 %
3. VCS	35	35	70 %
4. ILS	420	3	6 %
5. Transmisión de datos	35	43	86 %
6. Sistemas de modulación	35	42	84 %
7. Antenas	35	40	80 %
8. Comunicaciones	35	39	78 %
9. Telefonía	35	35	6 %
10. Radar	210	10	20 %
11. AFTN	35	33	66 %
12. VCS	35	35	70 %
13. VCX	35	28	56 %
14. DIVOS	35	33	66 %
15. Transmisores y receptores	35	32	64 %
16. NDB	35	2	4 %
17. Equipos meteorológicos	35	30	60 %
18. Comunicación satelital	35	32	64 %
19. Sistemas de energía	35	44	88 %
20. Redes de datos	35	22	44 %
21. Capacitación de sistemas	35	16	32 %
22. Anexo 10	35	44	88 %
23. ATIS	35	10	20 %
24. WAAS	35	1	2 %
25. LEITCH	35	8	16 %

Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

Con base en los resultados obtenidos se desarrolló la curva de aprendizaje de los ingenieros en comunicaciones y electrónica que laboran en el sector aéreo en SENEAM.

El conocimiento se deprecia si no existe la innovación y la tecnología. Debido a la falta de presupuestos

o de una planeación estratégica adecuada, según Jacobs (2014), estos podrían ir disminuyendo, de ahí la importancia de mantenerse a la vanguardia en los ámbitos tecnológicos. Se consideró un porcentaje de aprendizaje según la industria. De acuerdo con Jacobs (2014), el porcentaje de índice de aprendizaje para el sector aeronáutico del espacio aéreo es del 85 %.

Existen diferencias entre el índice de aprendizaje de una organización como SENEAM en el ramo de los servicios de radio comunicaciones aeronáuticas y de los servicios del tránsito aéreo y otras industrias que por convención manejan otro índice de aprendizaje. Dichas diferencias ocurren debido a las diversas características de las operaciones derivadas de los equipamientos, los métodos de trabajo, los servicios que ofrecen, la organización de su planta productiva y por las diferencias de los procedimientos que se manifiestan en el desarrollo del porcentaje del aprendizaje mismo.

En esta investigación el sujeto de estudio fue el personal del área de ingeniería que cuenta con la carrera de Ingeniería en Comunicaciones y Electrónica (ICE) o carreras afines. De acuerdo con Lefcovich (2003), una curva de aprendizaje es la elaboración de un censo gráfico de los progresos que se dan en los costos mientras el organismo gana experiencia y sube el número total de artefactos que se producen en las líneas de producción o de ensamble. Para conocer las respuestas a las variables, en esta investigación se hizo un censo de los progresos en las capacitaciones en las cuales los ingenieros, por medio de sus cursos, han acumulado horas de experiencia. El censo se hizo a través de herramientas de recolección de la información como la encuesta y la entrevista. De esa manera, el organismo ha ganado con la curva de la experiencia o curva de aprendizaje de su capital humano y, además, en competencias sectoriales.

Determinar la curva de aprendizaje de las funciones de los ICE del sector aéreo

- Inicialmente, se conoció en qué área laboran los encuestados, los años de servicio para su proyección y el porcentaje de conocimiento sobre

las funciones laborales que determina el SINCO en el grupo unitario 2281 que realizan los ICE encuestados. El 80 % de los cuarenta encuestados contestó que “sí, muy bien”, y el 20 % contestó “sí, bien”.

- b) Se rectificaron las funciones que intervienen para la determinación de la curva de aprendizaje en los ICE del sector aéreo caso SENEAM. Para esto, se describieron las actividades que se necesitan para desarrollar la curva de aprendizaje sobre los tiempos de capacitación de los equipos y sistemas en los cuales los ICE desarrollan sus funciones, así como la “n” cantidad de cursos que han tomado en su formación dentro del organismo.
- c) Con respecto a las causas del problema, y después de un esbozo del planteamiento de la investigación, se establecieron los siguientes factores que determinan la curva de aprendizaje de los ICE del sector aéreo:
 1. Desarrollo laboral.
 2. Capacitación.
 3. Funciones laborales del ICE.
 4. La meritocracia en la administración pública.
 5. Sistema Nacional de Clasificación de Ocupaciones (SINCO).
 6. Satisfacción laboral.
 7. Motivación laboral.
 8. Equipos de trabajo.
 9. *Mentoring*.
 10. Competencias sectoriales.
- d) Para la realización de la curva de aprendizaje se utilizaron los datos de los diversos sistemas que son utilizados por los ICE del sector aéreo en SENEAM.
- e) Se utilizó el método logarítmico para el cálculo de la curva de aprendizaje.
- f) La recaudación de la información para obtener los datos necesarios y realizar los cálculos se hizo por medio de encuestas con los ICE.
- g) Se realizó el cálculo de la fórmula del método logarítmico. Diversos autores como Krajenski (2000), Terrazas *et al.* (2009) y Jacobs (2014) indican que el método logarítmico va a facilitar la determinación de la mano de obra para cualquier unidad.

Ya conocidos todos los datos, se procedió a realizar el modelo de la curva de aprendizaje teniendo en consideración la tasa del índice de aprendizaje que, según Jacobs (2014), es del 85 % en el sector aéreo. Así, se realizó y se proyectó la curva de aprendizaje para cada uno de los niveles (69, 71, 73, 77, 79, 80, 81, 82) que existen en las categorías laborales de los ICE dentro del organismo. Cabe resaltar que la curva es aplicable tanto de forma individual como organizacional

Por otra parte, el aprendizaje que se adquiere de forma individual es el mejor resultado que se esperaría de los ingenieros que están recibiendo una capacitación constante debido a que este proceso les dará las habilidades y la eficiencia en virtud de su propia experiencia.

En el ámbito del aprendizaje organizacional existen diferentes tipos de capacitación, pero todas, al final, conforman una sola curva de aprendizaje, en donde el conocimiento que se está acumulando durante todo un periodo se transforma en un capital de conocimientos intangible para la organización, pero que aporta enormemente para la curva de aprendizaje del organismo. En todo este proceso de la curva de experiencia se adquieren conocimientos, experiencias, habilidades y destrezas, es decir, “la práctica hace al maestro”.

La teoría de la curva del aprendizaje se basa en tres suposiciones (Chango, 2014), las cuales se comprueban en esta investigación:

1. La cantidad de tiempo requerido para completar una tarea o unidad determinadas disminuirá cada vez que se repita la tarea.
2. La unidad de tiempo disminuirá en una razón decreciente.
3. La reducción del tiempo seguirá un patrón fijo.

En la tabla 4, se realiza una proyección de la curva de aprendizaje a través de la capacitación de los ICE en SENEAM, de acuerdo con los datos recabados tanto en las encuestas como en las entrevistas a personal de IDS, que han sido personal con casos de éxito. Además, se tomaron muestras de todas las regiones del país que componen el organismo. Esta tabla de proyección se utilizó para la realización de la curva de aprendizaje.

Tabla 4
Proyección de capacitación de un ICE en SENEAM

Capacitación recibida en el sistema	Cantidad de ingenieros	Porcentaje (muestra=50)	Tiempo de espera para recibir la capacitación	Niveles																																														
				Y1	Nivel	69	Y2	Nivel	71	Y3	Nivel	73	Y4	Nivel	77	Y5	Nivel	79	Y6	Nivel	80	Y7	Nivel	82																										
Cantidad de años				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35												
RADAR	23	46 %	6 años																																															
VOR	43	86 %	Menos 1 año																																															
DME	30	60 %	4 a 6 años																																															
LOC	6	12 %	De 6 a 10 años																																															
GP	6	12 %	De 6 a 10 años																																															
IDME	6	12 %	De 6 a 10 años																																															
NDB	4	8 %	10 años																																															
VAISALA	31	62 %	11 años																																															
VCX	25	50 %	9 años																																															
VCS	38	76 %	6 años																																															
LEITCH	8	16 %	1 año																																															
ATIS	10	20 %	6 años																																															
AFTN	35	70 %	3 años																																															
REDES	17	34 %	12 años																																															
DIVOS	32	64 %	12 años																																															
SATELITAL	37	74 %	4 años																																															
TRANSMISORES	37	74 %	1 año																																															
RECEPTORES	37	74 %	1 año																																															
PBX	6	12 %	3 años																																															
WAAS	1	2 %	10 años																																															
"MATERIAS BÁSICAS: (Antenas, Tx Datos, Sistemas Modulación, y Comunicaciones)"	23	46 %	"A su ingreso 35 hrs x cada materia"																																															
"Cursos anuales 2 en promedio"	40	80 %	1																																															
"Curso de inducción (Curso de VOR y materias básicas)"	22	44 %	"A su ingreso"																																															
"Promedio de años para cambio de nivel (56% de 4 a 6 años)"				1				5					10					15							20																									35

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 5, se presentan los datos para el cálculo de la curva de aprendizaje de los ICE con el nivel 69 mediante el método logarítmico. Este es un nivel de inicio para un ingeniero de reciente ingreso al organismo dentro del área de IDS comunicaciones, radar y radio ayudas. Los datos de la columna K=Horas y de N=Cursos, se obtuvieron de la tabla 4 sobre la proyección de capacitación del ICE en SENEAM. Así sucede con todos los cálculos de las curvas de aprendizaje en todos los niveles. De la tabla 4 de proyección se obtiene que va de acuerdo con la meritocracia y a la capacitación de cada nivel del ICE.

Tabla 5
Datos de cálculo de curva de aprendizaje para el nivel 69

X= Cursos	K= Horas	log B	log 2	log B / log 2	X Elevado a la N	Y
1	420	-0,070581074	0,301029996	-0,234465254	1	420
2	140	-0,070581074	0,301029996	-0,234465254	0,85	119
3	70	-0,070581074	0,301029996	-0,234465254	0,772914837	54,10403857
4	35	-0,070581074	0,301029996	-0,234465254	0,7225	25,2875
5	35	-0,070581074	0,301029996	-0,234465254	0,685671062	23,99848715
6	35	-0,070581074	0,301029996	-0,234465254	0,656977611	22,99421639
7	35	-0,070581074	0,301029996	-0,234465254	0,63365647	22,17797645
8	35	-0,070581074	0,301029996	-0,234465254	0,614125	21,494375
9	35	-0,070581074	0,301029996	-0,234465254	0,597397345	20,90890707

Fuente: elaboración propia.

En la figura 15, se presenta la curva de aprendizaje del nivel 69, donde se van acumulando cursos de capacitación durante sus inicios en el organismo dentro de los 4 a 6 años.

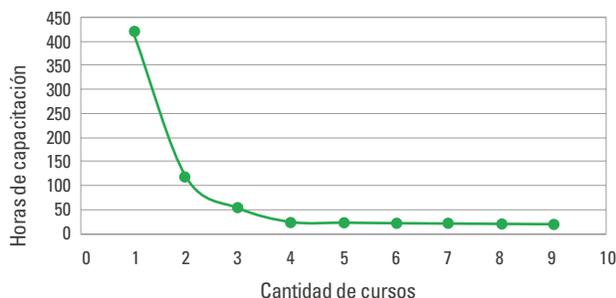


Figura 15. Curva de aprendizaje del nivel 69
Fuente: elaboración propia.

Se observa que la curva desciende de izquierda a derecha e indica que la experiencia hace descender los costos a medida que aumenta la producción o el aprendizaje. Los costos van a ir disminuyendo más lentamente que la experiencia acumulada; esto significa que a medida que pasa tiempo y se madura en la experiencia de los equipos y sistemas se vuelve más difícil la reducción de los costos, debido a que poco a poco se van reduciendo los gastos en la capacitación por la experiencia que se adquiere al momento de una capacitación adecuada al ingreso de un ICE al organismo.

En el eje de las abscisas (eje Y) se mide el número acumulado del tiempo invertido en la capacitación del ICE durante el ingreso a laborar al organismo. En el eje de las ordenadas (eje X) se mide el número de cursos de capacitación que se necesitan para lograr la curva de aprendizaje. Se concluye que la curva de aprendizaje es atípica, ya que ninguna curva es del todo uniforme, pues siempre existen las fluctuaciones en su inclinación y demás factores que influyen en su determinación (Yelle, 1979; Titone, 1986; Kelly, 1982).

Se comprobó la curva de aprendizaje tal y como fue planteada por Wright (1936). En ella se observa una pendiente empinada que indica un aprendizaje duro y difícil, mientras que a medida que se va haciendo plana indica un aprendizaje fácil y eficiente; en el eje de las X se observa la acumulación de lo aprendido y en el eje de las Y el tiempo invertido.

Perfil del ingeniero en comunicaciones y electrónica del sector aéreo de México

Producto de la investigación realizada, se obtuvo un perfil del ingeniero en comunicaciones y electrónica que labora en el sector aeronáutico de México. Se encontraron sus competencias y cómo la meritocracia influye en el desarrollo de las mismas. La determinación de la curva de aprendizaje permitió conocer el perfil del ICE del sector aéreo, que se propondrá para ser utilizado por el SINCO en el 2021 en el catálogo de puestos, con la descripción y funciones que realizan los ingenieros del sector aéreo de México. Asimismo, se elaboró un perfil que incluye los conocimientos, los valores y las destrezas que están relacionadas con los saberes básicos que se tienen al inicio de la capacitación del ingeniero, y que son necesarios dentro del sector aeronáutico si se tienen en cuenta las condiciones de trabajo para la solución de los problemas detectados en los sistemas y equipos aeronáuticos (véase tabla 6).

Tabla 6
Conocimientos para el perfil del ICE del sector aeronáutico

Ciencias básicas	Conocimientos generales	Conocimientos de ingeniería	Destrezas y valores
Matemáticas	Administración	Circuitos eléctricos	Toma de decisiones
Física	Inglés	Procesamiento de señales (análogas - digitales)	Capacidad de análisis
Programación	Gestión de recursos	Electrónica analógica	Ética profesional
Teoría Electromagnética	Sistemas informáticos	Electrónica digital	Responsabilidad
Antenas y propagación	Equipos de medición	Sistemas de modulación AM-FM	Trabajo en equipo
		Radio ayudas	
		Comunicaciones tierra-aire	
		Sistemas de energía	
		Redes de comunicación de datos	
		Telefonía digital	
		Comunicaciones satelitales	
		Sistemas de microondas	
		Comunicaciones inalámbricas	
		Redes aeronáuticas	
		Redes TCP-IP	

Fuente: elaboración propia.

Se desarrollan competencias sectoriales de acuerdo con la capacitación que se está recibiendo mientras se asimilan los cambios tecnológicos que existen de manera acelerada en la industria aeronáutica.

De acuerdo con las ciencias básicas

1. Conocimientos y habilidades matemáticas para la realización de diferentes cálculos necesarios en las mediciones eléctricas.
2. Conocimientos de física para la realización de diferentes cálculos relacionados con el uso de vectores utilizados en la capacitación de equipos de radio ayudas.
3. Conocimientos de programación para el diseño de sistemas y de interfaces electrónicos.
4. Conocimientos en la teoría electromagnética para la comprensión de los fenómenos eléctricos y magnéticos que se utilizan en la electrónica y comunicaciones.

De acuerdo con los conocimientos generales

5. Conocimientos de administración para mantener en orden y bajo control las actividades que se desarrollan.
6. Conocimientos de un idioma extranjero como el inglés, pues es el idioma mundial de la aeronáutica y se requiere para capacitación, coordinaciones, pruebas y documentación de equipos y sistemas.
7. Conocimientos sobre antenas y propagación. Las antenas son requeridas para recibir y emitir señales electromagnéticas; al transmitir o recibir, propagan señales electromagnéticas a través de diversos medios.
8. Conocimientos para la gestión de recursos tanto financieros como humanos para llevar a cabo los diversos proyectos.
9. Conocimientos en sistemas informáticos para el manejo de los diversos *software* y *hardware* que se utilizan en la industria aérea.
10. Tener la habilidad de trabajar en equipo ayuda para compartir conocimientos y estimula el aprendizaje individual y de un grupo.

11. Conocimientos en circuitos eléctricos para el conocimiento del transporte de la energía eléctrica a través de los cableados y dispositivos electrónicos.
12. Conocimientos de procesamientos de señales analógicas y digitales para conocer una manipulación matemática de una señal de información, para cambiarla o mejorarse en algún sentido, y se utiliza en diversos equipos de procesamiento de voz y comunicaciones.
13. Conocimientos de electrónica analógica para el manejo de los voltajes, corrientes, resistencias, impedancias, potencia.
14. Conocimientos de electrónica digital para los componentes discretos utilizados en los equipos electrónicos.
15. Conocimientos de sistemas de modulación en AM y FM para el uso en las comunicaciones radio eléctricas en diversos equipos y sistemas aeronáuticos.
16. Conocimientos en radio ayudas para equipos como el Localizador, GP o Trayectoria de Planeo, IDME, VOR, DME, NDB.
17. Conocimientos en las comunicaciones tierra-aire, que se efectúan a través de equipos de radio en frecuencias aeronáuticas y son necesarias para la comunicación entre los controladores de tránsito aéreo y los pilotos de las aeronaves, así como de los controladores de torre con personal terrestre.
18. Conocimientos en sistemas de energía eléctrica para el suministro de la energía que brinda el funcionamiento de los equipos aeronáuticos y de comunicaciones.
19. Conocimientos en redes de comunicaciones de datos para el envío y recepción de la información a través de diversos medios como fibra óptica, terrestre, antenas y enlaces por protocolo de internet.
20. Conocimientos de telefonía digital para las grabadoras de voz y enlaces de voz.
21. Conocimientos en comunicaciones satelitales para los enlaces de voz y datos que se utilizan en una red nacional.

22. Conocimientos en sistemas de microondas utilizados en la transmisión de voz y enlaces de datos para redes o monitoreos de equipos aeronáuticos.
 23. Conocimientos de enlaces inalámbricos, los cuales facilitan la operación en lugares donde las computadoras u otros dispositivos no se encuentran en una ubicación fija.
 24. Conocimientos de redes aeronáuticas para el intercambio de información en la red aeronáutica mundial como la AFTN.
 25. Conocimientos en redes TCP-IP, las cuales se utilizan en la operación proporcionando comunicación de las computadoras con servidores o la internet.
- c) Empatía para aprender.
 - d) Capacidad de concentración.
 - e) Talento del individuo.
 - f) Diseño de procesos.
 - g) Métodos de mejora continua o *kaizen*.
 - h) Materiales o herramientas de trabajo.

De acuerdo con las destrezas y valores

26. Habilidades en la toma de decisiones para realizar una elección entre las opciones o formas para resolver situaciones que se presenten.
 27. Habilidad para realizar análisis y poder procesar la información que ayude a tomar las mejores decisiones para obtener buenos resultados.
 28. Mantener la ética profesional es importante para conducirse de acuerdo con las normas y valores que rigen el actuar de un trabajador en la organización y para trabajar en conjunto por el bien común.
 29. Mantener la responsabilidad para contar con un nivel de compromiso que se asume por el personal para lograr una mejor posición en el organismo.
 30. Mantener el trabajo en equipo se requiere en las diversas labores para compartir actividades en común que se designan, de tal manera que se cuide la seguridad de los integrantes del equipo y se logre el objetivo asignado.
1. Se podría generar un daño a la proyección en el sector aeronáutico, debido a errores que impactan en la imagen de la organización; eso no es benéfico.
 2. Descuidos por falta de capacitación que podrían generar que un ICE ponga en riesgo la seguridad de las personas en una aeronave y su vida por no haber sido capacitado correctamente en el manejo de ciertos sistemas y equipos de aeronavegación aérea.
 3. Aumentar la empatía por la operación mediante nuevos señalamientos, retroalimentación de procedimientos de seguridad, equipos y sistemas donde el ICE podría tener riesgos de algún accidente.

Elementos que influyen en la conformación de una curva de aprendizaje

- a) La edad.
 - b) Conocimientos de las funciones del trabajo a desarrollar.
- a) Mejora la productividad si se reduce el tiempo y se perfecciona la mecánica de adaptación del nuevo personal.
 - b) Atracción y retención de colaboradores, pues los trabajadores están más interesados por un trabajo donde exista un punto de partida.
 - c) Incrementa la competitividad de las empresas que han aprendido a controlar la rotación y el ausentismo.

Riesgos de ser indiferente ante la curva de aprendizaje

En una organización la curva de aprendizaje es considerada primordial para el desarrollo y la capacitación del personal de ingeniería, debido a los riesgos que existen propios de las funciones de los ICE (Acá, 2017). Cuando el personal no se encuentra bien capacitado, es susceptible de cometer ciertos errores que afectan las labores para continuar realizando los proyectos.

Beneficios al mejorar la curva de aprendizaje

- d) Crecimiento del organismo.
- e) Genera fidelización de los colaboradores. Al mantener canales de comunicación claros, los procesos definidos se retroalimentan y seguramente se logrará un *engagement* laboral.
- f) Reducción de costos mediante el aumento de la capacitación y la producción.

Competencias sectoriales que predominan en los ICE en SENEAM

Los ICE encuestados manifestaron, en su mayoría, que el tener una especialización en sus funciones los va a impulsar para desarrollar sus competencias sectoriales, adquirir conocimientos, aumentar la destreza; el contar con cursos de retroalimentación va a favorecerlos con un aprendizaje más rápido y eficiente que los ayudará a tener una menor pérdida de tiempo al realizar sus funciones de trabajo.

Las competencias sectoriales son una base para optimizar la empleabilidad de los ICE, debido al saber obtenido frente a una tarea específica, la cual se hace incuestionable cuando el ICE entra en trato con ella. La competencia va a admitir los conocimientos, saberes y habilidades que nacen de la interacción que se va a efectuar entre el ICE y la tarea.

Las competencias sectoriales son un punto de enfoque integral de formación que va a conectar al mundo laboral y a los ICE con la educación, centrándose en la perfección del capital humano como un principio de innovación, conocimiento, diferenciación y competitividad.

Como lo afirma Miro (2009), las competencias sectoriales se clasifican en competencias transversales o genéricas, competencias técnicas y competencias de sustentabilidad e innovación, las cuales están relacionadas con los conocimientos técnicos que adquieren en su capacitación los ICE con los diferentes equipos y sistemas en el área aeronáutica con los diferentes equipos y sistemas.

Como lo describe la CONFEDI (2016), una competencia es la capacidad de enunciar eficientemente un conjunto de esbozos (arreglos mentales) y valores,

admitiendo congregar (poner a disposición) diferentes saberes en un determinado argumento con el fin de resolver contextos profesionales.

Las competencias:

- Manifiestan a capacidades complejas e integradas,
- Están relacionadas con saberes (teóricos, contextuales y procedimentales),
- Se vinculan con el saber hacer (formalizado, empírico, relacional),
- Están referidas al contexto profesional (entendido como la situación en que el profesional debe desempeñarse o ejercer),
- Están referidas al desempeño profesional que se pretende (entendido como la manera en que actúa un profesional técnicamente competente y socialmente comprometido),
- Permiten incorporar la ética y los valores.

El personal técnico aeronáutico capacitado en cursos avalados por la AFAC está habilitado para realizar la intervención de “sistemas electrónicos de tierra y radio ayudas” a la navegación aérea y cuenta con su acreditación de cursos para los sistemas de radar.

Se definieron en el instrumento las siguientes competencias sectoriales de los ICE en SENEAM, las cuales son derivadas de las funciones del grupo unitario 2281 del SINCO (CONOCER, 2017).

Competencias sectoriales de los ICE en SENEAM

1. Competencia para utilizar de manera efectiva las técnicas y herramientas de ingeniería para resolver fallas técnicas en equipos de comunicaciones aeronáuticas, redes de voz/datos, radionavegación aeronáutica, comunicaciones satelitales, equipos y sistemas de radar.
2. Capacidad para realizar monitoreo, evaluar y ajustar el proceso de funcionamiento en equipos de comunicaciones aeronáuticas, meteorología, redes aeronáuticas, radios ayudas, sistemas satelitales y sistemas de radar.
3. Capacidad de controlar el proceso de instalaciones de equipos de comunicaciones aeronáuticas,

antenas, redes de voz/datos, equipos de meteorología, sistemas de aeronavegación y sistemas de radar.

4. Capacidad de identificar, formular y resolver fallas de sistemas de comunicaciones, sistemas de meteorología, sistemas de monitoreo remoto.
5. Capacidad de elaborar informes y documentación con especificaciones técnicas derivadas de instalaciones, cambios y servicios generados.
6. Capacidad de incorporar la aplicación de normas oficiales y técnicas referentes a la aeronáutica.
7. Capacidad de controlar las actividades en proceso de instalaciones y demás servicios efectuados.
8. Capacidad de elaborar especificaciones, diagramas, planos para efectuar recomendaciones en los sistemas de comunicación aeronáutica.
9. Capacidad para optimizar el trabajo en equipo en coordinación con personal externo en las diversas actividades requeridas en los servicios.
10. Capacidad para gestionar y controlar procedimientos para la realización de instalaciones, mantenimientos de equipos de comunicación y redes aeronáuticas.
11. Capacidad para realizar la gestión de cotizaciones y recursos financieros para proyectos tecnológicos aeronáuticos.
12. Capacidad para desarrollar informes técnicos referentes a la operación de equipos y sistemas aeronáuticos.
13. Capacidad de desarrollar proyectos identificando las tecnologías disponibles en el mercado.
14. Capacidad de diseñar normas para el control y para el buen servicio de los sistemas.
15. Capacidad para percibir y dirigir actividades de desarrollo de sistemas.
16. Capacidad de realizar una búsqueda para la implementación de sistemas aeronáuticos.

Las competencias sectoriales fueron el resultado de la aplicación de la encuesta en el instrumento y fueron basadas en las funciones a desempeñar por los ICE, que están definidos por el SINCO grupo 2281.

Estas competencias sectoriales se obtienen a través de capacitación. Salgado Benítez (2006) las expone

como un aprovechamiento de conocimientos, principalmente de carácter técnico, científico y administrativo. En el desarrollo de los ICE del sector aeronáutico, estas se obtienen a través de los cursos que se les confieren para alcanzar los conocimientos y habilidades necesarias.

El 92 % de los ICE cree que tienen los conocimientos ineludibles para desplegar sus funciones, pero manifiestan la necesidad de retroalimentarse con más conocimientos. Los encuestados exteriorizaron, en su mayoría, que el tener una especialidad en sus funciones los va ayudar para desarrollar sus competencias sectoriales, acrecentar la destreza; asimismo, el contar con un aprendizaje más rápido y eficiente los ayudará a tener una menor pérdida de tiempo al realizar sus funciones de trabajo.

Como lo mencionó Hitt (2008), las habilidades de crecimiento surgen del análisis desde el ambiente interior. Esto significa la utilización de sus propios recursos y capacidades, que será donde se perciban las principales competencias, y donde se van a desarrollar los perfiles competitivos de las funciones de los ingenieros en comunicaciones y electrónica del sector aéreo (Klim, 1993). Chango (2014) señala que las conjeturas de Wright sobre la curva de aprendizaje era que “las horas-hombre necesarias para completar una unidad de producción, decrecerían en un porcentaje constante cada vez que la producción se doblara”. Esto implica una mayor producción por parte de un ICE cada vez que su capacitación y su adiestramiento mejoren junto con su experiencia desarrollada, sus habilidades y sus competencias sectoriales, lo que genera un beneficio para el organismo mediante una reducción en los costos de producción —como en su capacitación— al lograrse un mejoramiento de la curva de aprendizaje.

Declaración de conflicto de interés: Los autores no manifiestan conflictos de interés institucionales ni personales.

Referencias

Aca, N. (2017). *Cómo reducir la curva de aprendizaje de tus colaboradores*. Merca2.0.

- Arrow, K. J. (1962). *The Economic Implications of Learning by Doing*. EUA.
- Ballesteros P., Ballesteros, D., & Jaramillo, C. (2005). *Aplicación de la lúdica en la curva de aprendizaje*. *Scientia Et Technica*, 1(27).
- Chango, Z. (2014). *Las Curvas de Aprendizaje*. Universidad de las Fuerzas Armadas Ecuador.
- CONFEDI. (2016). *Competencias y perfil del ingeniero iberoamericano, formación de profesores y desarrollo tecnológico e innovación*. ASIBEL.
- CONOCER. (2017). *Competencias de personas y perfiles ocupacionales*. <https://conocer.gob.mx/wp-content/uploads/2017/05/MonografiasPerfilesOcupacionalesTales.pdf>
- Dessler, G., & Varela, R. (2011). *Administración de Recursos Humanos*. Pearson Prentice Hall.
- DOF. (1978). *Diario Oficial de la Federación*. DOF. <http://www.dof.gob.mx/copias.php?acc=ajaxPaginas&paginas=1-25&seccion=SEGUNDA&edicion=199171&ed=MATUTINO&fecha=25/11/1950>
- Hirschmann, W. B. (1964). *Beneficio de la curva de aprendizaje*. Harvard Business Review.
- Hitt, I. (2008). *Administración estratégica*. CENGAGE Learning.
- Hyrkäs, K., Appelqvist-Schmidlechner, K., & Oksa, L. (2003). Validating an Instrument for Clinical Supervision Using an Expert Panel. *International Journal of Nursing Studies*, 40(6), 619-625.
- INEGI. (2011). *Sistema nacional de clasificación de ocupaciones 2011 SINCO*. INEGI.
- Jacobs, R. B. (2014). *Administración de operaciones, producción y cadena de suministros*. McGraw-Hill.
- Kanawaty, G. (1995). *Introducción al estudio del trabajo*. Oficina Internacional del Trabajo Ginebra.
- Kelly, W. (1982). *Psicología de la educación* (7.ª ed.). Morata.
- Kim, D. (1993). *The Link between Individual and Organizational Learning*. MIT Solan.
- Krajenski, L. Y. (2000). *Administración de operaciones, estrategia y análisis* (5.ª ed.). Pearson.
- Lefcovich, M. (2003). *Kaizen. Mejora continua y cuadro de mando integral*. Gestipolis. <https://www.gestipolis.com/kaizen-mejora-continua-y-cuadro-de-mando-integral/>
- Martínez Gutiérrez, R. (2012). Quinta Hélice Sistemática (qhs), un modelo para el desarrollo de políticas públicas. *Cooperativismo & Desarrollo*, 20(101). <https://revistas.ucc.edu.co/index.php/co/article/view/17>
- Martínez-Gutierrez, R. (2020). Methodology of Dictionaries of Sector Competences (DCS), to Design Standards of Professional Competences, Research and Labor. In *International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics* (pp. 323-329). Springer.
- Miro, J. (2009, 11 de marzo). *Dimecres*. www.fib.upc.edu.
- Rojas, V. M. (2011). *Metodología de la investigación (Diseño y ejecución)*. Ediciones de la U.
- Salgado Benítez, J. (2006). *Administración de Recursos Humanos* (2ª ed.). Grupo Éxodo.
- Sampieri, R. (2010). *Metodología de la investigación* (4ª ed.). McGraw Hill.
- Skjong, R., & Wentworth, B. (2000). *Expert Judgement and Risk Perception*. <http://research.dnv.com/skj/Papers/SkjWen.pdf>
- Terrazas, L. A., Aldape, A., & Tarango, L. (2009). *La curva de aprendizaje como estrategia para reducción de costos*. 2º Congreso Internacional de Investigación, Chihuahua, México.
- Titone, R. (1986). *Psicodidáctica* (4.ª ed.). Narcea Ediciones.
- Willard, I., & Kantor, P. (1998). Toward a Theory of Continuous Improvement and the Learning Curve. *Management Science*, 44(7), 910-920. https://www.researchgate.net/publication/227447135_Toward_a_Theory_of_Continuous_Improvement_and_the_Learning_Curve
- Wright, T. P. (1936). Factors Affecting the Cost of Airplanes. *Journal of the Aeronautical Sciences*, 3, 122-128.
- Yelle, L. E. (1979). *La curva de aprendizaje: revisión histórica y encuesta completa*. Wiley Online Library.

El blog como un recurso educativo para el fortalecimiento del proceso lector en estudiantes sordos*

| Fecha de recibido: 21 de junio del 2021 | Fecha de aprobación: 12 de septiembre del 2021 |

Liliana Beatriz Herrera Nieves

Doctora en Ciencias de la Educación

Docente, Universidad del Atlántico
Colombia

Rol de la investigadora: teórico y escritura
<https://orcid.org/0000-0002-6578-4964>

✉ lilianaherrera@mail.uniatlantico.edu.co

Osmeris Esquea Gamero

Magíster en Educación

Docente, Universidad del Atlántico
Colombia

Rol de la investigadora: teórico y escritura
<https://orcid.org/0000-0001-9379-1953>

✉ osmerisesquea@mail.uniatlantico.edu.co

Astrid Katerine Serje Payán

Licenciada en Educación Especial

Colombia

Rol de la investigadora: experimental y escritura
<https://orcid.org/0000-0002-8657-6574>

✉ Serjekaterin@gmail.com

Carmen Alicia de la Cruz Ruiz

Licenciada en Educación Especial

Colombia

Rol de la investigadora: experimental y escritura
<https://orcid.org/0000-0002-3576-2270>

✉ carmendelacruz2096@gmail.com

Nedis Johana Barros Ballesteros

Licenciada en Educación Especial

Colombia

Rol de la investigadora: experimental y escritura
<https://orcid.org/0000-0002-5556-6525>

✉ ncjohana25@gmail.com

* Artículo de investigación desarrollado en la Universidad del Atlántico y adscrito al grupo de investigación en Tecnologías de la Información y Comunicación y Gestión del Conocimiento, Enl@ce.

Cómo citar este artículo: Herrera-Nieves, L. B., Esquea-Gamero, O., Serje-Payán, A. K., De la Cruz-Ruiz, C. A., & Barros-Ballesteros, N. J. (2021). El blog como un recurso educativo para el fortalecimiento del proceso lector en estudiantes sordos. *Ciencia y Poder Aéreo*, 16(2), 148-162. <https://doi.org/10.18667/cienciaypoderaereo.718>



El blog como un recurso educativo para el fortalecimiento del proceso lector en estudiantes sordos

Blogging as an Educational Resource for Strengthening the Reading Process by Deaf Students

O blog como recurso educacional para fortalecer o processo de leitura em alunos surdos

Resumen: El proceso lector, entendido como el desarrollo de todas aquellas actividades básicas y fundamentales para poder decodificar, inferir, interpretar y valorar los mensajes escritos, es fundamental para la comunicación. Para los estudiantes sordos se constituye en una habilidad muy importante que les permite comunicarse con sus pares oyentes y acceder al conocimiento. En el estudio se analizó el blog como recurso formativo que apoya el proceso de comprensión lectora en estudiantes sordos de grado noveno de una institución educativa distrital de Barranquilla. En el marco de un enfoque cualitativo de corte histórico hermenéutico, se contó con la participación de estudiantes sordos y docentes para realizar un diagnóstico. Los resultados demuestran las dificultades de los estudiantes sordos en cuanto a la comprensión lectora y la importancia del uso de recursos mediados por tecnologías y multimedia en la motivación y aprendizaje de la lectura. A partir de este diagnóstico se elaboró una propuesta tecnopedagógica consolidada en un blog, el cual fue valorado por jueces expertos y mediante una prueba piloto, lo que propició una versión 2.0. Se sugiere su implementación y estudios futuros.

Palabras clave: lectura; lengua de señas; sordera; tecnología educativa.

Abstract: The reading process, understood as the development of all the basic and fundamental activities to be able to decode, infer, interpret and value written messages, is essential for communication. For deaf students, reading is a very important skill that allows them to communicate with their hearing peers and access knowledge. Faced with this, the study addressed blogging as a training resource that supports the reading comprehension process in ninth-grade deaf students at a district educational institution in Barranquilla (Colombia). Framed within a qualitative approach to historical hermeneutics, a group of deaf students and their teachers participated in a diagnosis study. The results show the difficulties of these students in reading comprehension, as well as the importance of the use of resources driven by technologies and multimedia for motivating students towards reading. Based on the diagnosis, a techno-pedagogical proposal was elaborated and consolidated in a blog, which was later evaluated by expert judges and through a pilot test, leading to a 2.0 version whose implementation is suggested in future studies.

Keywords: reading; sign language; deafness; educational technology.

Resumo: O processo de leitura, entendido como o desenvolvimento de todas as atividades básicas e fundamentais para poder decodificar, inferir, interpretar e valorizar as mensagens escritas, é fundamental para a comunicação. Para alunos surdos, é uma habilidade muito importante que lhes permite se comunicar com seus colegas ouvintes e acessar o conhecimento. No estudo, o blog foi analisado como recurso formativo que subsidia o processo de compreensão leitora de alunos surdos do nono ano de uma instituição municipal de ensino de Barranquilla. No âmbito de uma abordagem qualitativa de corte histórico-hermenéutico, alunos e professores surdos participaram para a realização de um diagnóstico. Os resultados demonstram as dificuldades dos alunos surdos em termos de compreensão leitora e a importância do uso de recursos mediados por tecnologias e multimídia na motivação e aprendizagem da leitura. A partir desse diagnóstico, foi desenvolvida uma proposta técnico-pedagógica consolidada em um blog, a qual foi avaliada por juízes especialistas e por meio de um teste piloto, que resultou na versão 2.0. Sugere-se sua implantação e estudos futuros.

Palavras-chave: leitura; linguagem de sinais; surdez; tecnologia educativa.

Las competencias lingüísticas hacen parte de las exigencias en el sistema educativo colombiano. Además de ello, forman el conjunto de conocimientos que permiten la comprensión y producción de discursos correctos. Su importancia recae en que favorecen la expresión y adquisición de la información escrita, por lo tanto, las personas que tienen dificultades en la lectura y escritura no solo se ven afectadas en su rendimiento académico (Hernández-Sánchez & Santamaría-Sancho, 2016), sino también en su adaptación al ámbito sociocultural y futuro campo laboral. En el caso de las personas sordas, según Augusto y De Antoñana (2002), “la lectura no alcanza un nivel funcional antes del final del 4.º año de escolarización. El 80 % de los adolescentes sordos son analfabetos, y la fuente principal de estas dificultades es de origen lingüístico” (p. 183). Es reducido el número de estudiantes sordos que logra un nivel de lectura que les permita acceder a la universidad y, consecuentemente, a posiciones laborales y sociales que hubieran estado a su alcance de no ser por estos problemas (Alegría *et al.*, 2009). En una investigación realizada por González y Domínguez (2019), en la que se hizo un estudio de tipo comparativo entre el nivel de comprensión lectora de estudiantes sordos con y sin implante coclear, se demostró que los niveles de lectura de los niños sordos están superados a su capacidad fonológica. En ese sentido, los implantes cocleares cumplen un papel decisivo, ya que promueven mejores resultados en todas las actividades prácticas, por lo cual el rendimiento lector evidencia la condición de su capacidad fonológica. De igual manera, Mendoza y Jackson-Maldonado (2020) encontraron que existe un efecto de facilitación e interferencia al activar la lengua de señas en un estudio que tuvo como objetivo identificar si los sordos signantes activan la capacidad fonológica en la lectura de palabras escritas en español.

Las personas sordas tienen lagunas lingüísticas importantes, por lo cual presentan dificultades en el dominio de su segunda lengua, en este caso, el castellano escrito. Los principales obstáculos lingüísticos que tienen se refieren a habilidades fonológicas pobres, las cuales, en caso de que las desarrollen, lo hacen a un ritmo distinto que los lectores oyentes (Greene-Woods

& Delgado, 2020). Lo anterior obedece a sus problemas en el desarrollo lingüístico y las dificultades que han afectado su adecuado proceso cognitivo y simbólico, bases fundamentales para el desarrollo del lenguaje escrito, y cualitativamente diferente a la lengua de señas, que se constituye en su primera lengua y, por ende, la utilizan para acceder a los conceptos básicos y para comunicarse (Carrero, 2017).

Comprender la realidad de los estudiantes sordos implica reconocer la diversidad y proveer espacios educativos que admitan sus diferencias o similitudes culturales y la variación lingüística (Herrera & Calderón, 2019). Los estudiantes con discapacidad auditiva procesan la información a través de su canal visual, por lo tanto, es necesario que el docente utilice recursos visuales para la enseñanza de, principalmente, conceptos abstractos. Asimismo, se debe garantizar la comunicación mediante el uso de lengua de señas, gestos corporales, expresiones faciales y la lectura labiofacial (Al-Ibrahim, 2019). Para lograr que los estudiantes sordos progresen académicamente, deben seleccionarse las estrategias educativas adecuadas y los enfoques deben cambiar para adaptarse a las diversas necesidades de los estudiantes (Greene-Woods & Delgado, 2020).

En datos reportados por el Ministerio de Salud y Protección Social respecto a la formación educativa de la población sorda colombiana, se evidencia que el 36 % no alcanzó ningún nivel educativo, el 43 % culminó la primaria, el 16 % la secundaria y tan solo el 3 % accedió a un nivel educativo superior o universitario (INSOR, 2019). De acuerdo al Boletín Territorial del departamento del Atlántico, cerca del 41 % del total de sordos son analfabetas (INSOR, 2015). Lo anterior sugiere la importancia de reflexionar acerca del proceso de enseñanza-aprendizaje de la lectura de los estudiantes sordos; un camino que resigne las estrategias pedagógicas mediante la incorporación de elementos como la tecnología para favorecer las competencias comunicativas y la participación, progreso e inclusión en el ámbito social y laboral de las personas con discapacidad auditiva. Innovar en las prácticas educativas de estudiantes sordos significa que los docentes deben asumir un papel activo, en el que deben adecuar

la situación y contenidos de aprendizaje de acuerdo a las necesidades de los estudiantes y considerar la variación comunicativa (Herrera & Calderón, 2019).

En el contexto donde se llevó a cabo el presente estudio, se identificó que los estudiantes sordos son usuarios fluidos de Lengua de Señas Colombiana (LSC) y la utilizan como medio de comunicación en diferentes escenarios. Sin embargo, se identificaron dificultades en el proceso lector, específicamente en sus habilidades fonológicas, reconocimiento léxico, competencias gramaticales, variedad de vocabulario, capacidad de realizar cierres inferenciales y capacidades metacognitivas. La mayoría de los estudiantes sordos presentan dificultades en la decodificación de las palabras escritas por realizar lectura fragmentada, principalmente al encontrar vocabulario nuevo (Martínez, 2021). Por lo anterior, la investigación centra su objeto de estudio a través de la siguiente pregunta: ¿qué tipo de recursos educativos fortalecen el proceso lector en los estudiantes sordos?

Dentro de la problemática observada en este estudio hay un factor a considerar: la extraedad, entendida como el desfase entre la edad del estudiante y el grado académico (MEN, s. f.). Esto se evidencia al encontrar estudiantes del grado noveno con edades entre los 17 y los 40 años, muy por encima de la edad establecida para ese grado escolar. La extraedad puede asociarse con el ingreso tardío al sistema educativo, la deserción escolar, los cambios de domicilio, la precaria situación económica de las familias, el desplazamiento forzado, la violencia, la dispersión de la población, el trabajo infantil e, incluso, la no detección oportuna de la discapacidad auditiva.

Esta investigación se fundamenta en el modelo de Educación Bilingüe Bicultural para sordos (E.B.B.S.); además, reconoce a la LSC como su primera lengua, y tiene en cuenta la importancia del conocimiento y contacto con su segunda lengua, el castellano escrito. Asimismo, se apoya en las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC), al ser reconocidas como recursos que se emplean en el ámbito pedagógico y pueden cumplir un papel indispensable para mejorar el proceso lector en estudiantes sordos. Lo anterior, considerando que la información presentada es flexible y

se adapta a las necesidades de las personas. Según Zappalá y Suchodolski (2011), el desarrollo de proyectos que incorporen la tecnología facilita los procesos de enseñanza y de aprendizaje, y desarrollan capacidades y competencias al atender a la diversidad y a las características propias de los aprendices, pues propician la motivación para el logro de aprendizajes significativos.

Las herramientas tecnológicas mediadas por la internet facilitan la educación en todos los niveles de formación (García-Chitiva, 2020). La incorporación de las tecnologías ha cambiado la forma en la que los estudiantes acceden a la escritura y la lectura por la motivación que su uso genera (Hernández-Sánchez & Santamarina-Sancho, 2016). Por lo anterior, la investigación basada en tecnología educativa puede dar respuesta a las necesidades educativas al recurrir a teorías y modelos basados en innovación e investigación (De Benito & Salinas, 2016). Según Duque (2016), la incorporación de estrategias didácticas mediadas por tecnología puede favorecer la comprensión lectora en estudiantes con discapacidad auditiva. A partir de su experiencia, Duque diseñó un aula asistiva como una herramienta pedagógica que incluye el uso de objetos virtuales de aprendizaje (OVA), los cuales responden a las necesidades de la población sorda al mejorar los niveles de comprensión lectora y fomentar el interés por la lectura, lo que favorece, a su vez, la educación inclusiva.

La tecnología ofrece una amplia gama de opciones que pueden incorporarse en el ámbito educativo, dependiendo de las necesidades de los estudiantes, sus intereses, estilos de aprendizaje y propósitos educativos. Tanto las tecnologías de apoyo como las aplicaciones en línea son útiles para las personas con discapacidad, ya que facilitan su independencia, autonomía y aprendizaje (Bravou & Drigas, 2019); así, para el presente estudio se ha seleccionado el blog. Jou (2009) define el blog como una bitácora que favorece la interacción entre usuarios, en el cual se pueden incorporar elementos de multimedia, lo que permite diversas opciones para presentar los contenidos adaptándose a los distintos estilos de aprendizaje. Estas aplicaciones web son medios para el aprendizaje de la cultura y el intercambio intercultural; espacios de

alfabetización que favorecen el desarrollo de la identidad y autonomía del estudiante (Reinhardt, 2019). Según Mutia *et al.* (2020), los medios de aprendizaje basados en un blog atraen el interés de los estudiantes por encima de los medios convencionales.

Los blogs educativos, también llamados *edublogs*, rompen barreras espaciales del contexto educativo tradicional, al generar entornos de aprendizaje que facilitan la interacción y el trabajo colaborativo (Lizandra *et al.*, 2016). Asimismo, permiten la utilización de recursos multimedia, como el video, la imagen, la animación, entre otros. Estos medios digitales son versátiles, permiten ser transformados y pueden favorecer la comprensión lectora, al ofrecer al estudiante múltiples formas para interactuar con el contenido.

La aplicación de la tecnología en el ámbito de la educación es muy importante para mejorar la calidad y fomentar la justicia social en el ámbito educativo (Chairuddin, 2019), por lo tanto, es innegable la necesidad de aumentar la alfabetización digital y el uso de estrategias mediadas por tecnologías (Samani *et al.*, 2020). Para el caso particular de la población sorda, la información se presenta haciendo énfasis en el canal visual, y se puede acompañar de contenidos en su lengua materna, es decir, la LSC. El blog puede convertirse en un recurso que en el ámbito educativo propicia el interés en el alumno debido a las aplicaciones que permite utilizar, su carácter interactivo y la presentación de la información acorde con el canal de aprendizaje preferente de la población del estudio (Mutia *et al.*, 2020). Se destaca el uso del canal visual (imágenes, animaciones, videos, etc.), debido a esto, puede ser un medio apropiado para iniciar, enseñar y fortalecer el aprendizaje del castellano escrito en sordos. Es el estudiante quien decide cuáles son las actividades de mayor interés; además, puede ajustarlas a su tiempo de forma flexible. Para acceder al recurso solo requiere conexión a Internet y puede hacerlo desde un dispositivo móvil o computador. Lo anterior contribuye a que los estudiantes sean lectores autónomos y activos, que acceden al blog de manera ubicua, promoviendo habilidades cognitivas como la reflexión, análisis, deducción e inferencia, al favorecer la accesibilidad al conocimiento, su autonomía y metacognición. Un blog

educativo integrado a un sistema de enseñanza optimiza el proceso y favorece las competencias comunicativas y tecnológicas (Prykhodko *et al.*, 2019). Es así como el blog como recurso educativo favorece el intercambio de ideas y la redacción de textos. Igualmente, es un sitio web de fácil acceso, gratuito, sencillo de gestionar, crear y, a diferencia de la página web, propicia una mayor interacción entre los participantes.

Método

La ruta metodológica se enmarca en el paradigma histórico hermenéutico, que parte de la realidad para describir e interpretar el contexto social; se focaliza en las problemáticas que presentan los estudiantes sordos. Al respecto, Capocasale (2015) expresa que el interés se centra en concebir y analizar la realidad construida por los sujetos. De esta manera, bajo el enfoque cualitativo, se planteó el derrotero investigativo orientado, básicamente, en conocer los procesos lectores de nueve estudiantes sordos de noveno grado con extraedad (17-40 años) de una institución educativa distrital en la modalidad de validación. El contexto de investigación es una institución educativa pionera en bilingüismo para la población sorda en el departamento del Atlántico, al norte de Colombia, la cual implementa capacitaciones a docentes, directivos y padres de familia en LSC y cuenta con un amplio equipo interdisciplinario que incluye intérpretes y modelos lingüísticos (Clavijo, 2018).

Desde una perspectiva holística se desarrolló el acercamiento al objeto investigado, atendiendo los factores que confluyen ante el mismo, el desarrollo de los sujetos en su contexto natural y las interacciones que median en los procesos. Es así como los criterios para la recolección de la información privilegiaron el conocimiento del nivel del proceso lector de los participantes, las interacciones entre docente y estudiante, y las mediaciones que hay, como las metodologías, las estrategias de enseñanza y los recursos educativos. De esta manera, se optó por las siguientes técnicas e instrumentos de recolección de información,

en coherencia con los objetivos planteados en este trabajo investigativo.

- Observación participante: técnica más adecuada para conocer “el hacer” de los sujetos sobre los cuales se investiga (Alonso, 1995). Se proyectó a las metodologías de enseñanza y estrategias pedagógicas que utilizan los docentes para promover el interés por la lectura en los estudiantes sordos. Asimismo, se referencian otros factores que convergen en la comprensión y motivación por la lectura.
- Diario de campo: herramienta indispensable para el registro de la información producto de la observación. Así lo precisa Gurdíán (2007): “un registro detallado, preciso y completo de acontecimientos y acciones.” (p. 192). Este instrumento permitió tener una visión más precisa sobre las características del grupo y sus interacciones.
- Entrevista estructurada: técnica que permite conocer el objeto investigado desde la perspectiva de estos —opiniones, creencias y percepciones— a través de cuestionarios estructurados, con preguntas, secuencias y formulaciones predefinidas. Fueron orientadas a docentes y estudiantes sobre aspectos como los hábitos lectores, las estrategias de enseñanza y el uso de recursos educativos tecnológicos. Este último aspecto se centró principalmente en el uso del blog en el aula de clase y las posibilidades que ofrece en el proceso lector en personas que presentan algún tipo de discapacidad auditiva.
- Formato de entrevista: formulario de preguntas estructurado a partir de las categorías de investigación, que busca registrar información acerca de las concepciones y percepciones sobre las estrategias de enseñanzas, el proceso lector en estudiantes sordos y el uso de recursos tecnológicos. Se siguieron las recomendaciones de formular preguntas de lo general a lo particular, y de establecer un tipo de relaciones entre las mismas (Piza *et al.*, 2019).
- Prueba de comprensión lectora: esta técnica permitió recolectar información específica del grado

de dominio de la lectura que tienen los participantes. Este hallazgo permite ofrecer orientaciones sobre los procesos de enseñanza en la lectura. El instrumento utilizado en este estudio es el test de complejidad lingüística progresiva.

- Test CLP (complejidad lingüística progresiva): es un instrumento estandarizado diseñado por Alliende *et al.* (2004), el cual sirve para medir la capacidad de lectura y corresponde a los 8 niveles de educación o iniciación a la lectura. Utiliza textos elaborados especialmente para la prueba, controlando los aspectos semánticos, sintácticos y pragmáticos.

Posteriormente, para el análisis de la información, se desarrolló un proceso de triangulación, método que ofrece una mayor comprensión del objeto de estudio a través del uso de múltiples técnicas y de datos (Denzin, 1970). De esta manera, se procedió a la sistematización en unidades de análisis, para luego establecer un sistema de relaciones que permitió la categorización en agrupaciones que daban cuenta de los principales hallazgos en relación con el dominio de la primera lengua y la apropiación de la segunda lengua, es decir, el español escrito, con los procesos de aprendizaje de los participantes y los recursos educativos para desarrollar el proceso lector, tal y como se aprecia en la figura 1.

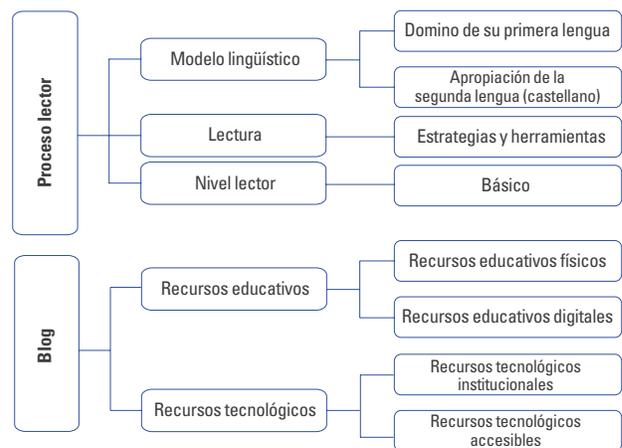


Figura 1. Categorización básica
Fuente: elaboración propia.

Posteriormente, se dio paso a la estructuración mediante el desarrollo de la integración sistemática de las categorías, de acuerdo a los objetivos de investigación, para continuar con la contrastación que permite relacionar categorías o estructuras por semejanza o diferencia. Este proceso permitió el hallazgo de principios que, al relacionarse con los fundamentos teóricos, se convierten en los resultados presentados a continuación.

Resultados

Los resultados de la investigación se presentan inductivamente a partir del análisis individual de la información obtenida de las técnicas aplicadas. Luego se exponen los hallazgos globales, estructurados a partir de las categorías de base y emergentes. Más adelante, organizados en tres apartados, se muestran los resultados obtenidos durante el estudio, los cuales fueron considerados para la elaboración de una propuesta pedagógica pertinente y acorde con las necesidades identificadas.

Observación registrada mediante diario de campo

En la observación realizada durante las sesiones académicas llevadas a cabo por los docentes, se evidenció la existencia de una buena relación entre estos y los estudiantes sordos, pues cuentan con un clima de confianza; aunque en cierta medida, esta relación se ve limitada por el básico conocimiento que tienen los docentes de la LSC. Por otra parte, con respecto a la relación entre los alumnos sordos y oyentes, esta es adecuada: no existe segregación social de ninguna de las partes. Para el desarrollo de las actividades académicas, se cuenta con el servicio de interpretación en LSC, lo cual facilita la comunicación entre oyentes y sordos. El grupo se compone de 14 estudiantes: 5 estudiantes oyentes sin ninguna discapacidad asociada, y 9 estudiantes con discapacidad auditiva que tienen una

edad comprendida entre los 17 y 40 años. Esto pone en evidencia que dentro del aula de clase hay más estudiantes con discapacidad auditiva que sin ninguna discapacidad, por lo que este grupo es muy significativo para abordar la problemática de los procesos lectores en los estudiantes sordos.

En cuanto a los estudiantes sordos, el dominio que tienen de su primera lengua es óptimo y manejan un amplio vocabulario en LSC; pero al referirse a su segunda lengua (el castellano escrito), su conocimiento es escaso, por lo que manejan un pobre vocabulario y se les dificulta entender oraciones complejas y el lenguaje figurativo, lo que disminuye su motivación frente a la lectura. Una de las estrategias que utilizan los docentes consiste en entregar material escrito para su lectura, el cual se acompaña posteriormente de un debate y formulación de preguntas sobre el texto. De igual forma, se observó que los docentes no promueven en los estudiantes sordos la lectura independiente, lo que se ve demostrado en la necesidad que tienen de que la lectura sea interpretada y en cierta manera explicada en LSC; como consecuencia, no se promueve la autonomía. Por último, no se evidenció el uso de herramientas tecnológicas que promuevan o incentiven los procesos académicos en los estudiantes, es decir, que no se había considerado el blog como una opción para el trabajo de comprensión lectora.

Entrevista estructurada

Las entrevistas fueron aplicadas a docentes y estudiantes de la institución educativa objeto de estudio. La entrevista dirigida a docentes evidenció que entre las adaptaciones curriculares más importantes se encuentran la comunicación (intérprete de LSC en el aula de clase), el acceso al currículo (la revisión y modificación de los elementos de la planificación, gestión y de evaluación que integra el currículo) y el acceso físico (buena iluminación en el aula de clase y ubicación preferencial del alumno). Se puede apreciar que las adaptaciones que los docentes consideran que más emplean son la de la comunicación (manifestada por dos docentes), seguida por la de currículo y

físico (manifestada por una persona), por lo que dentro de la institución no existen barreras de comunicación, ya que se cuenta con un cuerpo de intérpretes con idoneidad que facilitan la comunicación de los oyentes con los estudiantes con discapacidad auditiva, así como el acceso a la información. Con expresiones como la siguiente, los profesores afirmaron que utilizan como recurso pedagógico materiales escritos y lo acompañan de recursos visuales:

D1: “Para mí es importante presentar los textos acompañados de imágenes, de esta forma puedo ayudarlo [al estudiante] a apoyarse en estas para mejorar su comprensión lectora”.

En cuanto al uso de la tecnología, ninguno de los docentes manifestó emplear la tecnología como recurso pedagógico, a pesar de conocer la importancia y accesibilidad que les brindaría para atender a todas las necesidades de la población educativa, más aún, teniendo en cuenta que la institución cuenta con un aula de informática bien equipada con computadores portátiles en buen estado y con acceso a internet:

D2: “Sí tenemos un salón de informática, sin embargo, por problemas de logística lo usamos poco en otras clases diferentes a las de tecnología, pero ocasionalmente se les proyectan películas y videos”.

Con respecto a las estrategias que utilizan los docentes para promover hábitos lectores en los estudiantes sordos, estos aseguraron que utilizan como estrategias recordar información esencial y subrayar ideas principales, así como estrategias para construir imágenes a partir de lo leído y establecer una relación entre lo que saben y no saben. Dentro de los tipos de texto más utilizados se encuentran los académicos, cuentos y fábulas. Todos los docentes manifestaron tener el objetivo de promover el interés por la lectura y generar hábitos lectores en los estudiantes.

D3: “Nuestros estudiantes necesitan mejorar su lectura y escritura; ese es un elemento clave para su comunicación con oyentes y para comprender gran parte de la información que reciben del medio”.

Por su parte, los estudiantes sordos entrevistados consideraron que los hábitos lectores son útiles en todos los ámbitos de su vida cotidiana; además,

manifestaron un posible interés por aprender y apropiarse de su segunda lengua. Asimismo, declararon leer por placer; sin embargo, ocasionalmente lo hacen por obligación para cumplir con alguna actividad académica o una necesidad.

E1: “A mí me gusta leer, pero me cuesta trabajo, sobre todo cuando el tema del libro no me parece interesante”.

Es importante mencionar que los estudiantes expresaron que les interesan diversos tipos de textos, tales como textos de ficción y novelas, y, en menor proporción, textos de terror.

Test de complejidad lingüística progresiva CLP

La prueba fue aplicada con el apoyo del servicio de interpretación, con el fin de dar las instrucciones a los estudiantes. A pesar de que el *test* sugiere la presentación de ocho niveles, los estudiantes solo desarrollaron los tres primeros ítems, debido a que se presentaron dificultades reiteradas y fue necesario suspender.

En el primer nivel de esta prueba se comprueba el dominio inicial de la lectura en cuanto a palabras y oraciones simples. En el segundo nivel se evidencia el dominio de la comprensión de oraciones y, finalmente, en el tercer nivel se examina el dominio de la comprensión de párrafos a nivel de textos simples. Con respecto al rendimiento de los estudiantes en las tres pruebas aplicadas, se encontró que, en la primera prueba —que fue en la que mejor rendimiento tuvo el grupo de referencia—, se evidenció un dominio inicial de la lectura al punto de reconocer y asociar palabras y oraciones simples con su correspondiente significado. En la segunda prueba, hubo un rendimiento óptimo en el dominio de la comprensión de oraciones y reconocimiento de las afirmaciones de un texto simple. En la tercera prueba, se reflejó un bajo desempeño por dificultades en la comprensión de párrafos en textos simples, lo que quiere decir que a los estudiantes se les dificultó realizar inferencias de un texto y seguir instrucciones.

Hallazgos globales

El dominio de la primera lengua que tienen los estudiantes es óptimo, y se demuestra en el manejo de un amplio vocabulario en LSC. Se logró establecer que uno de los factores que contribuye a esto es la labor de los modelos lingüísticos que se encuentran en la institución. Los modelos lingüísticos, como usuarios nativos de LSC, promueven la adquisición y uso social de la LSC en aprendices sordos y oyentes, lo que permite el acercamiento a la cultura sorda. No sucede lo mismo con el proceso de apropiación de la segunda lengua (el español escrito). Se evidencia una mínima cantidad de vocabulario y un alto grado de dificultad para la comprensión de oraciones complejas y el lenguaje figurativo.

En relación con la lectura en los procesos de aprendizaje, tanto docentes como estudiantes sordos lo consideran fundamental. A pesar de esto, los docentes centran sus actividades para el desarrollo del proceso lector por medio de lecturas en clases, subrayar ideas principales, formulación de preguntas literales y debates, por lo cual no se promueve la lectura independiente. Es así como la mayoría de los participantes de esta investigación se encuentran en un primer nivel lector; en un dominio inicial de la lectura, solo reconocen y asocian las palabras y oraciones simples con su correspondiente significado, a la vez que tienen dificultad en la comprensión de párrafos en textos simples.

Al respecto de los recursos educativos, se privilegia el uso de material escrito de lectura, más que de recursos digitales o tecnológicos, a pesar de que la institución cuenta con diversos recursos tecnológicos —sala de informática, portátiles y conectividad—, y con docentes con conocimiento y manejo de estos. Esta situación se convierte en un factor clave para la desmotivación y desinterés por la lectura que presentan los participantes de este estudio.

Los resultados muestran la necesidad de una propuesta de intervención educativa que pueda mejorar el desempeño en la lectura y generar motivación en el proceso lector de los participantes, así como el aprovechamiento de los recursos y el talento del personal con que cuenta la institución educativa.

Propuesta pedagógica: blog “Un mundo lleno de letras”

De acuerdo a los resultados obtenidos, y siguiendo experiencias como la de Herrera y Calderón (2019) y Duque (2016), se diseñó una propuesta pedagógica mediada por el blog como recurso educativo, teniendo en cuenta actividades y estrategias que consideran las características de estudiantes con discapacidad auditiva como aprendices visuales de una segunda lengua. Entre esas estrategias está realizar preguntas de inferencia, explicar las diferencias gramaticales de ambas lenguas —es decir, la LSC y el castellano escrito—, vincular imagen-seña-palabra, la lectura de palabras y pseudopalabras, la narración en LSC, asociar palabra-seña-dactilología, conectar información entre oraciones y párrafos (Duque, 2016; Herrera & Calderón, 2019) y el apoyo en textos interpretados en videos con LSC. Estas actividades propuestas en el blog tienen como finalidad propiciar herramientas y estrategias que pueden ser utilizadas por los docentes que deseen dar continuidad al trabajo realizado en este sitio web. Las actividades plasmadas no fueron aplicadas a toda la población objeto de estudio, sino validadas a través de jueces expertos y pilotajes a dos estudiantes sordos con la misma edad de la población objeto de estudio.

Las habilidades y el interés por la lectura se desarrollan en ambientes pedagógicos estimulantes que incentiven al alumno a demostrar destrezas lectoras y capacidades cognitivas. Con base en los resultados hallados, para fomentar hábitos lectores en los estudiantes sordos se requieren espacios y materiales didácticos de carácter visual (apoyado en otros formatos multimedia) que brinden la oportunidad de enfrentarse a un texto escrito. Dentro de los aspectos que llevaron a la construcción del blog como recurso educativo, se consideró presentar material visual accesible como videos e imágenes en LSC, seleccionando su contenido de acuerdo a los intereses de los estudiantes sordos, principalmente en referencia a los tipos de textos y lecturas a trabajar.

El blog es un recurso educativo óptimo que puede adaptarse a las necesidades académicas de la

población de estudiantes con discapacidad auditiva y que permite un acercamiento al mundo de la lectura. Esta aplicación web fue seleccionada considerando su carácter interactivo, lo que la diferencia de una página web. En un blog educativo, la comunicación entre docente y estudiante puede darse por aplicaciones integradas mediante *gadgets* y comentarios (Prykhodko, 2019). Para el diseño del blog se tuvieron en cuenta contenido, diseño original, comodidad de navegación por pestañas y menús, interactividad y retroalimentación (Kazhan *et al.*, 2020), así como aspectos relacionados con la accesibilidad y alternativas visuales en LSC.

El blog se dividió en secciones de acuerdo a su nivel de complejidad. Cada sección cuenta con actividades que tienen como propósito fortalecer e incentivar destrezas lectoras en los estudiantes sordos, al igual que brindar una experiencia pedagógica más interactiva con explicaciones e instrucciones en LSC (véase figura 2).



Figura 2. Blog "Un mundo lleno de letras"

Fuente: blog "Un mundo lleno de letras".

Se diseñaron e insertaron actividades realizadas desde sitios web como Educaplay, videos, hipervínculos y documentos en PDF, imágenes y presentaciones en diapositivas (véase figura 3). Es importante mencionar que Educaplay es una plataforma para crear contenidos y actividades multimedia que ha sido utilizada para desarrollar planes de intervención en estudiantes con necesidades de apoyo educativo. Su carácter

interactivo favorece la participación de los estudiantes y la generación de entornos de enseñanza flexibles (Salazar *et al.*, 2019).

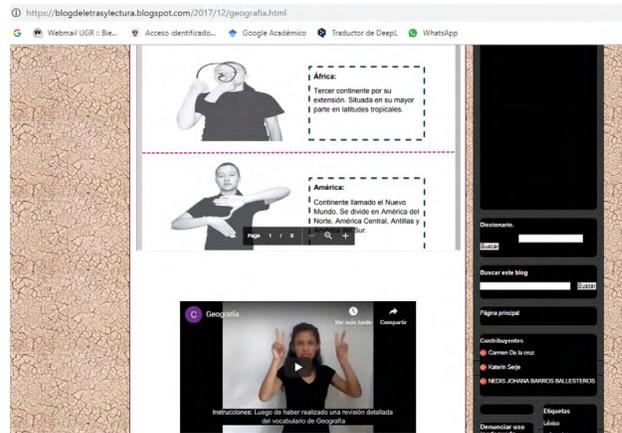


Figura 3. Diferentes recursos del blog

Fuente: blog "Un mundo lleno de letras".

Estos recursos educativos tecnológicos son indispensables para crear un ambiente de aprendizaje más dinámico e interactivo, en el cual el estudiante se divierte aprendiendo y pueda fortalecer los procesos lectores que se han visto obstaculizados por el poco conocimiento de su segunda lengua y sus escasos hábitos lectores. El estudiante puede trabajar de forma autónoma o con apoyo de un intérprete, docente y modelo lingüístico que lo oriente en el desarrollo de los ejercicios de lectura implementados en este sitio web, teniendo en cuenta que la herramienta Educaplay es un aporte valioso para los estudiantes que presentan dificultades en el desarrollo de sus habilidades comunicativas lectoras (Páez & Mercado, 2021).

Para su diseño, se consideraron los criterios de navegación, contenido, diseño tecnopedagógico y multimedia. El blog "Un mundo lleno de letras" es un espacio educativo que tiene como objetivo apoyar los procesos lectores en estudiantes con discapacidad auditiva en extraedad, diseñado de tal manera que sea fácil de utilizar y que, a través de sus contenidos apoyados con videos en LSC e imágenes, puedan ser comprendidos por la población a la que va dirigido, favoreciendo de esta forma la educación inclusiva. Esta herramienta o recurso educativo favorece la

educación inclusiva de estudiantes con discapacidad auditiva; además, genera un elemento de motivación e interés por la lectura. El material pedagógico encontrado en el *edublog* puede ser utilizado por la comunidad en general, ya que se dispuso como un recurso educativo abierto.

La propuesta educativa se sometió a validación por tres jueces expertos. Este es un método de validación útil para verificar la fiabilidad de una investigación, instrumento o, en este caso, propuesta pedagógica. Según Escobar-Pérez y Cuervo-Martínez (2008), una validación por jueces expertos es una opinión informada de personas con trayectoria en el tema, quienes pueden emitir opiniones, juicios y valoraciones. Para el caso particular del presente estudio, se contó con la participación de dos magísteres con experiencia en el modelo bilingüe bicultural para sordos, uno de ellos intérprete de LSC, así como un modelo lingüístico con formación y experiencia en el sector educativo. Los resultados revelaron que los criterios de alcance pedagógico, relación del contenido, efectividad, comunicación, navegación, gráfica y multimedia fueron valoradas con un promedio de 4 en una escala de 0-5.

De acuerdo a la prueba piloto realizada, se observaron resultados positivos sobre los criterios de evaluación establecidos: “navegación”, “contenido” y “diseño y multimedia”. Esto puede interpretarse como una experiencia satisfactoria que logra alcanzar los objetivos propuestos; los estudiantes no presentaron dificultad al momento de interactuar con el blog y su contenido, sin embargo, se sugirió suministrar más apoyos visuales como imágenes y videos adaptados en lengua de señas para una mayor comprensión del contenido de la página web. Luego de la valoración por jueces y prueba piloto se analizaron las sugerencias de mejora, las cuales fueron tenidas en cuenta como una versión 2.0 del blog. Es importante mencionar que el blog fue puesto a disposición de la comunidad educativa objeto de estudio y su cuerpo administrativo y docente, con el fin de que este sea implementado y se valore su aplicación, determinando las posibles mejoras e impacto que su uso pueda generar en las habilidades lectoras de los estudiantes.

Discusión

Las dificultades en la comprensión lectora pueden generar consecuencias en el acceso a las experiencias de la vida cotidiana, así como limitaciones de grado variable en el desarrollo cognitivo (Carrero, 2017). Al ser la comprensión lectora una reinterpretación significativa y personal de los textos escritos, se justifica en la medida que el lector es capaz de darle sentido a los significados (Almeida, 2012). Así, este proceso es fundamental para la inclusión educativa y social.

A partir de la problemática planteada sobre las dificultades que presentan los estudiantes sordos en cuanto a la comprensión de texto, se diseñó un blog como recurso educativo para fortalecer el proceso lector, siendo este de vital importancia para darle a conocer a los docentes cómo su utilización puede favorecer el desarrollo y mejora de la lectura y habilidades cognitivas en los estudiantes. Arnaiz y Azorín (2012) afirman que los blogs y su versión educativa, los *edublog*, evolucionan hacia un aprendizaje activo que ressignifica la forma de aprender. Una enseñanza adecuada debe tener en cuenta recursos educativos que sean innovadores y motivadores, que valoren el ritmo de aprendizaje de los estudiantes, sus intereses y necesidades, lo cual puede favorecer el desarrollo de sus potenciales y capacidades, más aún si permite la incorporación de múltiples formatos, como lo son el texto, video, animación e imágenes. Incorporar recursos visuales proporciona un aprendizaje mejor y permanente en comparación con el uso exclusivo de la instrucción en lengua de señas, si se considera que los estudiantes aprenden y recuerdan mejor cuando se les presentan nuevos elementos de vocabulario (Gülengül-Birinci & Sariçoban, 2021).

La visualidad y gestualidad de la LSC son elementos constitutivos del bilingüismo e identidad de sordos, por lo tanto, son fundamentales para su desarrollo socioafectivo y académico (Herrera & Calderón, 2019). El objetivo de los blogs educativos es apoyar el proceso de enseñanza-aprendizaje en un contexto educativo; su potencial revoluciona la estructura tradicional de la enseñanza, y su carácter gratuito facilita su

integración (Lara, 2005; Marcos *et al.*, 2013; Lizandra *et al.*, 2016). Los blogs han mediado espacios de comunicación, por medio de los cuales los sordos expresan sus emociones, entre ellas lo que les genera la problemática de accesibilidad de los contenidos digitales y las reclamaciones sobre el reconocimiento de su lengua materna (Castillo *et al.*, 2019).

Atender a la diversidad y variación lingüística de estudiantes sordos es considerar el desarrollo de propuestas pedagógicas flexibles que partan de sus necesidades e intereses, al mismo tiempo que propongan formas de diseño, desarrollo y seguimiento de las actividades que fomenten la implicación y motivación de aquellos (Carrero, 2017). Las estrategias pedagógicas utilizadas por los docentes pueden ser tradicionales, reproduciendo modelos y didácticas que se emplean con estudiantes oyentes, por lo tanto, es necesaria la cualificación del profesorado para afrontar las demandas del proceso educativo de los sordos (Herrera & Calderón, 2019; Güleüngül-Birinci & Sariçoban, 2021)

El blog como recurso educativo contribuye al desarrollo de las capacidades y habilidades en las personas; además, es una herramienta que despierta interés en los estudiantes sordos, debido a que la información que se muestra es de carácter visual y favorece la comprensión de la información que se presenta en su segunda lengua —apoyada a la par en su lengua materna—, fomentando el desarrollo de las competencias lingüísticas. Se tuvo en cuenta el componente lector, enfocado en promover la motivación por la lectura en el estudiante, comprender la estructura de un texto y abstracción de ideas principales y palabras clave, las cuales son importantes para una adecuada lectura (Alegria *et al.*, 2009), así como la estimulación de conocimientos previos (Martínez, 2021). Se aprovecharon plataformas tipo herramientas de autor, las cuales permiten la incorporación de elementos de gamificación, como por ejemplo actividades interactivas desarrolladas en la plataforma Educaplay, la cual ha sido empleada para trabajar con estudiantes con necesidades específicas de apoyo educativo (Salazar *et al.*, 2019). Lo que se pretendió con la elaboración de este proyecto es que los estudiantes sordos tuviesen suficiente motivación por la lectura, hacer de ellos lectores habituales

y mejorar su nivel de competencias lectoras, al ser estas necesarias para interactuar con información escrita y comunicarse con personas oyentes, uno de los reajustes sociales que requieren los sordos usuarios de lengua de señas para ser incluidos es la innovación en las prácticas pedagógicas desde el bilingüismo y la interculturalidad (Herrera & Calderón, 2019).

Conclusiones y recomendaciones

En el caso de estudiantes sordos y en condición de extraedad, es importante reconocer el doble riesgo de exclusión latente; por ello, es fundamental favorecer condiciones académicas particulares y fomentar su participación activa (Carrero, 2017). En ese orden de ideas, es necesario identificar las necesidades que presentan en cuanto a la comprensión lectora, y diseñar estrategias pedagógicas que involucren el uso de la LSC. Las habilidades y el interés por la lectura se dan cuando existen ambientes pedagógicos estimulantes que incentiven al estudiante a desarrollar destrezas lectoras y capacidades cognitivas. Por lo anterior, es muy importante brindar todas las herramientas y recursos educativos necesarios que estimulen el desarrollo de habilidades lectoras.

Con base en los resultados hallados, para fomentar hábitos lectores en los estudiantes sordos se requieren espacios y materiales didácticos en diferentes formatos, y el blog se convierte un recurso educativo óptimo que se adapta a las necesidades académicas de la población de estudiantes con discapacidad auditiva, ya que permite un acercamiento al mundo de la lectura por medio del uso de materiales multimedia.

Según Jou (2009), el blog es un recurso educativo que posibilita crear materiales pedagógicos a través de presentaciones en multimedia. Los recursos tecnológicos son herramientas que, si se implementan adecuadamente, se adaptan al estilo de aprendizaje de los estudiantes con discapacidad auditiva a través de recursos digitales y pueden ser ideales para fortalecer el aprendizaje del castellano escrito. Este estudio hace énfasis en la incorporación de recursos educativos

tecnológicos para estimular el proceso lector en los estudiantes sordos. Se llega a la conclusión de que el uso de las TIC en el aula de clase es importante para crear ambientes pedagógicos incluyentes que valoren los estilos y ritmos de aprendizaje propios de los estudiantes con discapacidad auditiva.

Se recomienda a los docentes optimizar las adaptaciones educativas manejadas durante las actividades con estudiantes que presentan discapacidad auditiva, implementando en todas estas actividades un apoyo visual —incluyendo el uso de la tecnología educativa que favorezca la presentación de la información— y considerando la importancia de este sentido como apoyo en la educación de los estudiantes. Es importante familiarizar a los estudiantes con múltiples formatos para generar un hábito lector y una apropiación por la lectura.

Teniendo en cuenta que es importante validar la propuesta pedagógica con el uso y aplicación, se recomienda utilizar el blog como recurso tecnológico y pedagógico con estudiantes sordos, al igual que el aprovechamiento de las actividades propuestas, las cuales tienen apoyos de videos en LSC, textos adaptados con palabras clave que manejan un vínculo guiado hacia la seña que le corresponde o un sinónimo que permita el aprendizaje de palabras nuevas. Todo lo anterior estimulará el proceso lector.

Declaración de conflicto de interés: Los autores no manifiestan conflictos de interés institucionales ni personales.

Referencias

- Al-Ibrahim, A. (2019). Deaf and Hard of Hearing Students' Perceptions of the Flipped Classroom Strategy in an Undergraduate Education Course. *European Journal of Educational Research*, 8(1), 325-336. <https://doi.org/10.12973/eu-jer.8.1.325>
- Alegría, J., Domínguez, A., & Van der Straten, P. (2009). ¿Cómo leen los sordos adultos? La estrategia de palabras clave. *Revista de Logopedia, Foniatría y Audiología*, 29(3), 195-206. [https://doi.org/10.1016/S0214-4603\(09\)70028-2](https://doi.org/10.1016/S0214-4603(09)70028-2)
- Almeida, A. (2012). La evaluación de la comprensión lectora como práctica docente. *Ciencia y Poder Aéreo*, 7(1), 68-73. <https://doi.org/10.18667/cienciaypoderaereo.22>
- Alliende, F., Condemarín, M., & Milicic, N. (2004). *Prueba CLP formas paralelas. Manual para la aplicación de la prueba de comprensión lectora de complejidad lingüística progresiva: 8 niveles de lectura*. Ediciones Universidad Católica de Chile.
- Alonso, L. E. (1995). "Sujeto y discurso: el lugar de la entrevista en las prácticas de la sociología cualitativa". En J. M. Delgado & J. Gutiérrez (Coords.), *Métodos y técnicas cualitativas de investigación en ciencias sociales*. Síntesis.
- Arnaiz, P., & Azorín, C. (2012). El edublog como herramienta de aprendizaje para todos en el entorno virtual. *Didáctica, innovación y multimedia*, (24), 1-12. <https://raco.cat/index.php/DIM/article/view/269826>
- Augusto, J., & De Antoñana, R. (2002). La lectura en los niños sordos: el papel de la codificación fonológica. *Anales de psicología*, 18(1), 183-195. <https://revistas.um.es/analesps/article/view/28691>
- Bravou, V., & Drigas, A. (2019). A Contemporary View on Online and Web Tools for Students with Sensory & Learning Disabilities. *International Journal of Online and Biomedical Engineering*, 15(12), 97-105. <https://doi.org/10.3991/ijoe.v15i12.10833>
- Capocasale, A. (2015). ¿Cuáles son las bases epistemológicas de la investigación educativa? En L. Abero, L. Berardi, A. Capocasale, S. García, R. Rojas & O. Barboza (Eds.), *Investigación educativa. Abriendo puertas al conocimiento* (pp. 32-47). CLACSO.
- Carrero, F. (2017). La comprensión lectora en el alumnado sordo desde la perspectiva de la Escuela Inclusiva. *International Journal of Educational Research and Innovation (IJERI)*, 8, 200-219. <https://www.upo.es/revistas/index.php/IJERI/article/view/2360>
- Castillo, A., Sánchez-Gómez, M., & Costa, A. (2019). Autodeterminación, emociones y exclusión en un blog de personas sordas: mirada cualitativa. *Revista Brasileira de Enfermagem*, 72(4), 1.094-1.101. <http://dx.doi.org/10.1590/0034-7167-2018-0573>
- Chairuddin, C. (2019). E-Learning (Edublogs) Social Media Based: Its Implementation in Teaching Learning at Islamic Senior High School Bangkalan. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Khatulistiwa*, 2(2), 46-50. <https://doi.org/10.31932/jpkm.v2i2.543>

- Clavijo, J. (2018). Política pública colombiana para la educación de niños sordos. En C. Correa, E. Sepúlveda, M. Domínguez & R. Fontalvo (Comps.), *La inclusión: una base para la educación*. Ediciones Universidad Simón Bolívar.
- De Benito, B., & Salinas, J. (2016). La investigación basada en diseño en Tecnología Educativa. *Revista Interuniversitaria de Investigación en Tecnología Educativa*, 0, 44-59. <https://doi.org/10.6018/riite2016/260631>
- Denzin, N. K. (1970). *The Research Act: A Theoretical Introduction to Sociological Methods*. Transaction Publishers.
- Duque, L. (2016). *Fortalecimiento del proceso de inclusión de los escolares con discapacidad auditiva del colegio Isabel II* [Trabajo de maestría, Universidad Libre]. Archivo digital Universidad Libre.
- Escobar-Pérez, J., & Cuervo-Martínez, Á. (2008). Validez de contenido y juicio de expertos: una aproximación a su utilización. *Avances en medición*, 6(1), 27-36. https://www.humanas.unal.edu.co/lab_psicometria/revista-avances-en-medicion/avances-en-medicion-no6
- García-Chitiva, M. (2020). Mediación virtual en la enseñanza y la instrucción: avances y retos. *Ciencia y Poder Aéreo*, 15(1), 161-177. <https://doi.org/10.18667/cienciaypoderareo.645>
- González, V., & Domínguez, A. (2019). Lectura, ortografía y habilidades fonológicas de estudiantes sordos con y sin implante coclear. *Revista de Logopedia, Foniatría y Audiología*, 39(2), 75-85. <https://doi.org/10.1016/j.rlfa.2018.07.001>
- Greene-Woods, A., & Delgado, N. (2020). Addressing the Big Picture: Deaf Children and Reading Assessments. *Psychology in the Schools*, 57(3), 394-401. <https://doi.org/10.1002/pits.22285>
- Gülengül-Birinci, F., & Sariçoban, A. (2021). The Effectiveness of Visual Materials in Teaching Vocabulary to Deaf Students of EFL. *Journal of Language and Linguistic Studies*, 17(1). <https://doi.org/10.52462/jlls.43>
- Gurdián, A. (2007). *El paradigma cualitativo en la investigación socioeducativa*. Investigación y desarrollo.
- Hernández-Sánchez, A., & Santamarina-Sancho, M. (2016). El uso del texto enriquecido para la mejora de la comprensión lectora en el alumnado sordo. *Etic@ net. Revista científica electrónica de Educación y Comunicación en la Sociedad del Conocimiento*, 16(2), 371-386. <http://dx.doi.org/10.30827/eticanet.v16i2.11930>
- Herrera, V., & Calderón, V. (2019). Prácticas pedagógicas y transformaciones sociales. Interculturalidad y bilingüismo en la educación de Sordos. *Revista latinoamericana de educación inclusiva*, 13(1), 73-88. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-73782019000100073>
- INSOR (2015). Boletín territorial. http://www.insor.gov.co/observatorio/download/boletin_territorial/ATLANTICO_DF.pdf.
- INSOR (2019). Información sobre la población sorda colombiana. <http://www.insor.gov.co/bides/documentos/>
- Jou, B. (2009). Blogs, ¿para qué? *Marco ELE. Revista de Didáctica Español Lengua Extranjera*, (8), 1-12. <https://marcoele.com/blogs-para-que/>
- Kazhan, Y. M., Hamaniuk, V. A., Amelina, S. M., Tarasenko, R. O., & Tolmachev, S. T. (2020). The Use of Mobile Applications and Web 2.0 Interactive Tools for Students' German-Language Lexical Competence Improvement. *CEUR Workshop Proceedings*, 2643, 392-415.
- Lara, T. (2005). Blogs para educar. Usos de los blogs en una pedagogía constructivista, pedagogía con y sobre los weblogs. *Telos*, 65(2), 86-93. <https://cutt.ly/pnKLIgG>
- Lizandra, J., Atienza, R., & Gómez, F. (2016). Trabajar en la 'blogósfera': estudio de las percepciones del alumnado en la creación de una red de blogs colaborativos. *EDUCA-DI*, 1(1), 25-40. <http://repositoriodigital.uctemuco.cl/handle/10925/2210>
- Marcos, L., Pérez, C., & Rodríguez, E. (2013). *El blog como recurso educativo*. Fundación Salamanca. <https://www.ciudadadesaberes.es/guias/guiaBLOGS2.pdf>
- Martínez, C. (2021). *Análisis de las estrategias semánticas de comprensión lectora de estudiantes sordos de nivel primaria del CAM N° 5 de Tetecala Morelos* [Trabajo de Grado, Universidad Autónoma del Estado de Morelos]. Archivo digital Universidad Autónoma del Estado de Morelos.
- MEN. (s. f.). *Extraedad. Glosario Ministerio de Educación Nacional*. Ministerio de Educación Nacional. https://www.mineducacion.gov.co/1759/w3-propertyvalue-55247.html?_noredirect=1
- Mendoza, E., & Jackson-Maldonado, D. (2020). Lectura de palabras por personas sordas usuarias de lengua de señas mexicana. *Revista de Logopedia, Foniatría y Audiología*, 40(1), 4-11. <https://doi.org/10.1016/j.rlfa.2019.05.003>
- Mutia, L., Gimín, G., & Mahdum, M. (2020). Development of Blog-Based Audio Visual Learning Media to Improve Student Learning Interests in Money and Banking Topic.

Journal of Educational Sciences, 4(2), 436-448. <https://doi.org/10.31258/jes.4.2.p.436-448>

Páez, L., & Mercado, E. (2021). *Fortalecimiento de la lectura comprensiva mediante el recurso educativo digital Educaplay en segundo grado de la Institución Educativa Distrital Camilo Torres de Barranquilla* [Trabajo de maestría, Universidad de Cartagena]. Archivo digital Universidad de Cartagena.

Piza, N., Amaiquema, F., & Beltrán, G. (2019). Métodos y técnicas en la investigación cualitativa. Algunas precisiones necesarias. *Conrado*, 15(70), 455-459. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1990-86442019000500455&script=sci_arttext&tlng=pt

Prykhodko, A. M., Rezvan, O. O., Volkova, N. P., & Tolmachev, S. T. (2019). Use of Web 2.0 Technology Tool – Educational Blog – in the System of Foreign Language Teaching. En A. E. Kiv & V. N. Soloviev (Eds.), *Proceedings of the 6th Workshop on Cloud Technologies in Education (CTE 2018)* (pp. 256-265). CEUR-WS.org.

Reinhardt, J. (2019). Social Media in Second and Foreign Language Teaching and Learning: Blogs, Wikis, and Social Networking. *Language Teaching*, 52(1), 1-39. <https://doi.org/10.1017/S0261444818000356>

Salazar, L. S., Pérez, H. G., & Montes, L. P. (2019). The Educaplay Interactive Platform for the Learning of Mathematics in Populations with Special Educational Needs. En *Journal of Physics: Conference Series, Cúcuta, Colombia* (pp. 1-6). <https://iopscience.iop.org/issue/1742-6596/1329/1>

Samani, E., Bagheripour, R., & Noordin, N. (2020). Effect of a Course on Educational Tools on Students' Attitude and Digital Literacy Skills. *International Journal of Educational Technology and Learning*, 8(1), 38-46. <https://doi.org/10.20448/2003.81.38.46>

Zappalá, D., Koppel, A., & Suchodolski, M. (2011). Inclusión de TIC en escuelas para alumnos sordos. Ministerio de educación.

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 as responsabilidades do autor, do árbitro e do processo de avaliação assim como do processo editorial.

___ **Ética da Revista.** A revista está sujeita às *Ethical guidelines for journal publication* de Elsevier. De acordo com estas, os artigos submetidos à revista devem ser originais e inéditos e não devem estar simultaneamente em processo de avaliação em outras publicações ou órgãos editoriais. Caso o manuscrito for aceito, o editor esperará que sua publicação seja antes de qualquer outra publicação total ou parcial do artigo. Quando a revista tiver interesse em publicar um artigo que já tenha sido previamente publicado, o autor deverá solicitar a autorização correspondente à editorial que fez a primeira publicação e enviá-la ao editor.

___ **Direitos de autor e licença de uso.** Exceto quando for indicado o contrário, o conteúdo deste site será licenciado sob uma licença Creative Commons Attribution 4.0 Internacional. A licença permite que qualquer usuário baixe, imprima, extraia, archive, distribua e comunique publicamente este artigo, desde que seja dado o devido crédito aos autores: ao(s) autor(es) do texto e a Ciencia e Poder Aéreo, Revista da Escola de Pós-Graduação da Força Aérea Colombiana.

Instrucciones para autores

— Clasificación de los artículos científicos

La revista Ciencia y Poder Aéreo evalúa artículos que generen nuevo conocimiento. Dentro de estos se encuentran:

a. Artículo de investigación. Es un documento que presenta de manera detallada los resultados originales derivados de proyectos de investigación o desarrollo tecnológico. Debe estar estructurado en introducción, revisión de literatura, metodología, discusión y conclusiones. El resumen debe ser de 150-250 palabras, el cual debe tener la misma estructura del artículo de investigación. Se recomienda que referencie mínimo 20 documentos, en su mayoría artículos de revistas indexadas, capítulos de libros y libros con doi. Las palabras clave deben ser máximo 6. Recomendamos que estas sean tomadas del Nasa Thesaurus o del Unesco Thesaurus (ciencias sociales).

b. Artículo de reflexión. Es un documento original que ofrece una perspectiva analítica, reflexiva o crítica sobre un tema específico. Estos artículos deben contener una propuesta teórica o conceptual original, que pueda contribuir científicamente en las áreas de interés de la revista. El artículo tendrá que ser claro, coherente y seguir una estructura lógica. El resumen debe ser de 150-250 palabras, el cual debe tener claro el contexto del estudio, cuál es el problema, cuál es la posición y cómo se argumentará en favor de esta. Se recomienda que referencie mínimo 20 documentos en su mayoría a artículos de revistas indexadas, capítulos de libros y libros. Recomendamos que estas sean tomadas del Nasa Thesaurus o del Unesco Thesaurus (ciencias sociales).

c. Artículo de revisión. Es un documento que organiza, sistematiza y analiza resultados de investigación relevantes para los temas generales de la revista. Este tipo de artículos son escritos por autores que tienen un dominio en un área de investigación representada en los artículos que ha publicado. Se aceptarán revisiones de literatura, sistemáticas o metaanálisis. Los resúmenes expondrán el objetivo, los métodos (para revisiones sistemáticas o metaanálisis), los resultados y las conclusiones. El mínimo de artículos de revistas indexadas, capítulos de libros y libros que deben referenciar estos documentos son 50.

Los artículos se publicarán en español, inglés y portugués. La revista Ciencia y Poder Aéreo admite la presentación de artículos cuyas áreas temáticas coincidan con los que se describen a continuación:

- Seguridad Operacional y Logística Aeronáutica.
- Gestión y Estrategia.
- Tecnología e Innovación.
- Educación y TIC.

Busca que los temas referidos estén en lo posible relacionados con el sector aeroespacial y afines, con énfasis en la ingeniería aeronáutica.

— Directrices para autores

- Se recuerda que los artículos deben ser enviados por medio de la plataforma Open Journal System (<https://publicacionesfac.com/index.php/cienciaypoderaereo>) o al correo cienciaypoderaereo@epfac.edu.co
- Es necesario cumplir con los requisitos para el documento depositados en la sección “Requisitos del texto”, dentro de los cuales se detalla el tipo de archivo preferido, el formato del documento, la fuente preferida, el puntaje de la letra, el interlineado, así como el manual de estilo seguido por Ciencia y Poder Aéreo.
- También se hace preciso seguir las recomendaciones éticas y del proceso consignadas en “Responsabilidades del autor”, como, el envío de una ficha de presentación; las consideraciones sobre la autoría y problemas con esta; la necesidad de proporcionar información veraz sobre la financiación y afiliación institucional; el permiso para enviar su documento a una evaluación por pares; el permiso a usar sus datos para plataformas como Publindex o Crossref; el compromiso de que el artículo es original, no se ha postulado simultáneamente a otras revistas, no es redundante, y la cesión de derechos de propiedad intelectual o patrimonial a la Escuela de Postgrados de la Fuerza Aérea Colombiana.

Normas generales

Todo artículo debe:

- Ser un documento o artículo original, no publicado previamente y no considerado en otra revista.
- Estar científicamente documentado, presentar coherencia y cohesión.

- Explicar el tipo de artículo: si corresponde a un artículo de investigación, de reflexión o de revisión.
- Detallar el proyecto de investigación, el registro (en caso de contar con este) o datos relacionados con el trabajo a presentar.
- Exponer de manera veraz la filial institucional de los autores, su perfil profesional y datos de contacto, la función desempeñada (intelectual, experimental o de escritura). También contar con un ORCID y un CVLAC, en caso de estar vinculado a una institución colombiana. Se recomienda incluir su nombre normalizado preferido teniendo en cuenta las consideraciones de la International Registry of Authors-Links to Identify Scientists (<https://www.iralis.org/>).
- Detallar si se encuentra inmerso en conflictos de interés.
- Cada propuesta de artículo se somete a la evaluación de pares, cuyo concepto es importante para la decisión de su publicación.
- Exponer posibles conflictos de interés.
- Los datos aquí depositados serán usados para la plataforma Publindex y Crossref.

— Requisitos y estructura de los artículos

Requisitos del texto

- Los artículos deben tener una letra Times New Roman, 12 puntos, interlineado sencillo.
- Las figuras, tablas y ecuaciones siguen las normas APA, la séptima edición. Por ejemplo, numerarlas y citarlas dentro del documento, tener en cuenta cómo se titulan cada una de ellas, basarse en el tipo de notas que debe tener cada una de ellas, describir cuál es la fuente de cada una.
- Siglas: se citará la primera vez el nombre completo y entre paréntesis la sigla. Posteriormente, solo se usará la sigla. Las siglas que se introduzcan deberán usarse a lo largo del texto.
- Citación y referencias: la citación y referencias se deben editar con base en las normas APA, séptima edición.
- Las notas al pie de página se utilizarán solo para aportes sustantivos al texto.

Estructura para los tipos de artículos

El título debe estar en español, inglés y portugués. Como nota al pie, indicar el tipo de artículo, la información sobre la financiación de la investigación y datos asociados a esta —su grupo de investigación, el registro de proyecto, la entidad

financiadora u otra información que se considere—. El título debe tener máximo 15 palabras. Tiene que aclarar el tema del artículo y ser específico.

Resumen: deben estar escritos en español, portugués e inglés entre 150 y 250 palabras.

Los resúmenes de artículos de investigación (resúmenes analíticos) tienen la estructura de introducción, objetivos, método, resultados, conclusiones.

Los resúmenes de artículos de reflexión (resúmenes analíticos sintéticos) presenta los aspectos significativos del texto de una manera lógica. Este también resalta los resultados que obtuvo el autor.

Los resúmenes de artículos de revisión presentan los principales puntos de análisis (resúmenes descriptivos) ofreciendo los principales hallazgos a partir de esta comparación. En el caso de artículos de revisión sistemática o metaanálisis se sigue una estructura como la de los artículos de investigación.

Palabras clave: debe tener 3 a 6 en orden alfabético (tener en cuenta las palabras temáticas que proporcionan los tesauros recomendados en “Clasificación de los artículos”). Estas separadas por punto y coma (;).

Los artículos de investigación deben tener una introducción (hacer mención al problema de investigación); un método; unos resultados; la discusión; las conclusiones, recomendaciones o agradecimientos (opcional).

Las referencias deben estar en orden alfabético, siguiendo las normas APA, séptima edición. Se recomienda que sean mayoritariamente artículos en revistas indexadas o libros de editoriales académicas, haber sido publicadas en los últimos cinco años, y tener doi.

En un fichero aparte se debe incluir datos del autor: nombres, apellidos, breve currículo, filial institucional, dirección electrónica y postal (dirección lugar de trabajo o de correspondencia), números telefónicos de contacto y adscripción académica o profesional, función dentro de la realización del artículo (intelectual, experimental o escritura).

— Preparación de envíos

Como parte del proceso de envíos, los autores están comprometidos a comprobar que su envío cumpla todos los requisitos que se muestran a continuación. Se devolverán a los autores aquellos envíos que no cumplan estas directrices.

1. El trabajo enviado no ha sido publicado previamente ni se ha enviado simultáneamente a otra revista.
2. El manuscrito está en formato Microsoft Word (forma de fichero electrónico .doc).
3. Los artículos deben tener una letra Times New Roman, 12 puntos, interlineado sencillo.
4. Se han presentado las referencias bibliográficas en orden alfabético siguiendo los lineamientos de las normas APA, séptima edición.
5. Todas las figuras y tablas se han situado en la posición correspondiente y no al final del texto. Estas deben ser citadas a lo largo del documento. Todas las figuras (gráficos, imágenes, fotografías) y tablas deben ser enviadas por separado en la máxima calidad o en formato editable para efectos de diseño.
6. El trabajo enviado ha sido preparado para la revisión ciega por pares, es decir, se han eliminado las referencias y los nombres de los autores de todas las partes del artículo y se han sustituido por la palabra «autor» (propiedades del documento incluidas).
7. Se han adjuntado los datos del autor en un fichero aparte con nombre, apellidos, breve currículo, filial institucional, dirección electrónica y postal (dirección lugar de trabajo o de correspondencia), números telefónicos de contacto y adscripción académica o profesional, rol (intelectual, experimental o escritura).
8. Las referencias son en su mayoría a artículos de revistas indexadas o libros académicos de máximo cinco años. Estas poseen doi o en su defecto tienen un enlace que no está caído.
9. Cesión de los derechos de propiedad intelectual. La propiedad intelectual hace referencia a las creaciones artísticas, industriales o científicas. La revista rige sus políticas de cesión de derechos de acuerdo con los siguientes principios:
 - Se han diligenciado y firmado el formato: Carta de Presentación, Licencia de Uso y Cesión de Derechos Patrimoniales. Allí los autores dejan de manifiesto que son los autores originales de las obras (también se incluyen aspectos referidos a la licencia de uso y derechos patrimoniales).
 - El equipo editorial queda, por lo tanto, exonerado de cualquier obligación o responsabilidad por cualquier acción legal que pueda suscitarse derivada de la obra depositada por la vulneración de derechos de terceros, sean de propiedad intelectual o industrial, de secreto comercial o cualquier otro.

- Es responsabilidad de los autores obtener los permisos necesarios de las imágenes que estén sujetas a copyright.
- Si por último se decide no publicar el artículo en la revista, la cesión de derechos mencionada quedará sin efecto, de modo que el autor recuperará todos los derechos de explotación de la obra.
- El envío de los artículos no implica la obligatoriedad de publicarlos, pues serán sometidos a evaluación de pares ciegos; aquellos textos que a juicio del editor, el Comité Editorial o el Comité Científico llenen los requisitos exigidos y sean trabajos relacionados con la Seguridad Operacional y Logística Aeronáutica, la Gestión y Estrategia, la Tecnología e Innovación y Educación y TIC.
- Si no se indica lo contrario, se entienden aceptados la política de confidencialidad y el aviso legal de la revista en el momento de completar la entrega de su artículo y en el momento de ejecutar el formulario de registro en sitio web: www.publicacionesfac.com.

Los autores son responsables del contenido de sus artículos y materiales asociados, garantizando su originalidad y carácter inédito. La revista Ciencia y Poder Aéreo realiza la verificación de todos los manuscritos presentados para publicación mediante el uso del software antiplagio *iThenticate*, de tal manera que se garantice la originalidad de los manuscritos. En caso de detectar plagio, el manuscrito será descartado para su publicación.

Nota:

Para información adicional sobre los siguientes aspectos consulte la página web de la revista

<https://publicacionesfac.com/index.php/cienciaypoderaereo/about/submissions>

Política de prevención de plagio
Política de dictaminación
Política de revisión y publicación
Política de acceso abierto
Derechos de autor y licencia de uso

Postule sus documentos a través de la plataforma:

<https://publicacionesfac.com/index.php/cienciaypoderaereo>

Dirija sus inquietudes al correo electrónico:

✉ cienciaypoderaereo@efac.edu.co

Guidelines for Authors

— Classification of Articles

Ciencia y Poder Aéreo accepts submissions that involve the generation of new knowledge. Among these, the following are included:

a. Research article. Document that presents the original results of research or technological development projects in detail. It must include introduction, literature review, methodology, discussion, and conclusions. The abstract must be 150-250 words and follow the same structure as the content of the paper. The list of references should include a minimum of 20 peer-reviewed works (especially journal articles, book chapters and books with a doi number). A maximum of 6 keywords is recommended. These should be taken from Nasa Thesaurus or Unesco Thesaurus (Social Sciences).

b. Research-based reflection article. Original work that offers analytical, reflexive or critical perspectives on a specific topic. These articles must present an original theoretical or conceptual proposal that scientifically contributes to the areas of interest of the journal. The article must be clear, coherent, and follow a logical structure. The abstract should contain 150-250 words and be clear about the context of the study, the research problem, the position of the author(s), and how this will be supported through arguments. The list of references should include a minimum of 20 peer-reviewed works, particularly journal articles, book chapters and books. A maximum of 6 keywords is recommended. These should be taken from Nasa Thesaurus or Unesco Thesaurus (Social Sciences).

c. Review Article. Document that organizes, systematizes and provides and analysis of research results relevant to the subject areas covered by the journal. This type of article is prepared by authors with a strong domain of certain research areas, represented by the number of contributions they have published. Literature, systematic or meta-analysis reviews will be accepted. The abstract will state the objective, method (for systematic reviews or meta-analyses), results, and conclusions of the study. A minimum of 50 peer-reviewed journal articles, book chapters and/or books must be included in the list of references.

Manuscripts in Spanish, English and Portuguese will be published. *Ciencia y Poder Aéreo* accepts submissions whose subject areas match those described below:

- Operational Safety and Aviation Logistics.
- Management and Strategy.
- Technology and Innovation.
- Education and ICTs.

The journal seeks that the topics addressed by authors are associated to the aerospace industry and other related sectors, with a particular focus on aeronautical engineering.

— Guidelines for Authors

- Authors should submit their articles using the Open Journal System platform (<https://publicacionesfac.com/index.php/cienciaypoderaereo>) or send them to the e-mail address cienciaypoderaereo@epfac.edu.co
- It is necessary to comply with the requirements established in the “Text requirements” section, within which the preferred file type, document format, font, font size, and line spacing are described. The style manual prepared by *Ciencia y Poder Aéreo* must also be considered before submissions.
- It is also necessary to follow the ethical and process recommendations set forth in the “Duties of authors” section, such as sending a presentation form; considerations about authorship and related issues; the need to provide accurate information on funding and institutional affiliation; permission to submit documents for peer-reviewing; grant permission to use their data in platforms such as Publindex or Crossref; stating that the article is original, has not been submitted simultaneously to other journals, and is not redundant; and accepting the transfer of intellectual or patrimonial property rights to the Graduate School of the Colombian Air Force.

General Guidelines

All submissions must:

- Be an original document, not previously published nor submitted to another journal.
- Be scientifically documented and display coherence and internal unity.
- Indicate the type of article: research paper, research-based reflection paper or review paper.

- Indicate the research project, registration (if available) and/or any related data.
- State the institutional affiliation of all authors, their professional profile and contact details, as well as their role (intellectual, experimental or writing of the paper). Authors should also include their ORCID and CVLAC information, in case of working for an institution in Colombia. It is recommended to follow the guidelines of the International Registry of Authors-Links to Identify Scientists (<https://www.iralis.org/>) for including authors names.
- Declare any conflicts of interest.
- Be subject to a peer-review process, whose concept is relevant for deciding upon their publication.
- Allow the use of information in Publindex and Crossref platforms.

— Manuscript Requirements and Structure

Text Requirements

- Articles must use Times New Roman font type, 12 points, single line spacing.
- Figures, tables and equations must follow APA standard, 7th edition. For example, these elements must be consecutively numbered and cited within the text, taking into account the correct style for titles, notes and source.
- Acronyms will be fully named the first time they are mentioned, with its abbreviation presented in brackets. Subsequently, only the acronym will be used. Acronyms previously introduced should be used throughout the text.
- Cites and references should follow the American Psychological Association (APA) standard, 7th edition.
- Footnotes will be only be used for adding relevant information to support the text.

Structure for Each Type of Article

The title of all articles should be included in Spanish, English, and Portuguese. As a footnote, state the type of article, information regarding the research and other related data (research group, project registration, funding entity, and other information). The title must have a maximum of 15 words. Authors must state the subject area of their paper.

Abstract: should be included in Spanish, English, and Portuguese and have 150-250 words in length.

The abstract of research papers should follow this structure: introduction, methodology, results, and conclusions.

The abstract of reflection articles (synthetic abstracts) present the significant aspects of the study in a logical way, highlighting the results obtained by authors.

The abstract of review articles present the main points of analysis (descriptive summary), offering the main findings from their comparison. In the case of systematic review or meta-analysis studies, a structure similar to that of research articles should be followed.

Keywords: 3 to 6 in alphabetical order (consider the thematic words provided by thesauri in the “Classification of Articles” section) and separated by a semicolon (;).

Research papers must include the following sections: introduction (mention the research problem), methodology, results, discussion, conclusions, recommendations, and acknowledgments (optional).

References must be in alphabetical order, following APA standard, 7th edition. These should correspond to peer-reviewed journal articles, books published by academic editorials, have a doi number, and have been published during the last five years.

In a separate file include author(s) information, name and surname, brief curriculum vitae, institutional affiliation, e-mail and postal address (workplace address and/or mail address), contact phone numbers and academic or professional relation, and role within the production of the article (intellectual, experimental or writing of the paper).

— Preparing your Submission

As part of the submission process, authors are committed to verifying that the submitted documents meet all of the requirements described below. Submissions that do not meet these guidelines will be returned to authors.

1. The submitted work has not been previously published nor sent simultaneously to another journal.
2. The manuscript is in Microsoft Word, Open Office or RTF format (electronic file .doc, .rtf or .odt).
3. Articles must use Times New Roman font type, 12 points, single line spacing.
4. References are presented in alphabetical order, following the guidelines of the APA standards, 7th edition.
5. All figures and tables are properly placed within the document and not at the end of the text. These should be cited in the document. All figures (graphs, images, photographs)

and tables should be separately sent in high quality or an editable format for design purposes.

6. The submitted paper should be prepared for the blind peer-reviewing process, that is, references to authors' identity and names have been removed from all the document and replaced by the word «author(s)» (document properties included).
7. Authors' data should be attached in a separate file, including name and surname, brief curriculum vitae, institutional affiliation, e-mail and postal address (workplace address and/or mail address), contact phone numbers and academic or professional relation, and role within the production of the article (intellectual, experimental or writing of the paper).
8. References mostly correspond to articles in peer-reviewed journals or academic books published during the last five years. These have a doi number or an operating link.
9. Transfer of intellectual property rights. Intellectual property refers to artistic, industrial or scientific creations. The journal adopts the following principles for the transfer of intellectual property rights:
 - All authors must complete and sign the form "Presentation letter and License Use – Economic rights," in which they manifest that they are the original authors (aspects related to the license of use and economic rights are also included).
 - The editorial team is, therefore, exonerated from any obligation or responsibility for any legal action that may arise from the submitted work regarding the violation of the rights of third parties, whether they are intellectual or industrial property, trade secret or any other.
 - It is the responsibility of authors to obtain the necessary permissions for the use of images subject to copyright.
 - In case authors decide not to publish their paper in the journal, the aforementioned rights assignment will have no effect and authors will recover all the rights for exploiting their work.
 - Submitting an article does not imply that the journal must publish such contribution, since all submissions that, in the opinion of the Editor, the Editorial Committee or the Scientific Committee, meet the requirements and address the fields of Operational Safety and Aeronautical Logistics, Management and Strategy, Technology and Innovation, and Education and ICTs will be subject to a peer-review process.

- Unless otherwise stated, the confidentiality policy and the legal notice of the journal are understood as accepted at the time of completing the submission of your paper and the registration form on the website: www.publicacionesfac.com

Authors are responsible for the content of their papers and associated materials and declare their originality and unpublished character. *Ciencia y Poder Aéreo* examines all the manuscripts submitted for publication using the anti-plagiarism software iThenticate, which exposes the percentage of similarity of a given work with others already published or available in databases, thus establishing its degree of originality. *Ciencia y Poder Aéreo* follows the process recommended by the Committee on Publication Ethics regarding a possible suspicion of plagiarism. Thus, if a text reports a similarity rate of 20%, the editorial team will request adjustments to the document. When this similarity represents a greater rate or corresponds to complete and significant blocks of text, the document will be considered plagiarized and the editorial team will proceed to ask the authors for explanations. If these are not satisfactory, the manuscript will be automatically rejected.

Note:

For additional information on the following aspects, please visit the journal website:

<https://publicacionesfac.com/index.php/cienciaypoderaereo/about/submissions>

Plagiarism Prevention Policy
Initial Assessment Policy
Peer-reviewing Process
Open Access Policy
Copyright and Licensing

Submit your documents through the platform:

<https://publicacionesfac.com/index.php/cienciaypoderaereo>

Direct your questions to the e-mail:

✉ cienciaypoderaereo@epfac.edu.co

Diretrizes para autores

— Classificação dos artigos científicos

A revista Ciencia y Poder Aéreo avalia artigos de pesquisa que promovam novos conhecimentos. Dentro destes pode-se encontrar:

a. Artigo de pesquisa. Documento que apresenta de forma detalhada os resultados originais derivados de projetos de pesquisa ou desenvolvimento tecnológico. Deve estar estruturado em introdução, revisão da literatura, metodologia, discussão e conclusões. O resumo deve ter no mínimo 150 e, no máximo 250 palavras, e deve ter a mesma estrutura do artigo de pesquisa. É recomendado que, no mínimo, 20 documentos sejam referenciados, em sua maioria artigos de revistas indexadas, capítulos de livros e livros com DOI. As palavras-chave devem ser no máximo 6. Do mesmo modo, é recomendado que estas sejam tomadas do Nasa Thesaurus ou de Unesco Thesaurus (ciências sociais).

b. Artigo de reflexão. Documento original que apresenta uma perspectiva analítica, reflexiva ou crítica sobre uma temática específica. Contudo, este artigo deve conter uma proposta teórica ou conceitual original que possa contribuir cientificamente nas áreas de interesse da revista. O artigo tem que ser claro, coerente e seguir uma estrutura lógica. O resumo deve ter de 150 a 250 palavras, e deve ter claro o contexto do estudo, qual é o problema, qual é o ponto de vista e como se argumentará a favor desta. É recomendado que, no mínimo, 20 documentos sejam referenciados, em sua maioria artigos de revistas indexadas, capítulos de livros e livros com DOI. Do mesmo modo, é recomendado que estas sejam tomadas do Nasa Thesaurus ou de Unesco Thesaurus (ciências sociais).

c. Artigo de revisão. Documento onde se organizam, sistematizam e analisam os resultados de pesquisa relevantes para as temáticas gerais da revista. Este tipo de artigos são escritos por autores que dominam uma área de pesquisa e esse conhecimento é representado nos artigos que tem publicado. Serão aceitas revisões de literatura, sistemáticas e meta-análises. Os resumos devem ter o objetivo, os métodos (para revisões sistemáticas ou meta-análise), os resultados e as conclusões. É recomendado que, no mínimo, 50 documentos sejam referenciados de revistas indexadas, capítulos de livros e livros.

Os artigos serão publicados em espanhol, inglês e português. A revista Ciencia y Poder Aéreo aceita a apresentação de artigos cujas áreas temáticas coincidam com as descritas abaixo:

- Segurança Operacional e Logística na Indústria Aeronáutica
- Gestão e Estratégia
- Tecnologia e Inovação
- Educação e TIC

Os temas referidos devem estar, na medida do possível, relacionados com a indústria aeroespacial e áreas afins, com ênfase nas engenharias de referência aeronáutica.

— Diretrizes para autores

- Os autores devem submeter seus artigos, através do nosso portal Open Journal System (<https://publicacionesfac.com/index.php/cienciaypoderaereo>), ou ao e-mail: cienciaypoderaereo@epfac.edu.co
- É necessário satisfazer os requisitos para o documento estabelecido na seção “Requisitos do texto”, onde é especificado o tipo de arquivo preferido, o formato do documento, a fonte preferida, a pontuação da letra, o espaçamento entre linhas, assim como o manual de estilo seguido por Ciencia y Poder Aéreo.
- Também, é preciso seguir as recomendações éticas do processo consignadas em “Responsabilidades do autor”, como, o envio de uma ficha de apresentação, as considerações sobre a autoria e problemas com esta; a necessidade de disponibilizar informação veraz sobre o financiamento e a filiação institucional; a permissão para enviar seu documento para ser avaliado por pares; a permissão para usar seus dados para plataformas como Publindex o Crossref; o compromisso de que o artigo é original, não tem sido submetido simultaneamente para outras revistas, não é redundante, e a cessão de direitos de propriedade intelectual ou patrimonial à Escola de Pós-Graduação da Força Aérea Colombiana.

Normas gerais

Todo artigo deve:

- Ser um documento ou artigo original, não ter sido publicado ou considerado em outra revista.

- Estar cientificamente documentado, ser coerente, e ter unidade.
- Indicar o tipo de artigo: um artigo de pesquisa, de reflexão ou de revisão.
- Indicar o projeto de pesquisa, registro (em caso de contar com este) e/ou dados relacionados ao trabalho que será apresentado.
- Apresentar a filiação acadêmica do autor(es), perfil profissional e dados de contato, função desempenhada (intelectual, experimental ou de escritura). Também contar com um ORCID e uma CVLAC, caso estiver vinculado a uma instituição colombiana. É recomendado incluir seu nome normalizado preferido, levando em conta as considerações da International Registry of Authors-Links to Identify Scientists (<https://www.iralis.org/>).
- Declarar se o autor está vinculado a conflitos de interesse.
- Cada proposta de artigo é submetida a avaliação por pares, cujo conceito é importante para a decisão de sua publicação.
- Declarar potenciais conflitos de interesses.
- Os dados proporcionados serão usados para a plataforma Publindex e Crossref.

— Requisitos e estrutura dos artigos

Requisitos do texto

- Os artigos devem ter uma fonte Times New Roman; tamanho da letra 12, espaçamento simples.
- Equações, tabelas e figuras devem ser citadas no texto de acordo com as normas da APA, 7ª edição. Por exemplo, numerar e citar estas dentro do documento, levando em conta o título de cada uma delas e descrevendo qual é a fonte de cada uma.
- Siglas: o nome completo será citado pela primeira vez e a abreviação entre parêntesis. Posteriormente, apenas a sigla será usada. As siglas introduzidas devem ser usadas em todo o texto.
- Citação e referências: as citações e as referências devem ser editadas com base às normas da APA, 7ª edição.
- As notas de rodapé serão usadas apenas para contribuições substantivas ao texto.

Estrutura para os tipos de artigos

Título: em espanhol, inglês e português. Como nota de rodapé, indicar o tipo de artigo, informações sobre a pesquisa e outros dados relacionados – grupo de pesquisa, registro do projeto, entidade que o financia ou outras informações

relevantes. O título deve ter no máximo 15 palavras. O autor deve esclarecer o assunto do artigo e ser específico.

Resumo: em espanhol, português e inglês, deve ter no mínimo, 150 palavras, e no máximo 250 palavras.

Os resumos dos artigos de pesquisa (resumos analíticos) têm a seguinte estrutura: introdução, objetivos, métodos, resultados, conclusões.

No caso de artigos de reflexão (resumos analíticos sintéticos) devem-se apresentar os aspectos significativos do texto de uma maneira lógica, destacando os resultados obtidos pelo autor.

Os resumos de artigos de revisão apresentam os principais pontos da análise (resumos descritivos) oferecendo as principais descobertas partindo desta comparação. No caso dos artigos de revisão sistemática ou meta-análise segue-se uma estrutura similar à dos artigos de pesquisa.

Palavras-chave: de 3 a 6 em ordem alfabética (levar em conta as palavras temáticas fornecidas por tesouros sugeridas em “Classificação de artigos”). Separar por ponto e vírgula (;).

Os artigos de pesquisa devem ter uma introdução (abordar o problema de pesquisa); metodologia; resultados; discussão; conclusões, recomendações ou agradecimentos (opcional).

As referências devem estar em ordem alfabética de acordo com as normas da APA, 7ª edição. É recomendado que a maioria das fontes sejam artigos em revistas indexadas ou livros de editoras acadêmicas que tenham sido publicados nos últimos cinco anos, e tenham DOI.

Em um arquivo separado, devem-se incluir detalhes do(s) autor (res), nome, sobrenome, currículo breve, filiação acadêmica, e-mail e endereço postal (endereço do trabalho e/ou correspondência), número de telefone e vinculação acadêmica e profissional, função/papel dentro da realização do artigo (intelectual, experimental ou escritura).

— Processo de submissão

Como parte do processo, os autores comprometem-se a verificar se a submissão atende a todos os itens apresentados abaixo. As submissões que não atenderem as diretrizes serão devolvidas aos autores.

1. O trabalho submetido não foi publicado anteriormente nem foi enviado simultaneamente para outras revistas.
2. O manuscrito está no formato Microsoft Word (Forma de arquivo eletrônico .doc.).
3. Os artigos devem ter uma fonte Times New Roman; tamanho da letra 12, espaçamento simples.

4. As referências bibliográficas tem sido apresentadas em ordem alfabética, de acordo com as diretrizes das normas APA, 7ª edição.
5. Todas as figuras e tabelas foram colocadas na posição correspondente e não no final do texto, e devem ser citadas ao longo do documento. Todas as figuras (gráficos, imagens, fotografias) e tabelas devem ser enviadas separadamente em máxima qualidade ou em formatos editáveis, caso precisarem ser editadas para efeitos de design.
6. O artigo submetido foi preparado para revisão cega por pares, ou seja, as referências e nomes dos autores foram removidos de todas as partes do artigo e substituídos pela palavra “autor” (incluindo as propriedades do documento).
7. Os dados do autor foram anexados em um arquivo separado, com nome, sobrenome, resumo breve, afiliação acadêmica, e-mail e endereço postal (endereço do trabalho ou correspondência), números de telefone de contato e filiação acadêmica ou profissional, papel (intelectual, experimental ou escritura).
8. Na maioria das referências são de artigos em revistas indexadas ou livros acadêmicos publicados, no máximo, há cinco anos.
9. Cessão de direitos de propriedade intelectual. Propriedade intelectual refere-se a criações artísticas, industriais ou científicas. A revista rege-se por políticas de direitos de acordo com seguintes princípios:
 - Foi concluída e assinada A “Carta de apresentação e a licença de uso e Cessão de direitos econômicos e declaração de conflito de interesse”. O Documento que declara que são os autores originais do manuscrito. (Este documento inclui aspectos relacionados à licença de uso e direitos patrimoniais).
 - A equipe editorial é, portanto, exonerada de qualquer obrigação ou responsabilidade por ações legais que surjam do trabalho apresentado relacionados à violação de direitos de terceiros, sejam eles propriedade intelectual ou industrial, sigilo comercial ou qualquer outro.
 - É responsabilidade dos autores obter as autorizações necessárias das imagens sujeitas a copyright.
 - Caso for decidido não publicar o artigo na revista, a cessão de direitos acima mencionada não terá efeito, deste modo o autor recuperará todos os direitos de exploração da obra.
 - O envio dos artigos não implica que a revista esteja na obrigação de publicá-los, pois eles serão submetidos à avaliação de pares-cegos; os textos que, na opinião do editor do Comitê Editorial ou do Comitê Científico,

atendam aos requisitos exigidos e sejam trabalhos relacionados à Segurança Operacional, Logística na Indústria Aeronáutica, Tecnologia e Inovação, Gestão e Estratégia, Educação e TIC, ou relacionados à indústria aeroespacial ou a setores relacionados.

- Caso contrário, a política de confidencialidade e o aviso legal da revista são entendidos como aceitos no momento de concluir a submissão do artigo e no momento de preencher o formulário registro no site www.publicacionesfac.com.

Os autores são responsáveis pelo conteúdo dos seus artigos e materiais associados, garantindo sua originalidade e caráter inédito. A revista *Ciencia y Poder Aéreo* verifica todos os manuscritos submetidos para publicação usando o software anti-plágio iThenticate, que expõe a percentagem de semelhança que uma obra tem com os outros escritos já publicados ou encontrados em bancos de dados, com o propósito de garantir a originalidade dos manuscritos. *Ciencia y Poder Aéreo* se acolhe ao processo de fluxo recomendado pelo Committee on Publication Ethics acerca de uma possível suspeita de plágio. Deste modo, se o texto superar um 20% de semelhança, a equipe editorial procederá a pedir ajustes no documento. Quando essa semelhança representar uma percentagem maior ou corresponder a fragmentos completos e significativos do texto, a equipe concluirá que o texto foi plágio e pedirá explicações aos autores. Caso as explicações não forem satisfatórias, o manuscrito será rejeitado.

Nota:

Para informações adicionais sobre os seguintes aspectos, consulte o site da revista:

<https://publicacionesfac.com/index.php/cienciaypoderaereo/about/submissions>

Política de Prevenção de Plágio
Avaliação por pares
Revisão e publicação
Política de acesso aberto
Direitos de autor e licença de uso

Envie seus documentos pela plataforma:

<https://publicacionesfac.com/index.php/cienciaypoderaereo>

Em caso de dúvidas ou perguntas entre em contacto:

✉ cienciaypoderaereo@epfac.edu.co



02

Vol. 16

Institución Universitaria, Resolución 1906 MEN, agosto del 2002

Julio-diciembre del 2021 | pp. 1-174

CIENCIA Y PODER AÉREO

Revista Científica de la Escuela de Postgrados Fuerza Aérea Colombiana

Vol. 16 n.º 2 | julio-diciembre del 2021 | pp. 1-174 | ISSN 1909-7050 E-ISSN 2389-9468

Doi: <https://doi.org/10.18667/issn.1909-7050> | Bogotá, Colombia | Periodicidad semestral

